



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
Кафедра «Електротехніка і електромеханіка
імені професора В. В. Овчарова»



Національний
технічний
університет
України
«Київський
політехнічний
інститут імені Ігоря
Сікорського»



Національний
університет
біоресурсів і
природокористування
України



Національний
університет
«Запорізька
політехніка»



Харківський
національний
технічний
університет
сільського
господарства імені
Петра Василенка



Сумський
національний
аграрний
університет

Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем



МАТЕРІАЛИ

IV Всеукраїнської науково-практичної
інтернет-конференції
пам'яті В. В. Овчарова

04 – 18 листопада 2021 року

Мелітополь

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Національний університет біоресурсів і природокористування
України

Харківський національний технічний університет сільського
господарства імені Петра Василенка

Національний університет «Запорізька політехніка»

Сумський національний аграрний університет

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

МАТЕРІАЛИ

IV Всеукраїнської науково-практичної
інтернет-конференції пам'яті В. В. Овчарова

04 – 18 листопада 2021 року

Мелітополь
2021

УДК 621.3(043.2)

Т 13

Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: матеріали IV Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В. В. Овчарова (Мелітополь, 04 - 18 листопада 2021 р) / ТДАТУ; відповід. за вип. С.О. Квітка, Д.М. Нестерчук. - Мелітополь: ТДАТУ, 2021. - 127 с.

У матеріалах конференції викладені результати досліджень, які присвячені сучасному стану та перспективам розвитку електротехнічних систем: питанням загальної електротехніки, електромеханічних комплексів і систем, електротехнологій та електротехнологічних систем, електроенергетичних систем і систем електропостачання, комп'ютерно-інтегрованих технологій та технічних інформаційних систем.

Видання розраховане для науковців, аспірантів, студентів, фахівців, які працюють за напрямками конференції.

Матеріали видані в авторській редакції. Відповідальність за зміст наданих матеріалів, точність наведених даних та відповідність принципам академічної доброчесності несуть автори.

Адреса організаційного комітету:

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
факультет енергетики і комп'ютерних технологій,
кафедра електротехніки і електромеханіки імені професора В.В. Овчарова,
ауд. 1.125

пр-т Богдана Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька область, Україна,
72310

e-mail: dina.nesterchuk@tsatu.edu.ua

Сайт конференції: <http://www.tsatu.edu.ua/etem/internet-konferencija/>

© Колектив авторів, 2021

© Дизайн та макетування.
Кафедра електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

Голова наукового комітету:

Кюрчев Володимир Миколайович – член-кореспондент НААН України, д.т.н., професор, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Співголова:

Єременко Оксана Анатоліївна – д.с-г.н., проф., проректор з наукової роботи Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

Науковий комітет конференції:

Назаренко Ігор Петрович – декан факультету енергетики і комп'ютерних технологій, д.т.н., професор, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Квітка Сергій Олексійович – завідувач кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова, к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Лобода Олександр Іванович – завідувач кафедри електроенергетики і автоматизації, к.т.н., Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Шаров Сергій Володимирович – завідувач кафедри комп'ютерних наук, к.пед.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Острроверхов Микола Якович – завідувач кафедри теоретичної електротехніки, д.т.н., професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Козирський Володимир Вікторович – завідувач кафедри електропостачання ім. проф. В. М. Синькова, д.т.н., професор, заслужений діяч науки і техніки України, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Мірошник Олександр Олександрович – завідувач кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, д.т.н., професор, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Тиховод Сергій Михайлович – завідувач кафедри теоретичної і загальної електротехніки, д.т.н., доцент, Національний університет «Запорізька політехніка»

Яковлев Валерій Федорович – професор кафедри енергетики та електротехнічних систем, к.т.н., професор, Сумський національний аграрний університет

Соломаха Олександр Вікторович – керівник проектів, ТОВ «Науково-виробниче підприємство «Преобразователь-комплекс», к.т.н.

Організаційний комітет конференції:

Квітка Сергій Олексійович – к.т.н., доцент, завідувач кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова

Нестерчук Діна Миколаївна – к.т.н., доцент кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова (секретар організаційного комітету)

Ковальов Олександр Вікторович – к.т.н., старший викладач кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова

Щербина Марина Олександрівна – навчальний майстер кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова

ЗМІСТ

Секція 1. Загальна електротехніка

Герасименко В. П., Ковальов О.В. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ СТРУМУ ВИТОКУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.....	9
Колодій О. С. НАПІВПРОВІДНИКИ В МАШИНОБУДУВАННІ.....	11
Попова І. О. ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ В РЕЖИМІ НЕСИНУСОЇДНОСТІ НАПРУГИ	13
Попова І. О., Макенов П. С., Іванов М. В. ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУГИ ЗМІЩЕННЯ НЕЙТРАЛІ І КОВЗАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ ГЛИБОКІЙ НЕСИМЕТРІ ЗА ДОПОМОГОЮ КРУГОВОЇ ДІАГРАМИ	15
Попова І. О., Курчанов А. А. ПОРІВНЯННЯ І АНАЛІЗ ПРИСТРОЇВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ.....	17

Секція 2. Електромеханічні комплекси і системи

Герасименко В. П., Майбородіна Н. В. ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СТРУМУ ВИТОКУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА	19
Стьопкін В. В. СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ	21
Нежурін В. І., Кувасєв В. Ю., Гриценко О. В. МОДЕРНІЗАЦІЯ ДІЮЧОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАХИЛУ 160 Т КОНВЕРТОРА	23
Стьопкін В. В., Паламарчук О. О., Ярошенко Я. Г. АКТУАЛЬНІСТЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПОТУЖНИХ СИСТЕМ ГЕНЕРАТОР-ДВИГУН ПРОКАТНИХ СТАНІВ	25
Нежурін В. І., Кувасєв В. Ю., Іванов В. В. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАТИСКНИХ ГВИНТІВ КЛІТИ ПРОКАТНОГО СТАНУ «550».....	27

Стьопкін В. В., Соловей Т. С., Довбань М. О. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЩОДО МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ДРОТОВОГО СТАНУ	29
Стребков О. А., Ковальов О. В. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДІАГНОСТУВАННЯ ДОДАТКОВОГО ТЕПЛООВОГО ЗНОШЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ В ПІСЛЯПУСКОВИЙ ПЕРІОД	31
Квітка С. О. АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ КРИВИХ ЗМІНЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН	33
Вовк О. Ю. ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЗА КРУГОВОЮ ДІАГРАМОЮ	36
Попова І. О. РОЗРОБКА БАГАТОФУНКЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ ЗАХИСТУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ	39
Квітка С. О. ПРИСТРІЙ ЗАХИСТУ ТРИФАЗНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВІД НЕПОВНОФАЗНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ	41
Ковальов О. В. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА ОБРОБІТКУ ГРУНТУ	44
Вовк О. Ю. ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ТЕПЛОВА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА	47
Нестерчук Д. М., Кривцов Д. О., Родін Б. О. СПОСІБ ЗАХИСТУ ТА РЕЛЕ ЗАХИСНОГО ВІДКЛЮЧЕННЯ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИ АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ	50
Постнікова М. В., Петров В. О. ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВИРОБНИЧОГО ОБЛАДНАННЯ БОРОШНОМЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ	52
Курашкін С. Ф., Жарікова А. О. ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЗА ВТРАТАМИ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ	55
Квітка С. О., Облещенко А. Д. ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ КОНВЕЄРА	57

Постнікова М. В., Вдовін Б. В. АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВЕНТИЛЬНИХ БЕЗКОЛЕКТОРНИХ VLDC-МОТОРІВ.....	59
Квітка С. О., Томілко Ю. С. ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ ЛІФТА	61
Курашкін С. Ф., Волкова І. Д. ЖИВЛЕННЯ МАЛОПОТУЖНИХ СЕЛЬСИНІВ СГСМ, БД, БС.....	63
Постнікова М. В., Іванова Д. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ СУЧАСНИХ САМОХІДНИХ ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН.....	65
Нестерчук Д. М., Мараховський В. Б. ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООВОГО ЗНОШУВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВОГО КАБЕЛЮ	68
Постнікова М. В., Коваль С. Д. ВИБІР ПАРАМЕТРА ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ ЗЕРНА.....	70
Широкова А. Г. АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ТА ЙОГО СУЧАСНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	72
Постнікова М. В., Уколов К. С. ХАРАКТЕРИСТИКА І ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА КУКУРУДЗООБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.....	74
Ковальов О. В., Носань С. В. РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ МАЛОГАБАРИТНИХ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН	76
Постнікова М. В., Глазирін І. М. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ.....	78
Лакосіна А. О., Широкова А. Г. СУЧАСНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	81

Секція 3. Електротехнології та електротехнологічні системи

Квітка С. О. ЕЛЕКТРОАКУСТИЧНИЙ ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ВИТРАТИ КОМПОНЕНТІВ КОРМОВИХ СУМІШЕЙ.....	83
---	----

Чепіжний А. В., Цирлін В. М. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ЗЕРНА	86
Постол Ю. О., Стручаєв М. І. ШЛЯХИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.....	89
Миронець С. Д., Ковальов О. В. АЛГОРИТМ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ОРІЄНТУВАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ СОНЯЧНИХ ІНСОЛЯЦІЙ.....	91
Стручаєв М. І., Постол Ю. О., Глазирін І. М. ЗМЕНШЕННЯ ВИКІДІВ CO ₂ ВОДОГРІЙНИМИ КОТЛАМИ	93
Савойський О. Ю. ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ НАГРІВАННЯ ВИСУШУВАНОЇ СИРОВИНИ ПРЯМИМ ЕЛЕКТРОНАГРІВОМ.....	95
Курашкін С. Ф., Іванова Д. В. ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В СИСТЕМАХ ЖИВЛЕННЯ РЕЗ.....	98
Іванов М. В., Щербаков С. В., Попова І. О. ПОБУДОВА СТРУКТУРИ І ФУНКЦІЙНИХ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ ДІЛЯНКИ СКВАШУВАННЯ МОЛОКА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТВЕРДОГО СИРУ	100

Секція 4. Електропостачання та електроенергетичні системи

Лобода В. Б., Калуга В. В. АНАЛІЗ ВИДІВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ	102
Лобода В. Б., Хом'як О. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКИХ БУДИНКІВ	104
Лисенко О. В., Ветцель О. М. АНАЛІЗ ВПЛИВУ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ НА ЕКОЛОГІЮ.....	106
Chebanov A., Zharikova A. DRYING OF INSULATION OF WINDINGS OF ELECTRIC MACHINES.....	108
Адамова С. В., Косяченко А. В. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ «ЗЕЛЕНОЇ» ЕНЕРГЕТИКИ	110
Чебанов А. Б., Жарікова А. О. РЕГЕНЕРАЦІЯ ОЛІЇ В ТРАНСФОРМАТОРАХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГАЗОПОДІБНОГО АМІАКУ	112

Адамова С. В., Кривцов Д. О. МЕТОДИ БОРОТЬБИ З ОЖЕЛЕДДЮ НА ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ ЗМІННИМ СТРУМОМ.....	114
--	-----

Секція 5. Комп'ютерно-інтегровані технології та технічні інформаційні системи

Шаров С. В. НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ.....	116
Лубко Д. В., Зінов'єва О. Г. КРОСПЛАТФОРМЕНА ІНФОРМАЦІЙНО-ДОВІДКОВА ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ДЛЯ ПТАХІВНИЦТВА	118
Мірошниченко М. Ю. ДО ПРОБЛЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	120
Лубко Д. В., Нестеренко Є. В. ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО САЙТУ	122
Темніков Г. Є., Смірнов М. Є. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ САЙТІВ	124

Секція 1. Загальна електротехніка

УДК 621.31:004.89

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ СТРУМУ ВИТОКУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Герасименко В. П., інженер

v.gerasymenko@nati.org.ua

ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут», НУБіП, м.Ніжин

Ковальов О. В., к.т.н.

alekstdaty1979@gmail.com

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. Під час експлуатації силового електрообладнання в умовах, що значно впливають на ізоляційну конструкцію (волога, агресивне середовище тощо), значна увага приділяється системам захисту від струмів витоку. Погіршення ізоляції створює передумови появи струмів витоку, подальшої руйнації та виходу електрообладнання з ладу. Крім того струми витоку можуть бути причиною ураження електричного струму, причиною пожерів тощо.

Таким чином, існує потреба у створенні такої системи організаційних заходів і технічних пристроїв захисного вимикання, задачею яких є не тільки фіксація струмів витоку або відключення електрообладнання [1], але й завчасне попередження про можливість появи аварійної ситуації [2]. Ця задача вирішується застосуванням інтелектуальних засобів захисту від струмів витоку з функціями прогнозування та попередження [3].

Основні матеріали дослідження. Для вирішення цієї проблеми був обраний об'єкт дослідження, роль якого відіграють фізичні процеси формування струмів витоку в системах електроживлення напругою 0,38 кВ тваринницького приміщення. На підставі математичної моделі, яка описує струм витоку через ізоляцію, визначається електрообладнання, що найбільш впливає на його рівень.

Статистична обробка експериментальних даних показала, що найбільш впливовим параметром, який впливає на струм витоку електрообладнання є вологість (рис. 1), в той час як вплив концентрації аміаку та температури в приміщенні незначний. Однак в сукупності зі зміною інших параметрів цей вплив підсилюється, тому в математичній моделі прогнозування доцільно його враховувати.

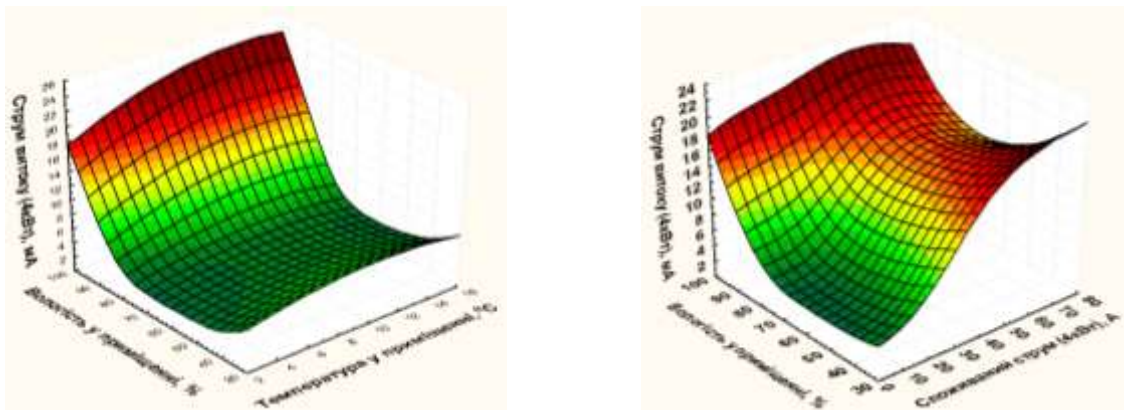


Рисунок 1. Графіки поверхонь відгуку технологічних параметрів у приміщенні на струм витоку електродвигуна: а) вплив вологості та температури; б) вплив споживаного струму та вологості

З рис. 1 очевидний нелінійний взаємозв'язок між параметрами. Тому, для

моделювання і розробки концепції функціонування системи управління електротехнологічним комплексом доцільно використання математичного інтелектуального апарату – нейронної мережі (НМ). Для покращення прогнозування доцільно комбінувати класичний підхід використання НМ із математичним апаратом опрацювання часових рядів (ЧР).

Імітаційне дослідження показало, що поєднання НМ прогнозування на основі значень технологічних параметрів (НМТП) і на основі ЧР (НМЧР) підвищує якість прогнозування струму витоку. Інтеграція здійснюється за допомогою моделюючого блоку більш високої ієрархії. Інтелектуальний блок інтеграції прогнозів НМТП та НМЧР опрацьовує інформацію з обох нейромереж і на підставі критерію вибору вирішує яку з них застосовувати.

Розроблена архітектура гібридної нейромережі (ГНМ) інтегрування предиктів НМТП та НМЧР у пакеті ANFIS-Editor прикладних математичних програм «MatLAB» приведена на рис. 2.

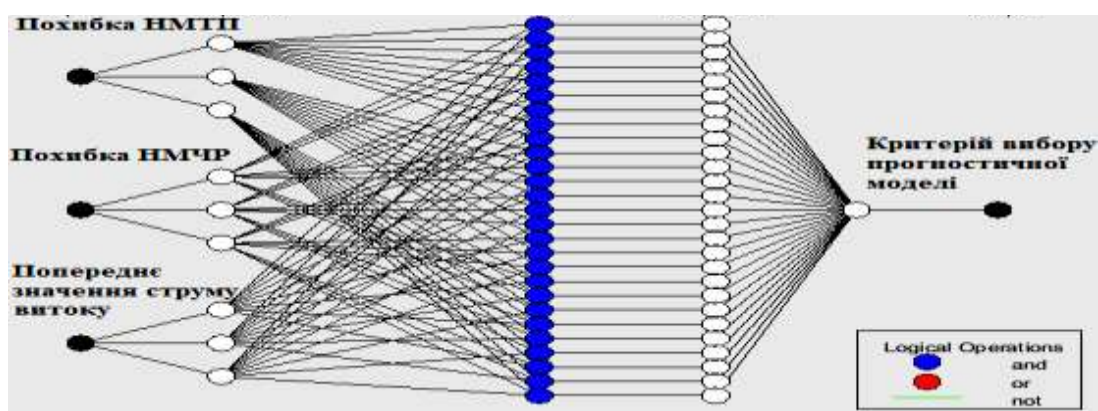


Рисунок 2. Архітектура ГНМ інтегрування предиктів НМТП та НМЧР

Висновок. Порівнюючи особливості НМТП та НМЧР вказує можна зробити висновок, що перший вид нейромереж ефективніше працює при різких викидах прогнозованого струму витоку; другий – більш точно моделює значення прогнозованої величини біля відносно усереднених її показів. Отже доцільно застосування обох НМ в інтелектуальному блоці інтеграції нейромережевого прогнозування. Прогнозування відбувається залежно від конкретної технологічної ситуації.

Список використаних джерел

1. Курашкин С. Ф. Устройство диагностирования сопротивления изоляции асинхронных электродвигателей. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2015. Вип. 15, т. 2. С. 237–241.
2. Герасименко В. П. Передумови підвищення надійності захисту та попередження появи струмів витоку в мережах 0,38 кВ. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2011. Т. 4, № 11. С. 109–115.
3. Козирський В. В., Герасименко В. П., Ковальов О. В. Способи і засоби підвищення надійності захисту та попередження появи небезпечних струмів в мережах 0,38 кВ. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2012. Т. 2, № 12. С. 59–65.

УДК 631.372

НАПІВПРОВІДНИКИ В МАШИНОБУДУВАННІ

Колодій О. С., к.т.н.

oleksandr.kolodii@tsatu.edu.ua

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. У величезній кількості побутових предметів, починаючи від світлодіодних ламп і закінчуючи суперкомп'ютерами, використовуються напівпровідники - крихітні помічники, які можна розмістити на кінчику пальця. Попит на напівпровідники обумовлений еволюцією смартфонів та інших цифрових пристроїв, а також розширенням можливостей баз даних у відповідь збільшення трафіку і пропускну здатності. Крім того, завдяки розвитку технологій IoT широкий спектр товарів, таких як обладнання для транспорту, побутові електроприлади та промислові роботи стали більш функціональними, з можливістю підключення до Інтернету. Усе це сприяло збільшенню попиту напівпровідників [1].

Основні матеріали дослідження. До простих напівпровідникових матеріалів відносяться 12 елементів таблиці Менделєєва: бор, вуглець (алмаз), кремній, германій, олово, фосфор, миш'як, сурма, сірка, селен, телур, йод.

Найбільше поширення одержали: метал германій (Ge) і металоїд (Si), які мають ґратки алмазу, а також алмаз у вигляді монокристалів, селен та тверді розчини кремнію і германію у вигляді полікристалів [2-3].

Питомий електричний опір напівпровідникових матеріалів залежить від ширини забороненої зони, тобто рухливості носіїв і складає (при 20°C) у германію – 0,6 Ом·м, у кремнію – $2,4 \cdot 10^3$ Ом·м, а в алмазу - 108 Ом·м.

Напівпровідникові матеріали бувають прості і складні, n-типу та p-типу. Тип провідності визначається відхиленням від стехіометричного складу. Так, при надлишку металу буде електронна провідність, де переважають донорні домішки (або n-типу), а при надлишку металоїду – дірочна провідність, з перевагою акцепторних домішок (або p-типу).

До складних напівпровідникових матеріалів відносяться з'єднання, які утворені елементами III и V груп (АІІВV): фосфід і арсенід галію та індію, антимонід індію та ін., а також їх тверді розчини. Кристалічні ґратки таких напівпровідникових матеріалів – типу сфалериту. Перспективними є напівпровідникові з'єднання з широкою зоною: нітриди алюмінію і галію (Al, Ga).

Широко поширені напівпровідникові матеріали, які утворюються при взаємодії елементів другої групи – цинку, кадмію і ртуті з халькогенами – сіркою, селеном та телуrom (AІІВVI). Ширина забороненої зони таких з'єднань: від 3,6 eV для Zn до нуля – для HgTe, які мають напівметалеві властивості.

Гарні термо- та фотоелектричні властивості мають з'єднання AІV BVI, халькогеніди свинцю, телуриди германію та олова, які є надпровідниковими матеріалами при низьких температурах. Застосовується також карбід кремнію (Si) з широкою забороненою зоною і пов'язаною з цим високою межею робочої температури. Карбід кремнію кристалізується в декількох модифікаціях: у кубічній типу сфалериту (β SiC) або гексагональній типу вюрциту (α SiC), які відрізняються кількістю шарів і упакуванням.

Великий клас складають потрійні напівпровідникові матеріали. Це повно-валентні з'єднання зі структурою сфалериту і халькопіриту, у яких число електронів на один атом дорівнює 4, наприклад ZnSi₂, CdGaAs₂, CuAl₂, AgGaSe₂ та ін. Застосування: з монокристалів германію, кремнію, арсеніду галію, фосфідів індію і галію виготовляють

діоди, транзистори, тиристори, тензодатчики, інтегральні схеми та ін. З карбїду кремнію, арсенїду галїю та ін. виготовляють світлодіоди для оптичної електронїки.

ФотоЕРС (електрорушїйна сила), що з'являється в n-p-переходах при освїтлюванні, використовується у сонячних батареях (кремній, арсенїд галїю, антимонїд алюмінію та ін.).

Зміну провідності напівпровідників при освїтлюванні використовують у фоторезисторах, фотоприймачах іонїзуючого випромїнювання. Стимульована струмом генерація світла на n-p – переходах у напівпровідниках використовується в оптичних квантових генераторах, які працюють на арсенїдах галїю, індію, або на фосфїді галїю.

Напівпровідникові матеріали поширені в технїці прямого перетворення теплової енергїї в електричну. До таких напівпровідникових матеріалів відносяться телуриди і селенїди вїсмуту та сурми.

Висновок. Авторами пропонується інформація щодо напівпровідників та матеріалів, з яких вони створюються.

Список використаних джерел

1. Сушко О. В., Колодїй О. С., Коломоєць В. А. Нові матеріали в машинобудуванні: навч.-метод. посїбник. Мелїтополь, 2021. 108 с.
2. Колодїй О. С., Сушко О. В. Влияние среды, нанесенной на обрабатываемую поверхность, на процесс резания. *Науковий вісник Таврїйського державного агротехнологїчного університету*. Мелїтополь, 2020. Вип. 10, т. 2. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-17.
3. Колодїй О. С., Кюрчев С. В., Сушко О. В., Ковальов О. О. Автоматичне управління процесами обробки металів рїзанням: методичний посїбник з виконання лабораторних робїт. Мелїтополь: Forward press, 2020. 136 с.

УДК 631.37:621.313.13

**ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ В РЕЖИМІ
НЕСИНУСОЇДНОСТІ НАПРУГИ**

Попова І. О., доцент

irirnapopova54@gmail.com*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь*

Актуальність та постановка проблеми. Кожний електроспоживач працює при визначених параметрах електричної мережі електричної енергії: номінальній напрузі, частоті, струмі та інше. Визначення необхідних рівнів якості електроенергії здійснюється на основі ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT) «Характеристика напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності» [1]. Показники якості електроенергії визначають ступінь відхилення напруги і частоти мережі в результаті зміни параметрів навантаження і впливу кондуктивних завод. У зв'язку з високим зростанням частки нелінійних навантажень в електричних мережах, зростає ймовірність функціонування електротехнічних комплексів і систем у режимах несинусоїдності напруги [2].

Основні матеріали дослідження. Криві напруги $u(t)$ та $i(t)$ в електричних мережах можуть розглядатися як сукупність періодичних коливань. Якщо нелінійне навантаження працює у тривалому режимі, тоді рівняння для струму або для напруги можна представити рядом Ейлера-Фур'є [3]

$$f(\omega t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_{km} \sin(k\omega t + \psi_k), \quad (1)$$

де I_0 – постійна складова або нульова гармоніка (практично завжди дорівнює нулю у випадку промислових або побутових мереж), А;

ω – кругова частота напруги мережі, рад/с;

k – порядковий номер гармоніки ($k=1$ – перша (основна) гармоніка, $f=50$ Гц).

Показниками якості електричної енергії є коефіцієнт викривлення синусоїдної кривої струму (напруги)

$$k_B = \frac{I_1}{\sqrt{I_0^2 + I_1^2 + \dots + I_k^2}}, \quad (2)$$

та коефіцієнт вищих гармонік

$$k_{\Gamma} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_k^2}}{I_1}. \quad (3)$$

Рівень викривлення напруги вважається допустимим для мереж напругою 0,4 кВ, якщо не перевищує 8 %, в той час, як перевищення цього значення може викликати значні негативні ефекти для чутливого обладнання мережі і навантажень споживачів. Для мереж напругою 35 кВ нормально допустимий рівень $k_{\Gamma} = 4$ %, для мереж напругою 110-220кВ – 2 % [1].

Типовими джерелами несинусоїдності напруги і струму в електричних мережах є силові трансформатори, електричні машини і електроспоживачі, що мають нелінійну вольт-амперну характеристику, електротермічні установки, напівпровідникові перетворювачі, керовані і некеровані випрямлячі, імпульсні джерела живлення, побутові споживачі. Трансформатори працюють у режимі насичення, робоча точка на кривій гістерезиса магнітопроводу знаходиться в зоні переходу кривою у насичення. Відповідно для робочої точки струм намагнічення має пікову форму і високий вміст високих гармонік з важенням 3-ої гармоніки. Для трансформатора 10/0,4 кВ

потужністю 25 кВА характеризується $kB = 76,1\%$ [4].

Електричні машини характеризуються можливістю функціонувати в зоні, що межує з зоною насичення. Струм 3-ої гармоніки трифазного синхронного генератора при з'єднанні його обмоток статора зіркою може містити до 30 % від рівня струму основної гармоніки. Струми електротермічних установок, що працюють у повторно-короткочасних режимах і аперіодичними кривими струмів взагалі не можуть бути описані рівняннями розкладання в ряд Фур'є на вищі гармоніки. Імпульсні джерела живлення взагалі мають високий рівень гармонічних складових струму живлення.

У складі електрообладнання малої потужності побутового і офісного призначення є малопотужні електродвигуни і трансформатори, що характеризуються ефектами насичення магнітної системи і, відповідно викривлення кривої струму. Коефіцієнт викривлення струму живлення холодильника складає $kB = 6,3\%$, кондиціонера $kB = 10,5\%$, НВЧ-печі $kB = 31,9\%$, пилососу $kB = 25,9\%$ [4-6].

Несинусоїдність напруги впливає на електрообладнання електромережі. Явними признаками підвищеного рівня несинусоїдності є: зниження ефективності процесів генерації і передачі електроенергії, пришвидшений вихід з ладу запобіжників і батарей конденсаторів, перегрів силових трансформаторів, додаткові вібрації на валу електричних двигунів. Конденсаторні установки найбільш вразливі по відношенню до вислих гармонійних складових напруги від резонансних явищ. Частотний резонанс є причиною хибних спрацювань чутливих мікропроцесорних захистів, поява значних струмів вищих гармонік у конденсаторних батареях зменшує їхню ємність з наступним їх виходом з ладу, викликає підвищене гудіння, виникнення міжвиткових коротких замикань у трансформаторах і електродвигунах викликають підвищений додатковий нагрів ізоляції і зменшення ресурсу їхньої роботи.

В лініях електропередачі вищі гармоніки призводять к додатковим втратам потужності у активному опорі лінії за рахунок впливу поверхневого ефекту. У кабельних мережах гармонічні складові напруги збільшують негативний вплив на діелектричний шар ізоляції з ростом амплітуди напруги, що прискорює старіння ізоляції.

Висновок. Для зменшення впливу гармонічних складових на елементи електричних комплексів необхідно застосовувати превентивні і корегуючі способи.

Список використаних джерел

1. ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). Характеристика напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. [Чинний від 2014-10-01]. Київ, 2014. 37 с.
2. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. Москва: Энергоатомиздат, 2000. 331 с.
3. Попова І. О. Визначення параметрів активно-ємнісного фільтра напруги зворотної послідовності. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*: зб. тез доп. І Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф. пам'яті В. В. Овчарова. Мелітополь, 2020. С. 18-19.
4. Немцев Г. А., Селезнев Е. А., Шестакова Л. А. Влияние высших гармонических составляющих на работу асинхронных двигателей. *Вестник Чувашского университета*. 2014. № 2. С. 46–51.
5. Попова І. О. Аналіз впливу вищих гармонійних складових на роботу електромеханічних перетворювачів. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*: зб. тез доп. ІІІ Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф. пам'яті В.В. Овчарова. Мелітополь, 2021. С. 34-35.
6. Попова І. О., Попрядохін В. С. Параметри контролю несиметричних режимів роботи асинхронних двигунів для розробки ефективного захисту. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 9, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-41.

УДК 631.37:621.313.13

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУГИ ЗМІЩЕННЯ НЕЙТРАЛІ І КОВЗАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ ГЛИБОКІЙ НЕСИМЕТРІ ЗА ДОПОМОГОЮ КРУГОВОЇ ДІАГРАМИ

Попова І. О., доцент,
Макенов П. С., студент
Іванов М. В., магістрант

irirnapopova54@gmail.com
tankist2002mlt@gmail.com
ivanov.maksus@gmail.com

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

При неповнофазному режимі роботи асинхронного двигуна напруга зміщення нейтралі \dot{U}_N знаходиться у прямій залежності від моменту опору робочої машини, тобто від коефіцієнта завантаження k_z , та ковзання асинхронного двигуна [1]. Зміна ковзання призводить до зміни опорів обмотки ротора струмам прямої і зворотної послідовностей

$$Z_{r1} = r_2''/s + jX_2''; \quad (1)$$

$$Z_{r2} = r_2''/(2-s) + jX_2'' \quad (2)$$

де r_2'' , X_2'' – активний і індуктивний опори обмотки ротора, згідно Г-подібної схеми заміщення.

Повні опори фази асинхронного двигуна струмам прямої і зворотної послідовностей для Г-подібної схеми заміщення теж залежать від частоти обертання ротора або ковзання s визначаються за формулами [2, 3]

$$Z_1 = \frac{Z_m(Z_s + Z_{r1})}{Z_m + Z_s + Z_{r1}} = z_1 \cdot e^{j\varphi_1}; \quad Z_2 = \frac{Z_m(Z_s + Z_{r2})}{Z_m + Z_s + Z_{r2}} = z_2 \cdot e^{j\varphi_2}, \quad (3)$$

де Z_s , Z_m – комплекси повних опорів, відповідно, обмотки статора і магнітопроводу асинхронного двигуна.

Таким чином напруга зміщення нейтралі, що виникає під час несиметричного режиму, залежить від комплексів опорів фази струмам прямої і зворотної послідовностей $\dot{U}_N = f(Z_1, Z_2)$. Проаналізуємо змінення \dot{U}_N в залежності від ковзання за допомогою рівняння кругової діаграми, використав графічний метод побудови кругової діаграми (рис. 1).

Запишемо рівняння кругової діаграми наступним чином [4]

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_1}{1 + \frac{z_1}{z_2} e^{j\psi}}, \quad (4)$$

де ψ – кут, що дорівнює різниці кутів зсуву фаз прямої φ_1 і зворотної φ_2 послідовностей, градуси;

\dot{E}_1 – комплекс електрорушійної сили джерела, В.

При побудові кругової діаграми прийемо, що відрізок ОК відповідає, у масштабі напруги, модулю напруги зміщення нейтралі при короткому замиканні фазної обмотки асинхронного двигуна. Відрізок ОА дорівнює, у масштабі опору, модулю повного опору зворотної послідовності z_2 . По лінії змінного параметра (л.з.п.) АН відкладаємо модуль повного опору, що визначений з урахуванням коефіцієнта завантаження і ковзання $z_1 = f(k_z, S)$. Аналіз кругової діаграми показує, що в разі, коли опір прямої послідовності z_1 дорівнює нулю, що є режимом короткого замикання фазної обмотки, вектор напруги зміщення нейтралі співпадає с відрізком ОК, а напруга зміщення

нейтралі дорівнює фазній напрузі мережі. При роботі асинхронного двигуна в симетричному режимі напруг, коли напруги зворотної послідовності і струми зворотної послідовності відсутні (тобто опір зворотної послідовності z_2 дорівнює нулю), напруга зміщення нейтралі теж дорівнює нулю. В несиметричному режимі при глибокій несиметрії напруга зміщення нейтралі при зміні z_1 від нуля до нескінченності змінюється від E_1 , рівної фазній напрузі джерела у симетричному режимі, до нуля. При збільшенні ковзання опір прямої послідовності z_1 зменшується, що призводить до зростання напруги зміщення нейтралі.

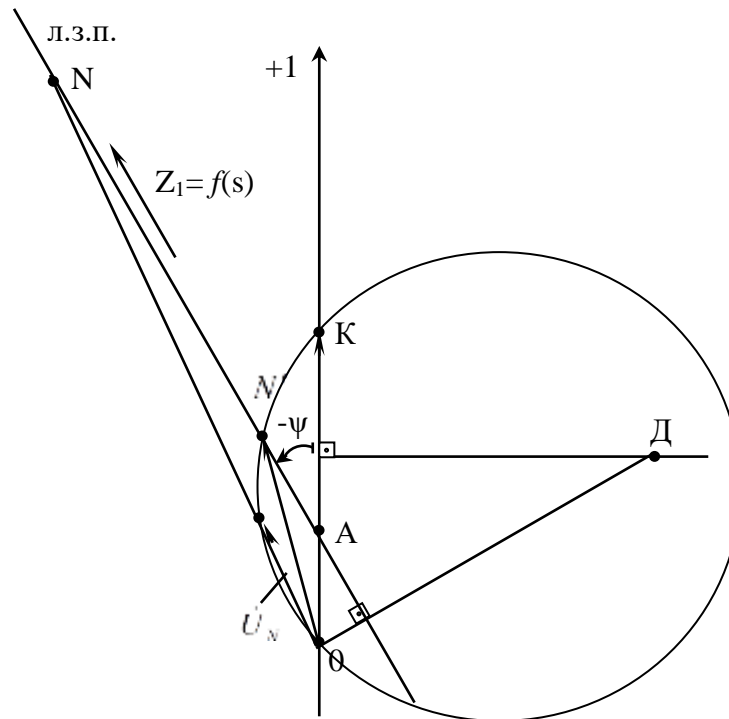


Рисунок 1. Кругова діаграма для дослідження напруги зміщення нейтралі

Висновок. За допомогою кругової діаграми можна аналізувати зміну напруги зміщення нейтралі в залежності від ковзання асинхронного при відомих опорах фаз прямої і зворотної послідовностей.

Список використаних джерел

1. Попова І. О. Математична модель режимів роботи асинхронного двигуна при несиметрії напруги. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь, 2002. Вип. 5. С. 11–18.
2. Попова І. О. Визначення параметрів асинхронного електродвигуна при несиметрії напруги. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь, 2002. Вип. 6. С. 90–94.
3. Попова І. О., Макенов П. С. Дослідження опорів асинхронного двигуна при роботі в несиметричному режимі. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: зб. тез доп. III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. пам'яті В.В. Овчарова*. Мелітополь, 2020. С. 93-94. URL: http://www.tsatu.edu.ua/etem/wp-content/uploads/sites/60/popova_makenov-doslidzhennja-oporiv-asynhronnoho-dvyhuna-pry-roboti-v-nesymetrychnomu-rezhymi.pdf (дата звернення: 22.10.2021).
4. Попова І. О. Контроль режимів роботи асинхронних двигунів при несиметрії напруг мережі: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.09.16. Мелітополь: ТДАТА, 2003. 20 с.

УДК 621.327

ПОРІВНЯННЯ І АНАЛІЗ ПРИСТРОЇВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Попова І. О., доцент

irirnapopova54@gmail.com

Курчанов А. А., студент

artiklook@gmail.com

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь*

У промисловості і агропромисловому комплексі найбільш розповсюдженими споживачами електричної енергії є електричні машини (асинхронні двигуни, трансформатори, зварювальні апарати, індукційні печі та інші) з постійним нелінійним і різко змінним навантаженням. В електричних машинах магнітний потік зв'язаний з обмотками. Такі споживачі крім активної потужності споживають реактивну потужність, що викликає дисбаланс у всій енергомережі. [1]

Реактивна потужність в енергосистемі погіршує її роботу, підвищує втрати в мережах, збільшує падіння напруги. Тому компенсація реактивної потужності необхідна на всіх підприємствах для покращення електропостачання і підвищення енергоефективності всіх споживачів.

На практиці для компенсації реактивної потужності використовують різні пристрої. До них відносяться: конденсаторні батареї, синхронні компенсатори, шунтуючі реактори, статичні тиристорні компенсатори, фільтри вищих гармонік.

Конденсаторні батареї видають реактивну потужність у систему. Оскільки знижуються перетоки потужності в самій мережі, це призводить до зменшення втрат активної потужності, зниженню втрат напруги, знижується навантаження на лінії електропередачі і трансформатори.

Синхронний компенсатор являє собою синхронний двигун полегшеної конструкції, призначений для роботи на холостому ході. При роботі в режимі перезбудження він генерує реактивну потужність [2].

Шунтуючі реактори, що споживають реактивну потужність, компенсують надлишок реактивної потужності, знижують її перетікання і зменшують струм у лініях і трансформаторах, внаслідок, знижують активні втрати потужності.

Статичні тиристорні компенсатори як видають, так і споживають реактивну потужність, але вони дозволяють плавно і швидко регулювати реактивну енергію. Статичні тиристорні компенсатори в електричних мережах призначені для підвищення пропускної спроможності і стійкості лінії електропередачі, стабілізації напруги у вузлах навантаження, зменшення втрат електроенергії і підвищення її якості.

При виборі пристроїв компенсації реактивної потужності слід враховувати складність ремонту і експлуатації, їхню вартість і ефективність. Наприклад, статичні тиристорні компенсатори мають складну конструкцію і високу вартість. Синхронні компенсатори для ефективною роботи повинні встановлюватися якомога ближче до споживача, щоб не навантажувати мережу реактивними струмами. Фільтрокомпенсуючі пристрої дуже коштовні, тому їх раціонально застосовувати тільки для стаціонарних навантажень. Недоліком шунтуючих реакторів є те, що вони викликають падіння напруги мережі.

Найбільш конструктивно простими і економічними пристроями є конденсаторні батареї. Вони мають тривалий строк служби, мають можливість підключатися безпосередньо до шин як низької, так і високої напруги, мають малі втрати активної потужності. Статичні батареї конденсаторів прості в експлуатації, мають порівняну легкість операцій при монтажі, можлива як їх як внутрішня так і зовнішня установка.

Батарея статичних конденсаторів (БСК) складається із конденсаторної батареї, струмообмежуючого реактора, шафи комутації і захисту БСК з вимірюючими трансформаторами струмів. Основний елемент БСК – косинусні конденсатори для кожної фази. Конструкція конденсаторної батареї представляє собою збірку з блоків силових високовольтних конденсаторів, розміщених у зварених металевих рамах. Блоки з'єднуються між собою паралельно і послідовно, встановлюються вертикально у декількох рівнях на опорних ізоляторах. Трифазна батарея містить три однофазні конструкції, які з'єднуються у зірку або трикутник в залежності від режиму роботи нейтралі. Системи компенсації бувають *одиночні* – там де потрібна компенсація потужних (більш 20 кВт) споживачів або споживана потужність постійна впродовж довгого часу; *групові* – у випадку компенсації індуктивних навантажень, підключених до одного розподільчого пристрою або розташованих рядом; *централізовані* – для підприємств зі змінною потребою реактивної потужності. В цьому випадку конденсаторна батарея оздоблюється спеціальним контролером і комутуючою і захисною апаратурою. Перевагою централізованої компенсації є відповідність включеної потужності конденсаторів в конкретний момент часу без перекомпенсації або недокомпенсації.

При виборі конденсаторної установки потрібну потужність визначають [3]

$$Q_C = P \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_2), \quad (1)$$

де $tg\varphi_1 = \frac{Q_1}{P_1}$ – співвідношення потужностей споживача до установки БСК;

$tg\varphi_2 = \frac{Q_2}{P_2}$ – співвідношення потужностей споживача після установки БСК

(бажаний або що задається енергосистемою).

Висновки. Для промислових підприємств і об'єктів АПК, на яких основними споживачами є асинхронні електродвигуни, тобто для підприємств з практично постійним навантаженням, для компенсації реактивної потужності найбільш доцільно використовувати батареї статичних конденсаторів. Це дозволить підвищити коефіцієнт потужності з 0,7-0,75 до 0,93-0,99 і суттєво підвищить енергоефективність підприємства.

Список використаних джерел

1. Попова І. О., Курчанов А. А. Система компенсації реактивної потужності в сільських мережах як засіб скорочення витрат *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*: зб. тез доп. III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. пам'яті В.В. Овчарова. Мелітополь, 2021. С. 34-35. URL: http://www.tsatu.edu.ua/etem/wp-content/uploads/sites/60/popova_kurchanov-systema-kompensaciyi-reaktyvnoyi-potuzhnosti-v-sil'skyh-merezhah-jak-zasib-skorochennja-vytrat.pdf (дата звернення: 12.10.2021).

2. Курашкін С. Ф., Попова І. О. Механізм пошкодження елементів конструкції силового трансформатора. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки*. Харків, 2017. Вип. 186: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 62-63.

3. Овчаров В. В. Теоретические основы электротехники: учебное пособие. Ч. 1. Мелітополь: Люкс, 2007. 389 с.

Секція 2. Електромеханічні комплекси і системи

УДК 621.31:004.89

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СТРУМУ ВИТОКУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Герасименко В. П., інженер

syavagvp@gmail.com

Майбородіна Н. В., к. ф.-м. н.

ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут», НУБіП, м.Ніжин

Актуальність та постановка проблеми. Беручи до уваги практичні результати досліджень та попередні наукові роботи [1 - 4], розглянуто можливість використання інтелектуального математичного апарату нейронних мереж на основі теорії часових рядів для моделювання величини значень струму витoku електрообладнання тваринницького приміщення.

Основні матеріали дослідження. Типово до складу нейрону входять помножувачі (синапси), суматор і нелінійний перетворювач. Синапси здійснюють зв'язок між нейронами і перемножують вхідний сигнал на число, яке характеризує силу зв'язку – вагу синапсу (рис. 1).

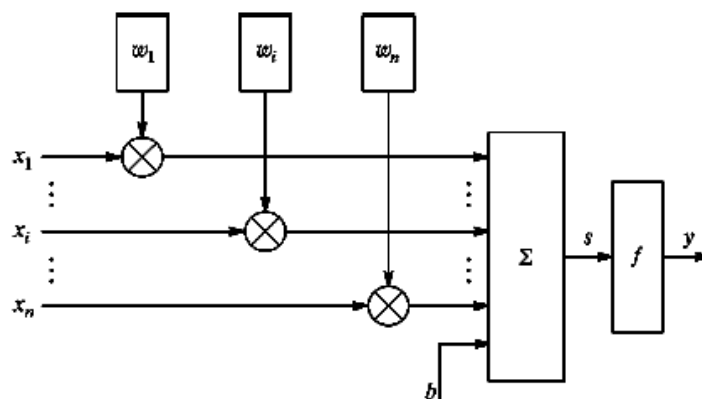


Рисунок 1. Структура штучного нейрона

Суматор складає сигнали, що надходять по синаптичних зв'язках від інших нейронів, і зовнішніх вхідних сигналів. Нелінійний перетворювач реалізує нелінійну функцію одного аргументу – виходу суматора. Ця функція називається «функція активації» або «передавальна функція» нейрона. Нейрон в цілому реалізує скалярну функцію векторного аргументу. При цьому, оскільки значення струму витoku можна розглядати як часовий ряд (ЧР), для покращення прогнозування доцільно комбінувати класичний підхід використання нейронних мереж із математичним апаратом опрацювання ЧР[5]. На основі теорії часових рядів та із використання пакету прикладних математичних програм “Statistica” для опрацювання даних щодо електродвигуна потужністю 4 кВт початково створено комплекс НМ (рис. 2.): багат шаровий персептрон із чотирма нейронами у прихованому шарові; багат шаровий персептрон із трьома нейронами у прихованому шарові; НМ радіальнобазисної функції із двісті дев'ятнадцятьма нейронами у прихованому шарові. Кращу якість на навчальній та тестовій вибірках даних продемонструвала НМ багат шаровий персептрон із чотирма нейронами у прихованому шарові (рис. 3), така НМ і приймається за базову у дослідженнях: середньоквадратична похибка навчання –

0,008283 у.о., середньоквадратична похибка тестування – 0,000788 у.о.

Net. ID	Net. name	Training perf.	Test perf.	Algorithm	Error funct.	Hidden act.	Out
1	MLP 1-4-1	0,008283	0,000788	BFGS 1	SOS	Logistic	T e
2	MLP 1-3-1	0,016381	0,017074	BFGS 27	SOS	Tanh	Lo
3	RBF 1-219-1	0,094451	0,073329	RBFT	SOS	Gaussian	Id

Рисунок 2. Комплекс НМ на етапі вибору мережі для прогнозування струму витоку на основі теорії ЧР для електродвигуна

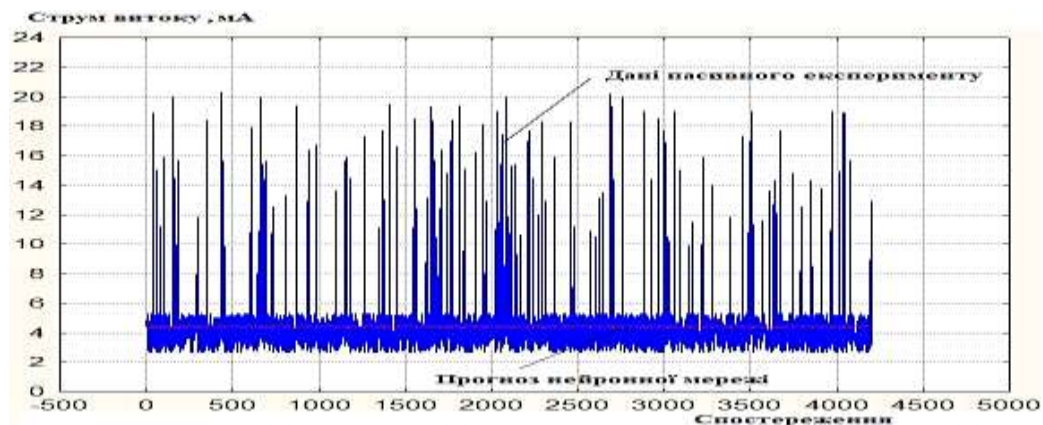


Рисунок 3. Ефективність прогнозування нейромережі на основі теорії часових рядів (НМЧР) струму витоку електродвигуна

Висновки. Аналіз ефективності демонструє, що НМЧР найкраще прогнозує відносно усереднені значення струму витоку, у той же час така математична модель фактично не відслідковує потенційні флуктуаційні викиди досліджуваної величини.

Список використаних джерел

1. Козирський В. В., Герасименко В. П., Ковальов О. В. Способи і засоби підвищення надійності захисту та попередження появи небезпечних струмів в мережах 0,38 кВ. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2012. Т. 2, № 12. С. 59-65.

2. Gerasymenko V., Kozyrskiy V., Maiborodina N., Kovalov O. Mathematical Model Changing the Value of the Process of Leakage Current in 0.38 kV Networks. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. 2019. P. 339-347. DOI: [10.1007/978-3-030-14918-5_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_35).

3. Герасименко В. П. Апаратно-програмна реалізація інтелектуальної комп'ютерно-інтегрованої системи контролю та прогнозування величини струму витоку електрообладнання тваринницького приміщення. *Енергетика і автоматика*. 2020. № 2. С. 77-85. DOI: [10.31548/energiya2020.02.077](https://doi.org/10.31548/energiya2020.02.077).

4. Герасименко В. П. Інтелектуальна система контролю та прогнозування величини струму витоку електрообладнання установок для теплової обробки і сушіння зернової сировини. *Енергетика і автоматика*. 2020. № 6. С. 109-117. DOI: [10.31548/energiya2020.06.109](https://doi.org/10.31548/energiya2020.06.109).

5. Smola A. J., Schoelkopf B. A tutorial on support vector regression. *Statistics and Computing*. 2004. Vol. 14. P. 199-222.

УДК 621.31

СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Стьопкін В. В., к.т.н.

vasilstopkin@gmail.com

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Передумови використання моделей розпізнавання. Конкретні алгоритми динамічної оптимізації орієнтовані на визначену структуру математичної моделі та припускають тільки її параметричну адаптацію, постійність структури якої у свою чергу може призвести до суттєвого зниження якості керування. Ця обставина, а також поява додаткових інформаційних каналів призводить до зміни структури моделі одного й того ж самого об'єкта керування. Це обумовлює висновок о необхідності розробки загального для різних об'єктів способу автоматичної оптимізації. Відомо [1], що використання методу розпізнавальної оптимізації в системах керування технологічними процесами дозволяє реалізувати два режими роботи: «навчання розпізнаванню» та власне «пошук оптимального керування». В роботі [2] розглядається метод розпізнавальної статичної оптимізації для нелінійних статичних об'єктів. Актуальним є питання використання даного методу для динамічних об'єктів. В роботі [3] розглядається алгоритм розпізнавальної оптимізації для динамічного об'єкту. Крім того перехід на інтелектуальні системи у теперішній час є досить перспективним напрямком.

Етапи ідентифікації, розробки та реалізації алгоритмів керування. Метою даної роботи є постановка задачі щодо використання методу розпізнавальної оптимізації для дослідження оптимальних за швидкодією систем електроприводів. Сутність режиму «навчання розпізнаванню» полягає у наступному. Формується навчальна вибірка (інформація з датчиків, встановлених на об'єкті). Навколо кожної точки 1, 2, ...n цієї вибірки у просторі набирається гіперпараллелепіпед. Процес формування образу на основі гіперпараллелепіпеду наведений на рис. 1. Тут \vec{X}_1 – вектор параметрів керування; \vec{X}_2 – вектор збурень. Величини ΔX_i обираються рівними похибці вимірювання відповідних параметрів.

Розпізнавання не може розглядатися без етапу навчання, яке полягає в побудові поверхні, що розділяє багатомірний простір на області, які відповідають певним класам.

Навчання полягає у побудові деякої функції образів та вказівок, до якого класу належать ці образи. До складу такої функції $y = f(x)$ входить l-мірний вектор, який характеризує образ x. Тут y – величина, що визначає клас, до якого належить образ. Функція повинна володіти наступними властивостями:

$$\text{sign } f(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \in A, \\ -1, & \text{if } x \in B. \end{cases} \quad (1)$$

Таким чином, знак $f(x)$ визначає належність X до класу A або B.

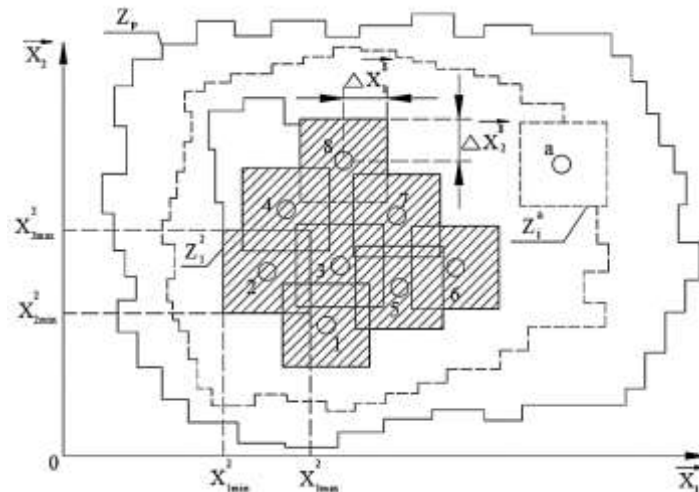


Рисунок 1. Процес формування образу на основі гіперпараллелепіеду

Навчання здійснюється під час спостережень за об'єктом. Область функціонування об'єкту у просторі визначає математична модель технологічного процесу у вигляді суми рівнянь:

$$Z_j(\vec{X}) = \frac{1}{2^t} \cdot \prod_{i=1}^t 1 + \text{sgn} \left(X_{ji} - X_{ji\min} \right) \cdot X_{ji\max} - X_{ji} \quad , \quad (2)$$

де t – розмірність простору; j – порядковий номер технологічного стану;

$X_{ji\min}$, $X_{ji\max}$, X_{ji} – мінімальне, максимальне та поточне значення фактору.

Якщо розпізнавальний стан j належить до гіперпараллелепіеду $Z_j \vec{X}$, то $Z_j \vec{X} = 1$, інакше $Z_j \vec{X} = 0$. Об'єднуючи отримані таким чином елементарні підобласті $Z_j \vec{X}$ можна отримати у просторі ознак образ Z_p , розподільча функція якого буде являти собою логічну суму предикатних рівнянь (2).

Кожній точці 1, 2, ... n навчальної вибірки відповідає певне значення критерію керування процесом Y_j . Формування образу (рис.1) здійснюється на основі логічної суми усіх гіперпараллелепіедів:

$$Z_p(\vec{X}) = \bigcup_{j=1}^a Z_j \vec{X} \quad , \quad (3)$$

де a – кількість гіперпараллелепіедів, отриманих на етапи навчання.

Висновок. У роботі запропонована методика проведення навчання для системи розпізнавальної оптимізації керування електромеханічним об'єктом.

Список використаних джерел

1. Качан Ю. Г. Распознающие алгоритмы статической оптимизации нелинейных объектов. Днепропетровск, 1983. 6 с. Деп. в УкрНИИТИ, № 408. Ук 83Деп.
2. Трипутень Н. М., Качан Ю. Г. Кодирование разноразмерных подобластей при реализации алгоритма распознающей статической оптимизации. Днепропетровск, 1985. 8 с. Деп. в Укр.НИИТИ 12.03.85г., № 1151 УК 85Деп.
3. Качан Ю. Г., Николенко А. В., Степкин В. В. Идентификация параметров распознающей динамической модели методической печи *Науковий вісник НГУ*. 2009. Вип. 4. С. 82-85.

УДК 669.184.12

МОДЕРНІЗАЦІЯ ДІЮЧОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАХИЛУ 160 Т КОНВЕРТОРА

Нежурін В. І., к.т.н.

Куваєв В. Ю., інженер

Гриценко О. В., магістрант

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

kuvaev@i.ua

Актуальність та постановка проблеми. Використання киснево-конвертерного процесу пояснюється тим, що він має низку суттєвих переваг в порівнянні з мартенівським і електросталеплавильним процесами.[1].

Таблиця 1

Характеристика конвертора ємністю 160 т

Найменування параметру	Розмірність	Величина
Садка (рідкий чавун + скрап)	т	160
Прискорення конвертора	град/с ²	2
Час технологічного циклу	с	2700
Максимальний момент на валу двигуна	Н·м	3700
Мінімальний момент на валу двигуна	Н·м	2738
Приведений момент інерції конвертора	кг·м ²	18,1
Загальна кількість двигунів	шт.	4
Установлена потужність приводу нахилу конвертора	кВт	520
Швидкість нахилу конвертора	об/хв.	0,1 ÷ 1,1

ПАТ «Арселор Міттал» - підприємство з повним металургійним циклом, яке є сучасним виробництвом з високим рівнем технології, механізації і автоматизації. До його складу входить гірничо-збагачувальний комплекс, коксохімічне виробництво і власне металургійне виробництво. До складу конверторного цеху входить 6 конверторів по 160 т, річне виробництво сталі складає 6,5 млн. т. Основні характеристики конвертора та його приводу наведені в табл. 1. Конвертор ємністю 160 тон призначено для отримання сталі з рідкого чавуну з добавкою лому, з використанням вуглецевмістких матеріалів з подачею кисню зверху, а нейтральних газів – через днище конвертора.

Діючий привод нахилу конвертора складається із 4 двигунів постійного струму та об'єктно-орієнтованих комплектних тиристорних електроприводів типу КТЕ-500/440-0122-3П2-УХЛ4 і безконтактного керування чотирма електромагнітами гальм на базі тиристорних перетворювачів КТЕВ-50/460-0012-00112-УХЛ4.

До приводу нахилу конвертера пред'являється цілий ряд технологічних вимог[2]:

- 1) можливість плавного регулювання швидкості в діапазоні 50:1;
- 2) підтримка стабільної швидкості при низьких її значеннях;
- 3) висока переважувальна здатність приводних двигунів по струму і моменту;
- 4) точність підтримки швидкості до 2,5%.

Більш сучасною системою регульованого приводу, яка не поступається за своїми можливостями системі ТП-Д, є система ПЧ-АД, яка забезпечує виконання вимог, що висуваються до сучасного приводу нахилу конвертора[2].

Основні матеріали дослідження. З урахуванням вищенаведеного для привода нахилу конвертора запропоноване дослідження можливості використання сучасної системи «перетворювач частоти-асинхронний двигун» (ПЧ-АД). Для модернізації електропривода передбачено асинхронні двигуни 6АМУ315М8РП1 та перетворювачі частоти (ПЧ) типу VFD1320C43F-2.

Дослідження використання існуючої системи ТП-Д та системи «перетворювач частоти-асинхронний двигун» (ПЧ-АД) виконано (табл. 2) за допомогою MATLAB.[3].

Таблиця 2

Показники якості варіантів приводів нахилу конвертора

Показники якості	Значення показника	
	Система ТП-Д	Система ПЧ-АД
Діапазон регулювання швидкості	0,1-1,1 об/хв	0,1-1,1 об/хв
Швидкодія електропривода	1,5 с	1,45 с
Перерегулювання за струмом	<2,5%	<2,5%
Швидкодія апаратури керування	<0,1 с	<0,1 с

Форма одержаних графіків перехідних процесів за струмом та кутовою швидкістю відповідає реальній навантажувальній діаграмі електропривода нахилу конвертора. Перерегулювання за струмом не перевищує значення 2,5 % - перевантажувальної здатності двигуна та відповідає налагодженню контуру за моментом на модульний технічний оптимум. Перерегулювання за кутовою швидкістю відсутнє, так як в контурі використаний пропорційно-інтегральний регулятор та є вже скомпенсований за модульним оптимумом контур струму.

Висновок. Як видно з одержаних результатів, параметри системи керування ПЧ-АД не поступаються параметрам базової системи керування ТП-Д, за якою виконано діючий привод нахилу конвертора, зокрема, швидкодія привода після модернізації складає 1,45 с в діапазоні технологічних швидкостей привода конвертора.

Список використаних джерел

1. Машины и агрегаты металлургических заводов: учебник: в 3-х т. / А. И. Целиков и др. Москва: Металлургия, 1988. 680 с.
2. Фотиев М. М. Электропривод электрооборудование металлургических цехов. Москва: Металлургия, 1983. 288 с.
3. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. Москва: СОЛОН-Пресс, 2005. 576 с. (Библиотека профессионала).

УДК 621.31

АКТУАЛЬНІСТЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПОТУЖНИХ СИСТЕМ ГЕНЕРАТОР-ДВИГУН ПРОКАТНИХ СТАНІВ

Стьопкін В. В., к.т.н.

vasilstopkin@gmail.com

Паламарчук О. О., студент

Ярошенко Я. Г., студент

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Аналіз стану питання. Прикладами потужних систем генератор-двигун (Г-Д) електроприводів прокатних станів у Дніпровській області є: електропривода блюмінгу 1050, чистових та чорнових клітей стану 800 прокатного цеху № 1 ПрАТ «ДМЗ» (Дніпро); електропривод блюмінгу 1050, чистових та чорнових клітей рейкового стану ПрАТ «ДКХЗ» (Кам'янське). Тут встановлена система Вард-Леонарда (система Г-Д) яка була запропонована ще у 1891 році американським електротехніком Гаррі Вард-Леонардом [1]. Дана система має відмінні регульовальні можливості як у статиці, так і у динаміці. На базі цієї системи вдалося створити електропривод реверсивних прокатних станів. Першою такою установкою в СРСР був електропривод блюмінгу потужністю 7000 к.с., виробництва заводу «Електросила» ще у 1931 році. Для живлення двигуна був встановлений тримашинний агрегат, до складу якого входив асинхронний двигун потужністю 3680 кВт та два генератори постійного струму потужністю 3000 кВт. Система керування, вирішувала задачі автоматичного керування магнітним полем генераторів, двигунів та моментом асинхронних двигунів.

Авторами у роботі [2] виконані дослідження моделей тиристорних випрямлячів для керування системою Вард-Леонарда. Структурою системи передбачені зовнішні контури регулювання швидкості, які працюють через два оптимізованих внутрішніх контурів струму. Один для струму якоря двигуна та другий для струму збудження генератора. Описані моделі генератора, двигуна, механічного навантаження, випрямляча, регулятора швидкості, регулятора струму реалізовані у SIMULINK (MATLAB).

Актуальним напрямком модернізації системи керування на базі Г-Д є встановлення сучасного високовольтного перетворювача частоти одних із фірм виробників – ABB, Siemens або Schneider Electric.

Постановка проблеми, основні матеріали дослідження. На ПрАТ «ДКХЗ» на блюмінгу 1050 встановлена система Г-Д з привідним двигуном постійного струму потужністю 9089 кВт типу ПП-9120-80 напругою живлення 1000 В, струмом 9600 А, частотою обертання 81/120 об/хв. На електроприводі чистових клітей рейкового стану встановлена система Г-Д з двигуном постійного струму 5000 кВт типу П2-800-217-14СУХЛ4 напругою живлення 750 В, струмом 7100 А, частотою обертів 110/180 об/хв. На чорнових клітях потужність двигуна постійного струму складає 6200 кВт, напругою живлення 750 В, струмом 6500 А, частотою обертання 80/160 об/хв. Для живлення двигунів постійного струму використовуються генератори постійного струму. В системі Г-Д блюмінгу 1050 використовується гонний високовольтний (6 кВ) асинхронний двигун МС-325-15-2 потужністю 7720 кВт, струмом 964 А, частотою обертання 500 об/хв.

Сучасний напрямок модернізації існуючих потужних електроприводів запропонований фірмою ABB [3]. До впровадження пропонуються такі типи приводів: ACS1000 (315 кВт – 5 МВт); ACS2000 (250 кВт – 2600 кВт); ACS5000 (2 – 36 МВт); MEGADRIIVE-LCI (2 – 72 МВт). У ПЧ використовується силовий напівпровідникових прилад – тиристор IGCT (Integrated Gate Commutated Thyristor). Використання IGCT тиристорів призводить до значному зменшенню кількості компонентів, забезпечуючи

надійність та економічність привода. Основними перевагами є: сумісність зі стандартними асинхронними двигунами без втрати потужності; можливість використання із старими двигунами; ККД двигуна такий як при роботі від мережі; знижений шум двигуна; використання стандартних кабелів; відсутність обмеження за довжиною кабелів живлення двигуна.

Для модернізації системи керування електроприводом блюмінгу 1050 (9,1 МВт) та електроприводів чистових (5 МВт) та чорнових клітей (6,2 МВт) рейкового стану можна використовувати спеціалізовані високовольтні перетворювачі частоти типу ACS5000, які використовуються для потужного високошвидкісного обладнання: прокатні стани; судові двигуни; крупні насоси. Привод ACS5000 працює з вихідною напругою від 6 до 13,8 кВ у діапазоні потужностей від 5 до 36 МВт. У перетворювачі встановлений конвертор VSI. Максимальна частота на виході складає 75 Гц [4].

Основні характеристики привода ACS5000: висока продуктивність системи завдяки багаторівневій топології, застосуванню напівпровідникових приладів IGCT та прямому керуванню моментом (DTC); висока надійність, завдяки мінімальній кількості елементів; оптимальні умови роботи мережі завдяки 36-пульсній схемі випрямлення; модульна конструкція для оптимальної конфігурації; швидкі та точні характеристики регулювання завдяки методу прямого керування моментом (DTC).

Тиристри IGCT (Integrated Gate Commutated Thyristor – тиристор з інтегрованим керуванням) є ідеальними ключами для високовольтних механізмів великої потужності. З метою мінімізації нелінійних викривлень ACS5000 оснащений 36 - пульсним випрямлячем, який відповідає вимогам у відношенні гармонійних викривлень струму та напруги, визначених стандартами IEEE, IEC, EN, та ГОСТ-Р. Для нових приводних систем відсутня необхідність встановлення мережевих фільтрів.

Висновок. У роботі розглянута можливість модернізації існуючої системи Г-Д для електропривода блюмінгу 1050, електроприводів чистових та чорнових клітей рейкового стану ПрАТ «ДКХЗ» шляхом встановлення високовольтних перетворювачів частоти фірми АВВ.

Список використаних джерел

1. Leonard H. W. Volts versus ohms - the speed regulation of electric motors. *AIEE Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*. 1896. Vol. 13. P. 373-386. DOI: 10.1109/T-AIEE.1896.4763940.
2. Biacs G. A., Adzic M. S. Modeling of the thyristor controlled rectifiers for control of Ward - Leonard system. *2009 7th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*. 2009. P. 193-196. DOI: 10.1109/SISY.2009.5291167.
3. АВВ. Высоковольтные приводы переменного тока. 2021. URL: <https://new.abb.com/drives/ru/BB-privody> (дата звернення: 12.10.2021).
4. АВВ. Высоковольтные преобразователи частоты АВВ ACS 5000, 1,5 - 32 МВт, 6 - 6,9 кВ. 2019. URL: <https://bit.ly/3q5ZN1T> (дата звернення: 12.10.2021).

УДК 621.313

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАТИСКНИХ ГВИНТІВ КЛІТІ ПРОКАТНОГО СТАНУ «550»

Нежурін В. І., к.т.н.

Куваєв В. Ю., інженер

kuvaev@i.ua

Іванов В. В., магістрант

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Актуальність та постановка проблеми. Натискний пристрій кліті № 5 прокатного стану «550» призначено для вертикального переміщення верхніх валків з метою встановлення необхідного розчину робочих валків при налаштуванні кліті на певний сортамент прокату. Гвинти верхнього валка кінематично поєднані та мають привод від двигуна постійного струму з регулюванням швидкості за допомогою сельсинного командоапарату. З умов технологічного процесу прокатки на стані «550» для натискних гвинтів випливають такі загальні вимоги:

1. Мінімальний час протікання перехідних процесів при заданих значеннях максимуму динамічного струму.
2. Велика кількість приводного двигуна натискних гвинтів (1000 вмикань на годину та більше).
3. Широкий діапазон регулювання швидкості (10:1).
4. Незалежність величини прискорення від швидкості, до якої буде розігнаний двигун.
5. Висока перевантажувальна здатність приводного двигуна за струмом та моментом з врахуванням того, що після захвату металу на протязі деякого проміжку часу двигун повинен переборювати одночасно динамічні зусилля та зусилля деформації металу.
6. Високий ступінь надійності роботи системи електропривода [1, 2].

Основні матеріали дослідження. З урахуванням вищенаведеного для привода натискних гвинтів кліті прокатного стану «550» запропоноване дослідження можливості використання сучасних систем ТП-Д та «перетворювач частоти-асинхронний двигун» (ПЧ-АД) замість базового приводу постійного струму з реостатним регулюванням швидкості.

Дослідження виконані з використанням відповідних моделей приводів постійного та змінного струмів за допомогою MATLAB [3]

Для частотно-регульованого привода обрано асинхронний двигун 6АМУ200L8РП1 потужністю 22 кВт та перетворювач частоти VFD300VL43A-2, для привода по системі ТП-Д – двигун постійного струму Д806 та комплектний тиристорний електропривод КТЕ-100/220-132-2ВД-УХЛ4. Призначення системи керування приводом – сформувати сукупність керуючих впливів на двигун, які забезпечують необхідне по технологічним і техніко-економічним вимогам руху робочого органу виробничої установки, тобто приводу натискних гвинтів, при цьому якість виконання поставлених перед системою керування задач оцінюється двома групами показників якості, деякі з яких наведені в табл. 1. При визначенні найкращого варіанта його кількісну оцінку вибирають такою, при якій якість тим краще, чим чисельно менше її показник. Як видно з наведеної табл. 1, параметри системи керування ПЧ-АД не поступаються параметрам системи керування ТП-Д, а навіть дещо переважають її.

Таблиця 1

Показники якості варіантів привода натискних гвинтів

Показники якості	Значення показника		
	Діюча система регулювання	Система ТП-Д	Система ПЧ-АД
Діапазон регулювання швидкості, об/хв.	0,01-1,06 об/хв.	0,01-0,17 мм/с	0,01-0,17 мм/с
Швидкодія електропривода, с	4,64с (для 5 ступеневого пуску)	0,35 с	0,25 с
Час першого досягнення сталого значення, с	---	19,4	11,5
Статична помилка під навантаженням, %	---	3	1
Швидкодія апаратури керування, с	> 0,1-0,15 с	< 0,1 с	< 0,1 с
Втрати енергії при перехідних процесах пуску двигуна, в.о.	1,0	0,95	0,88

Зокрема, швидкодія привода в випадку використання системи ПЧ-АД складає 0,25 с в 1 зоні регулювання технологічних швидкостей привода натискних гвинтів кліті, втрати енергії при перехідних процесах пуску на 7 % менше порівняно з системою ТП-Д.

Висновок. Виконано обґрунтування доцільності застосування системи «перетворювач частоти-асинхронний двигун» для електропривода натискних гвинтів кліті прокатного стану «550» порівнянням сучасних систем приводів з діючим.

Список використаних джерел

1. Грудев А. П., Машкин Л. Ф., Ханін М. І. Технологія прокатного виробництва: учебник. Москва: Арт – Бизнес – Центр, Металлургия, 1994. 656 с.
2. Фотиев М. М. Электрооборудование прокатных и трубных цехов: учебник. Москва: Металлургия, 1995. 256 с.
3. Гультяев А. К. MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде WINDOWS: практическое пособие. Санкт-Петербург: КОРОНА принт, 1999. 288 с.

УДК 621.31

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЩОДО МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ДРОТОВОГО СТАНУ

Стьопкін В. В., к.т.н.

vasilstopkin@gmail.com

Соловей Т. С., магістрант

Довбань М. О., магістрант

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Аналіз стану питання. Об'єктом дослідження в даній роботі є система керування електроприводом волочильного дротового стану ПрАТ Дніпрометиз, м. Дніпро (Україна). Основними факторами, що знижують продуктивність стану є обрив дроту та витрачання часу на виконання допоміжних операцій. На стані встановлений індивідуальний привід змінного струму (фірми Siemens) до складу якого входить 7 блоків (клітей). Електропривід змінного струму складається з асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором типу 1LG4223-4AA60-Z потужністю 45 кВт та перетворювача частоти Simovert Masterdrives 2DC 510-650V-45kW-92A 6SE7031-0TE60Z.

Дротові стани використовуються на таких металургійних підприємствах України: Єнакієвський металургійний завод; Криворізький металургійний комбінат «Криворіжсталь»; Макіївський металургійний комбінат; ПрАТ Дніпрометиз [1].

Основними вимогами до таких електроприводів є наступні: жорсткі вимоги до синхронізації швидкостей обертання валків декількох клітей, пов'язаних металом, що прокатується; забезпечення заправочного та штовхаючого режиму роботи; забезпечення постійного прискорення при пусках та гальмуваннях; сумісне та роздільне керування електроприводами; забезпечення режимів робочого, екстреного та аварійного гальмування з рекуперацією енергії у мережу. Електроприводи повинні забезпечувати регулювання швидкості волочіння у діапазоні 50:1, як у статичних так і в динамічних режимах роботи з припустимою помилкою, яка не перевищує $\pm 2\%$. Авторами роботи [2] для волочильного стану запропонована система перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АД), яка побудована за принципом підпорядкованого регулювання координат з трьома контурами. Внутрішніми є контури струму та швидкості, а зовнішнім контур натягу. До складу системи входить загальний блок завдання протинтягів та швидкостей.

Авторами роботи [3] побудована модель прокатної ділянки з врахуванням пружності подовження дроту у міжклетьових просторах. Розроблена комплексна математична модель, яка забезпечує аналіз усталених та динамічних режимів прокатки методами структурного моделювання у середовищі MATLAB.

Відомим також є спосіб прямого керування моментом асинхронного двигуна Direct Torque Control (DTC), розробником якого є фірма АВВ [4-5]. DTC дозволяє точно контролювати швидкість та момент двигуна без зворотного зв'язку від імпульсного інкодера, який є в наявності наприклад на існуючому електроприводі змінного струму фірми Siemens на дротовому стані ПрАТ Дніпрометиз.

Постановка проблеми, основні матеріали дослідження.

Система керування електроприводом змінного струму фірми Siemens на волочильному дротовому стані ПрАТ «Дніпрометиз» була встановлена у 2009 році. Стандартне програмне забезпечення дозволяє реалізувати векторне керування з датчиком швидкості. Серія 6SE70 має блочне виконання. До складу перетворювача входять модулі випрямного блоку з 6-ти пульсною схемою; інвертор на IGBT-транзисторах; блок гальмування.

Альтернативним варіантом може виступати система DTC фірми АВВ. Математична модель системи прямого керування моментом асинхронного двигуна (DTC) може бути виконана на типових блоках MATLAB. Система DTC заснована на принципах векторного керування. Відмінністю від систем з орієнтацією поля є відсутність контурів регулювання проєкцій струму статора, які визначають електромагнітний момент та потік. Конттури регулювання потоку та моменту є внутрішніми. Ідея керування полягає у визначенні на кожному кроці розрахунку оптимального стану інвертора напруги, такого, яке викличе зміну моменту та потоку статора в необхідному напрямку з метою зведення до нуля помилки між заданим та дійсним значенням регульованої величини. Тут ланка широтно-імпульсного модулятора стає непотрібною. Стан ключів інвертора змінюється не на кожному кроці – відбувається гістерезисне керування з підтримкою регульованих величин у заданих межах. Зміна стану інвертора відбувається при перевищенні граничного значення модулю помилки за моментом або потоком.

При реалізації системи DTC у MATLAB доцільним є порівняння результатів моделювання координат електропривода з такими системами: векторною системою без зворотного зв'язку та з ним; приводу постійного струму зі зворотним зв'язком; системи DTC зі зворотним зв'язком.

Модель електропривода за системою DTC у MATLAB містить такі модулі: джерело живлення; задатчик швидкості; задатчик моменту; підсистему керування DTC; вимірювальний блок з виходами на швидкість та момент. До складу системи DTC входять основні конттури регулювання моменту та потоку статора. Система DTC у MATLAB має такі модулі: трифазний діодний випрямляч; трифазний інвертор; асинхронний двигун; контур моменту; контур швидкості.

Висновок. Система DTC фірми АВВ може виступати альтернативою існуючій векторній системі керування електроприводом на базі перетворювача частоти Simovert Masterdrives фірми Siemens.

Список використаних джерел

1. Бешта О. С. Балахонцев О. В., Бородай В. А. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві. Дніпропетровськ: НГУ, 2010. 224 с.
2. Бондаренко В. А., Линьков С. А., Малахов О. С., Радионов Д. В. Опыт реконструкции электроприводов волоочильных проволочных станов. *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2010. № 3. С. 150–156.
3. Karandaev A. S., Gasiyarov V. R., Radionov A. A., Loginov B. M. Development of Digital Models of Interconnected Electrical Profiles for Rolling–Drawing Wire Mills. *Machines*. 2021. Vol. 9, № 54. DOI: [10.3390/machines9030054](https://doi.org/10.3390/machines9030054).
4. ABB. ABB drives in metals Medium voltage drives for improved product quality and process control. 2018. URL: <https://bit.ly/3mFTNeh> (дата звернення: 12.10.2021).
5. ABB. DTC: A motor control technique for all seasons. 2015. URL: <https://new.abb.com/drives/dtc> (дата звернення: 12.10.2021).

УДК 621.313.333

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДІАГНОСТУВАННЯ ДОДАТКОВОГО ТЕПЛОВОГО ЗНОШЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ В ПІСЛЯПУСКОВИЙ ПЕРІОД

Стребков О. А.,

Sasastrebkov@gmail.com

заступник начальника енергетичної служби

АТ «Мелітопольський м'ясокомбінат», м. Мелітополь

Ковальов О. В., к.т.н.

Alekstdaty1979@gmail.com

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. При живленні фермерських виробничих приміщень часто спостерігається знижена напруга на вводах в будівлю. Значне зниження напруги при пуску асинхронних електродвигунів робочих машин може привести до затяжних або нездійснених пусків. Тому дослідження електромеханічних та теплових процесів при пуску приводних електродвигунів при зниженій напрузі представляє як теоретичний так і практичний інтерес.

Основні матеріали дослідження. Розробляємо перетворювач імпульсу квадрату пускового струму. Для цього беремо металевий брусок масою m з питомою теплоємністю c . В брусок вставляємо провід певної довжини, по якому буде протікати пусковий струм, з опором r . Для заміру перевищення температури бруска τ вмонтовуємо терморпару ТП.

Отримаємо рівняння енергетичного балансу нагріву бруска

$$m\tau = r\Pi, \quad (1)$$

звідки

$$\Pi = \frac{cm}{r}\tau. \quad (2)$$

Таким чином, вимірюючи перевищення температури над температурою навколишнього середовища, можемо розрахувати імпульс квадрату пускового струму.

Отримаємо структурну схему пристрою діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором в післяпусковий період (рис. 1). Вважаємо, що пусковий режим симетричний за струмом, тому будемо подавати в брусок силу струму однієї з фаз.

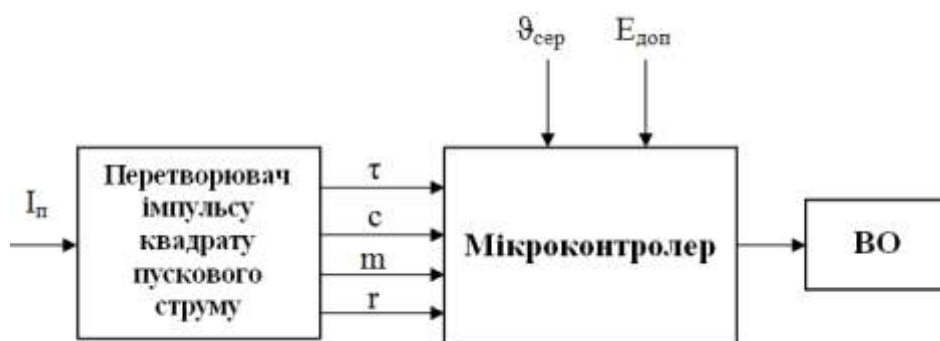


Рисунок 1. Структурна схема пристрою діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором в післяпусковий період

Приймаємо, що електродвигун працює з номінальним навантаженням і має номінальне перевищення температури ізоляції t_n . При черговому пуску електродвигуна в умовах зниженої напруги перевищення температури обмотки електродвигуна за час пуску t_n в адіабатичному режимі досягає максимального значення t_m (рис. 2), а після закінчення пуску, за час охолодження t_o – знижується до номінального перевищення температури t_n . В той же час, швидкість теплового зношення ізоляції обмотки збільшується з номінального значення ε_n до максимального значення ε_m . Як наслідок, виникає додаткове теплове зношення ізоляції $E_{доод}$ за час пуску і охолодження, який представляє собою площу, обмежену кривою $\varepsilon = f(t)$ вище номінального значення швидкості зношення ізоляції ε_n .

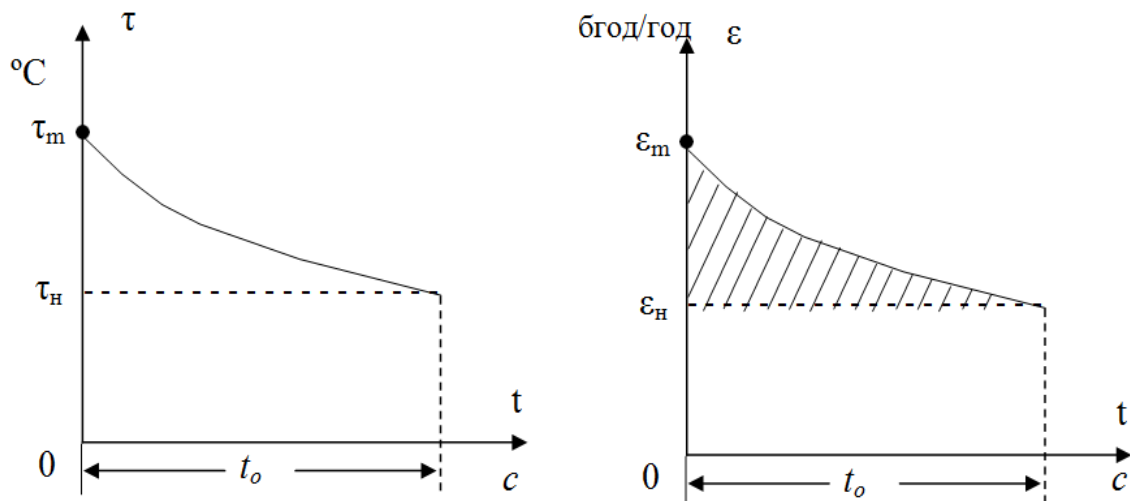


Рисунок 2. Перевищення температури обмотки електродвигуна за час пуску

Знайдемо допустиме додаткове теплове зношення ізоляції електродвигуна в післяпусковий період з розрахунку на один аварійний пусковий режим.

Заплановане теплове зношення ізоляції протягом року роботи електродвигуна визначаємо за виразом

$$E_{p.n} = \frac{D_n}{T_m}, \quad (3)$$

де D_n – базовий термін служби ізоляції обмотки статора електродвигуна, бгод;
 T_m – моральний термін служби електродвигуна, років.

Фактичне теплове зношення ізоляції за рік роботи електродвигуна, як правило, менше допустимого, так як залежить від завантаження

$$E_{p.\phi} = Ne^{\left(\frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\tau_{\phi} + \vartheta_{сер.n} + 273} \right)}, \quad (4)$$

де N – кількість годин роботи електродвигуна за рік, год;

$\vartheta_{сер.n}$ – номінальна температура навколишнього середовища, °C;

τ_{ϕ} – еквівалентне середньорічне перевищення температури обмотки електродвигуна за період роботи, °C.

Висновок. Обґрунтовано структурну схему пристрою діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором в післяпусковий період. Визначено допустиме та фактичне теплове зношення ізоляції електродвигуна в післяпусковий період.

УДК 621.313.333

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ КРИВИХ ЗМІНЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Квітка С. О., к.т.н.

sergei.kvitka1965@gmail.com

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь*

Актуальність та постановка проблеми. Вмикання, змінювання навантаження та відключення електричних машин веде до змінювання величин теплових втрат і, отже, їхнього теплового стану. Електричні машини, як і будь-які інерційні системи не можуть миттєво змінити тепловий стан, і процес змінювання температурного поля протікає в часі в залежності від режиму роботи і величин власних теплоємностей. Тому, питання розрахунку теплового стану електричних машин є ключовим питанням їх працездатності в цілому [1-5].

Основні матеріали дослідження. Увага до нестационарних процесів нагрівання електричних машин зростає з підвищенням ступеня їх використання, оскільки абсолютні швидкості змінювання температури підвищуються зі збільшенням питомих теплових навантажень, а інтенсифікація системи охолодження сприяє зменшенню теплової інерційності активних частин.

Аналіз опублікованих робіт дозволяє охарактеризувати стан проблеми визначення нестационарних теплових полів в електричних машинах. Насамперед воно характеризується раціональним поєднанням експериментальних та розрахунково-теоретичних методів дослідження.

Дані експериментальних досліджень дозволяють отримати конкретні кількісні та якісні характеристики процесів, що протікають, які є вихідними для подальших наукових досліджень і служать для них критерієм.

Теоретичні дослідження використовують різні методи математичного та фізичного моделювання аналізованих процесів. Моделювання полягає у заміні всього досліджуваного явища або окремих його елементів - моделлю у вигляді математичного опису або фізичного об'єкта, за своїми властивостями тією чи іншою мірою відтворюючої властивості природи.

Постановку задачі перенесення тепла та її вирішення можна умовно поділити на кілька етапів. Перший етап полягає у вивченні роботи електричної машини, її окремих частин та областей. При цьому виділяються найбільш напружені елементи конструкції та області, що характеризують тепловий стан машини.

На другому етапі встановлюються характерні особливості конструкції та інші чинники, що визначають процес теплопередачі.

Третій етап полягає у математичному описі фізичних явищ, складанні основних і додаткових рівнянь та встановленні умов однозначності. Вже на цьому етапі повинні враховуватися необхідна точність результатів і доцільність використання тих чи інших методів.

Четвертий етап полягає у виборі методу вирішення математичного завдання та його реалізації. Вибору способу рішення слід приділити особливу увагу, оскільки від цього залежатиме не тільки точність результатів, але й трудомісткість рішення.

П'ятий етап полягає у перевірці та аналізі отриманих результатів.

Слід зазначити, що жодні надточні та складні математичні методи не забезпечать потрібну правильність отриманого рішення, якщо вихідна інформація про теплофізичні

параметри та функції втрат містять грубі наближення. У зв'язку з цим необхідно мати достовірні вихідні дані, що визначаються за результатами проведених досліджень, і при відпрацюванні методик розрахунку проводити експериментальну перевірку ряду режимів процесу, що розглядається. З цих же позицій слід оцінювати доцільність використання тих чи інших математичних методів.

Нестаціонарний процес передачі тепла в елементах конструкції електричної машини описується диференціальним рівнянням енергії, що ґрунтується на гіпотезі Фур'є та відповідними умовами однозначності. Вирішення цього рівняння представляє певні труднощі, пов'язані з інтегруванням диференційного рівняння в часткових похідних. В даний час теорія теплопровідності використовує велику кількість різних методів і засобів, які дозволяють отримати остаточне рішення відповідно до коректно поставленого завдання.

До найбільш широко використовуваних слід віднести методи: нестаціонарного температурного поля, миттєвих джерел та елементарних теплових балансів. Метод нестаціонарного температурного поля застосовується у тому випадку, коли у певних областях електричної машини у нормальному або аварійному режимах роботи може статися неприпустимий місцевий перегрів. Метод миттєвих джерел застосовується у більшості випадків для аналізу можливого змінювання температурного поля в деяких аварійних режимах. Він дозволяє виявити найслабші за термічною стійкістю області електричної машини. Метод елементарних теплових балансів відноситься до найбільш універсальних і часто застосовується на практиці, як найпростіший з усіх розглянутих. Метод сіток, метод кінцевих елементів та метод еквівалентних теплових схем (ЕТС) із власними теплоємностями є окремими випадками методу елементарних теплових балансів. Теплоємності елементів у методі ЕТС при нестаціонарному тепловому процесі визначають його перебіг та приєднуються до вузлів ЕТС.

Застосування ЕТС для розрахунку температурних кривих виправдовується тим, що це у більшості випадків забезпечує необхідну точність розрахунку температурних кривих для регулярних режимів, тобто таких, у яких швидкість змінювання температурного поля у всіх точках виділеної області практично однакова. В цьому випадку температурні криві можуть бути представлені у вигляді сум кінцевого числа експонентів.

Використання ЕОМ дозволяє виконувати розрахунки нестаціонарних теплових режимів на основі докладних теплових схем заміщення без їх не виправданого спрощення.

Для інженерних теплових розрахунків лінійних завдань, що часто зустрічаються на практиці, коли протягом певного часу параметри теплової схеми залишаються постійними, існуючі методи розрахунку складних схем можуть бути вдосконалені з метою забезпечення необхідної точності математичного рішення.

Висновок. Области застосування електричних машин, що розширюються, ускладнюють режими їх роботи та вимагають надійних методів теплового розрахунку та розрахунку кривих змінювання температури в цих режимах. Такі методи можуть бути створені на основі глибокої математизації процесів теплообміну та широкого впровадження в практику теплових розрахунків, які дозволяють проводити синтез електричних машин за їх оптимізації з урахуванням теплового стану в різних режимах.

Список використаних джерел

1. Сипайлов Г. А., Санников Д. И., Жадан В. А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: учебник. Москва: Высшая школа, 1989. 239 с.
2. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Математична модель теплового стану асинхронного електродвигуна у нестационарних режимах. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки*. Харків, 2016. Вип. 175: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 140-142.
3. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Теплова модель асинхронного електродвигуна в стаціонарних режимах. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки*. Харків, 2015. Вип. 164: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 118-120.
4. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Нестерчук Д. М. Математична модель теплового стану асинхронного електродвигуна у стаціонарних режимах. *Сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції: матеріали міжнародного науково-практичного форуму (21-22 червня 2019 р.) / ТДАТУ; за ред. В. Т. Надикто. Мелітополь, 2019. Ч. 1. С. 230-233.*
5. Жарікова А. О., Квітка С. О. Аналіз методів теплового розрахунку електричних двигунів. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: матеріали II Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В. В. Овчарова (10-26 листопада 2020 р.)*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 38-39.

УДК62-533.7

ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЗА КРУГОВОЮ ДІАГРАМОЮ

Вовк О. Ю., к.т.н.

Oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua

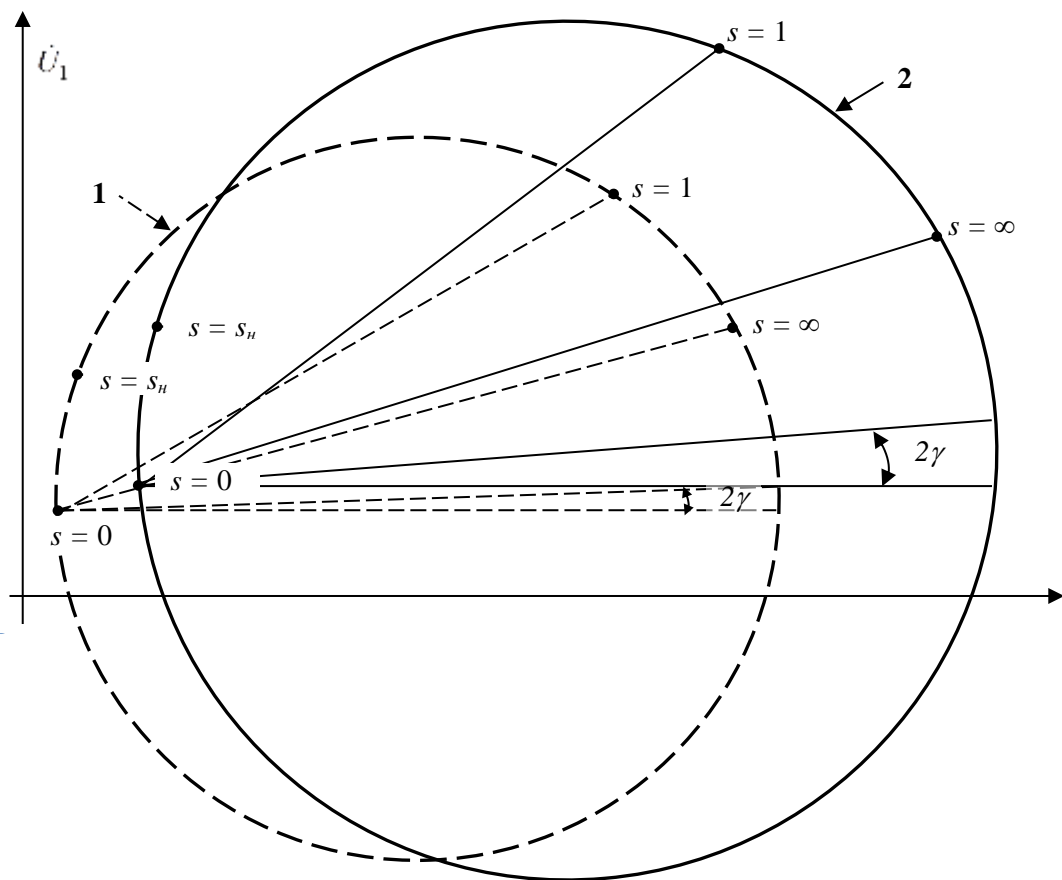
*Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь*

Актуальність та постановка проблеми. Відмови асинхронних електродвигунів, які виникають в процесі експлуатації, головним чином пов'язані з виходом із ладу обмотки статора, тому методи періодичного контролю та діагностування, головним чином, спрямовані на цей вузол електродвигунів [1 – 4]. Але у несправних електродвигунів додатково спостерігаються в різному поєднанні несправності інших елементів конструкції (підшипників, магнітопроводу, обмотки ротора тощо) [5 – 8]. Тому в процесі експлуатації необхідно контролювати функціональний стан усіх активних елементів конструкції асинхронних електродвигунів: обмоток статора і ротора, підшипників і магнітопроводу, що запропоновано періодично проводити за зміною втрат активної потужності у його вузлах [9 – 11]. Для цього необхідно визначити підхід до діагностування асинхронного електродвигуна за зміною втрат активної потужності у його вузлах.

Основні матеріали дослідження. Зміну втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні пропонується визначати за круговою діаграмою, яка є графічною моделлю робочого процесу електродвигуна і будується за результатами дослідів короткого замикання і холостого ходу, а також вимірювання омичного опору обмотки статора. Зміни даних втрат в електродвигуні через несправність віді́б'ються на круговій діаграмі у вигляді зміни певних відрізків, відповідних цим втратам. Зміниться також діаметр кола струмів кругової діаграми та її положення на площині, тобто поточна кругова діаграма асинхронного електродвигуна може відрізнитися від базової через несправність електродвигуна.

Отже, геометрична побудова, що виходить при накладанні кругових діаграм асинхронного електродвигуна, побудованих через задані проміжки часу, відображає зміни функціонального стану електродвигуна в процесі експлуатації (рис.1). Номінальний (базовий) функціональний стан електродвигуна має в тому випадку, коли розміри і положення на площині кругової діаграми не змінилися. В іншому випадку електродвигун має неномінальний (відмінний від базового) функціональний стан або нефункціональний стан.

На рис.1 показано зміну кругової діаграми асинхронного електродвигуна, в якій параметри електродвигуна приймаються постійними при зміні ковзання. У реальній круговій діаграмі кожному значенню ковзання (і струму) відповідає один діаметр кола струмів на круговій діаграмі і одне положення ліній активних потужностей. Діаметр кола струмів в основному визначається результатами дослідів короткого замикання. Отже, проведення зазначеного дослідів в процесі експлуатації при одному (номінальному) значенні струму в обмотці статора дозволить кількісно контролювати функціональний стан асинхронного електродвигуна.



- 1 – базова (номінальна) кругова діаграма;
2 - кругова діаграма, побудована через певний час роботи електродвигуна.

Рисунок 1. Зміна кругової діаграми асинхронного електродвигуна в процесі експлуатації.

Висновок. Таким чином, визначаючи параметри кругової діаграми асинхронного електродвигуна в експлуатації за однакових умов, можна робити висновок про рівень функціонального стану електродвигуна.

Список використаних джерел

1. Овчаров В. В. Вовк О. Ю. Теоретичні передумови комплексного діагностування асинхронних електродвигунів. *Праці Таврійського державної агротехнічної академії*. Мелітополь, 2001. Вип. 1, т. 21. С. 4-6.
2. Вовк О. Ю. Періодичне діагностування асинхронних електродвигунів в експлуатації. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь, 2005. Вип. 32. С. 74–85.
3. Овчаров С. В. Ресурсоенергосберегающие эксплуатационные режимы силового электрооборудования. Киев: Аграр Медіа Груп, 2012. 293 с.
4. Вовк О. Ю., Квітка С. О. Технологія періодичного контролю роботоздатності асинхронних електродвигунів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2011. Вип. 11, т. 3. С. 80–88.

5. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Волошина А. А., Стребков О. А. Розробка системи забезпечення ресурсоенергозберігаючого експлуатаційного режиму роботи асинхронного електродвигуна. *Енергетика і автоматика / НУБіП України*. 2016. № 4 (30). С. 89-97.
6. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Безменнікова Л. М. Обґрунтування параметрів функціонального стану асинхронних електродвигунів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2008. Вип. 8, т. 9. С. 129-137.
7. Вовк О. Ю. Періодичне діагностування асинхронних електродвигунів за енергетичними показниками. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*: матеріали I Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В. В. Овчарова, Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 37-38.
8. Вовк О. Ю. Обґрунтування діагностичних параметрів асинхронних електродвигунів для періодичного контролю. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*: матеріали I Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В. В. Овчарова, Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 43-44.
9. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Безменнікова Л. М. Метод періодичного діагностування асинхронних електродвигунів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2010. Вип. 10, т. 4. С. 39-46.
10. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Дослідження втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2017. Вип. 7, т. 1. С. 126–134.
11. Вовк О. Ю. Сталий процес нагрівання асинхронного електродвигуна. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2002. Вип. 5. С. 62-66.

УДК 631.37:621.313.13

РОЗРОБКА БАГАТОФУНКЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ ЗАХИСТУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ

Попова І. О., доцент

irirnapopova54@gmail.com

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Основними причинами, що істотно впливають на термін експлуатації асинхронних електродвигунів (АД), є низька якість напруги мережі, перевантаження збоку робочої машини та порушення правил експлуатації. Найважчими аваріями напруги мережі вважаються: неприпустиме зниження (або підвищення) напруги, порушення її симетрії або неповнофазність та виникнення неправильного чергування фаз.

Робота в умовах несиметричних і неповнофазних режимів супроводжується значним зменшенням моменту обертання, підвищенням фазних струмів і, як наслідок, перегріву фазної ізоляції обмоток статора та підвищеній витраті ресурсу її ізоляції. Перевантаження збоку робочої машини, несиметричні режими призводять до підвищення втрат теплової енергії в обмотках, збільшеному нагріву ізоляції обмоток і, як наслідок, тепловому старінню.

Отже, розробка багатофункційних пристроїв захисту низьковольтних трифазних асинхронних двигунів в процесі їх експлуатації є доцільним питанням, яке спрямоване на підвищення їх експлуатаційної надійності і ресурсозбереження [1].

В наш час існує велика кількість пристроїв, призначених для контролю величини напруги мережі і керування трифазними АД шляхом відключення їх від електричної мережі у випадку аварійних режимів, таких як: критичні перепади напруги; обриви і автоматичне повторне вмикання електродвигуна після повернення параметрів мережі в норму. Більшість із пристроїв не мають відповідної універсальності, так як контролюють тільки сили струмів або перевищення (зниження) напруги, тощо. Це у свою чергу призводить до необхідності використання декількох аналогічних пристроїв, що ускладнює схему, підвищує капіталовкладення, енергоспоживання, зменшує надійність роботи.

Промисловістю випускаються комбіновані пристрої - фазочутливі пристрої захисту, які призначені для захисту двигунів від неповнофазних режимів, в них використовується контроль максимального струму, кута зсуву фаз споживаних струмів і температури магнітопроводу (корпусу) статора. Однак вони не завжди передбачають відключення АД при змінному характері навантаження, при надзвичайному підвищенні температури зовнішнього середовища і порушеннях в системі охолодження, оскільки в них ведеться контроль температури статора (корпусу), а не в лобових частинах обмотки і не передбачається регулювання уставки спрацювання [2].

Завданням є розробити пристрій захисту АД від несиметричних режимів і перевищення температури обмотки двигунів більше допустимого значення на сучасній базі напівпровідникової техніки [3]. Розроблена структурна схема пристрою захисту від несиметричних режимів (рис. 1).

Пристрій складається з наступних блоків і елементів: 1 – асинхронний двигун; 2 – знижуючого трансформатора напруги; 3 – фільтру напруги зворотної послідовності; 4 – операційних підсилювачів; 5 – первинного перетворювача температури; 6 – тригер Шмітта; 7 – логічного елемента «Ні»; 8 – логічного елемента «Або»; 9 – світлової сигналізації перевищення несиметрії напруги вище нормально допустимого значення; 10, 11 – підсилювачі сигналу; 12 – світлової сигналізації перевищення несиметрії

напруги вище гранично допустимого значення або глибока несиметрія; 13 – звукова сигналізація глибокої несиметрії напруги; 14 – виконавчий орган ; 15– стабілізоване джерело напруги.

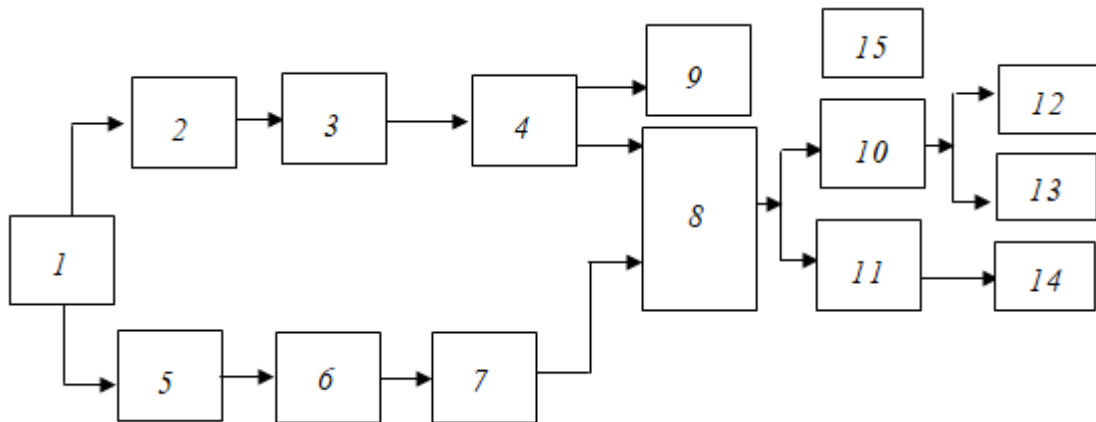


Рисунок 1 – Структурна схема багатофункційного пристрою захисту асинхронних двигунів

Розроблена схема пристрою захисту, забезпечує виконання наступних умов:

- контроль нормально допустимої напруги зворотної послідовності на затискачах асинхронних двигунів більше 10 % від лінійної напруги на затискачах асинхронного електродвигуна;
- відключення електродвигуна при досягненні більше 10% від лінійної напруги;
- включення світлової та звукової сигналізації при досягненні напруги зворотної послідовності на затискачах асинхронних двигунів більше 10 % від номінальної лінійної напруги;
- відключення асинхронних електродвигунів при досягненні гранично допустимого значення температури обмоткою статора асинхронного двигуна.

Висновок. Розроблений пристрій дозволяє підвищити їхню експлуатаційну надійність та збільшити строк експлуатації.

Список використаних джерел

1. Попова І. О., Курашкін С. Ф. Пристрій захисту групи асинхронних двигунів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки.* Харків, 2019. Вип. 203: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК. С. 104-106.
2. Попова І. О., Ковальов М. В. Аналіз пристроїв контролю і захисту асинхронних двигунів при несиметрії напруг мережі. *Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку:* зб. наук. праць. Переяслав-Хмельницький, 2018. Вип. 46. С. 492-495.
3. Попова І. О. Розробка пристрою функціонального діагностування аварійних режимів асинхронного електродвигуна. *Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК:* зб. матер. міжнар. наук.-практ. конф. Мелітополь, 2015. Т. 4. С. 30-32.

Пристрій складається з наступних блоків: ППС1, ППС2, ППС3 - первинні перетворювачі струму; БПС1, БПС2, БПС3 - блоки перетворювання струму; ППТ - первинний перетворювач температури; БПТ - блок перетворювання температури; МК - мікроконтролер; БВД - блок введення даних; БСС - блок світлової сигналізації; БЗС - блок звукової сигналізації; БЦІ - блок цифрової індикації; БР - блок реле; КП - комутаційний порт; БЖ - блок живлення.

Застосування в пристрої захисту трифазних асинхронних електродвигунів первинних перетворювачів струму, блоків перетворювання струму, первинного перетворювача температури та блоку перетворювання температури дозволяє контролювати такі параметри, як струми, що споживаються електродвигуном по фазах, та температуру ізоляції обмотки статора АД, в інформативні електричні сигнали, які для подальшої обробки, перетворювання та зберігання надходять на відповідні порти мікроконтролера.

Мікроконтролер - є головним функціональним блоком пристрою, який здійснює обробку, зберігання та порівняння вхідних параметрів з величинами нормованих уставок та формує електричний сигнал керування, який надходить на відповідні блоки пристрою.

Блок цифрової індикації надає візуальну кількісну інформацію щодо величини сили струму по фазах електродвигуна, температури ізоляції обмотки статора АД та сумарного теплового зносу ізоляції обмотки статора асинхронного електродвигуна в залежності від її температури.

Електричне живлення електронних блоків пристрою здійснюється від блоку живлення.

Висновок. Пристрій захисту трифазних асинхронних електродвигунів від неповнофазного режиму роботи дозволяє здійснювати безперервний контроль струмів, що споживаються електродвигуном по фазах, температури ізоляції статорної обмотки, а також надавати кількісну інформацію щодо сумарного теплового зносу ізоляції обмотки статора АД, повністю використовувати переважувальну здатність електродвигуна у межах допустимих перевищень температури, відключати електродвигун при аварійному режимі роботи, що дозволить підвищити експлуатаційну надійність асинхронних електродвигунів в процесі їх експлуатації.

Список використаних джерел

1. Овчаров В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. Киев: УСХА, 1990. 168 с.
2. Закладной А. Н., Закладной О. А. Методы оценки срока службы асинхронных электродвигателей. *Енергетика та електрифікація*. 2004. № 4. С. 63–67.
3. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Пристрій контролю функціонального стану та захисту групи асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки*. Харків, 2014. Вип. 153: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 85-87.
4. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Пристрій контролю функціонального стану і захисту асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки*. Харків, 2017. Вип. 186: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 90-92.

5. Квітка С. О. Пристрій контролю і захисту трифазних асинхронних електродвигунів від аномальної напруги мережі. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В.В. Овчарова (м. Мелітополь, 15-29 квітня 2021 р) / ТДАТУ, відп. за вип. С. О. Квітка, Д. М. Нестерчук. Мелітополь, 2021. С. 48-49.

6. Квітка С. О. Пристрій контролю і захисту групи асинхронних електродвигунів від аномальних режимів роботи. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*: матеріали I Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В.В. Овчарова (м. Мелітополь, 20 травня - 04 червня 2020 р). Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 33-34.

7. Квітка С. О., Безменнікова Л. М., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Пристрій захисту групи трифазних асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2012. Вип. 12, т. 2. С. 23-27.

8. Квітка С. О. Електроніка та мікросхемотехніка: підручник. Мелітополь: Люкс, 2019. 223 с.

9. Квітка С. О., Яковлев В. Ф., Нікітіна О. В. Електроніка та мікросхемотехніка: навчальний посібник / за ред. В. Ф. Яковлева. Київ: Аграрна освіта, 2010. 329 с.

10. Квітка С. О. Силові електронні пристрої в системах керування: навчальний посібник. Мелітополь: Люкс, 2021. 180 с.

УДК 631.371

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Ковальов О. В., к.т.н.

alekstdaty1979@gmail.com

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. Сучасне сільськогосподарське виробництво в Україні та за кордоном характеризується масовим застосуванням мобільних енергетичних засобів малої механізації у вигляді малогабаритних мотоблоків (МБ), міні-тракторів та різноманітних спеціалізованих агрегатів в основному з двигунами внутрішнього згорання [1]. В той же час проведені порівняльні випробування виявили, що електрифіковані мотоблоки з тяговими електродвигунами постійного та змінного струму мають ряд переваг в порівнянні з мотоблоком з двигуном внутрішнього згорання, наприклад, легкість керування, простота пуску та зупинки, надійність та економічність у роботі, відсутність загазованості навколишнього середовища [2-5]. Про ефективність мотоблоків з електроприводом свідчать і проведена порівняльна техніко-енергетична оцінка найбільш розповсюджених моделей мотоблоків [6,7].

Основні матеріали дослідження. Електромоблоки можуть бути класифіковані за наступними ознаками: по виду джерела електропостачання – з централізованим або автономним, по роду струму тягового електродвигуна – постійного або змінного, а також по конструктивному виконанню механічної передачі та ведучих коліс та ін.

Дослідний зразок електромоблока з тяговим електродвигуном постійного струму послідовного збудження був виготовлений в лабораторії кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного і передбачає централізоване електроживлення від однофазної мережі змінного струму через гнучкий кабель і керований вентиляційний перетворювач.

Процес перетворення енергії при роботі мотоблока з електроприводом та централізованим електропостачанням наочно може бути представлено у вигляді структурної схеми енергетичного каналу мотоблока (рис. 1).

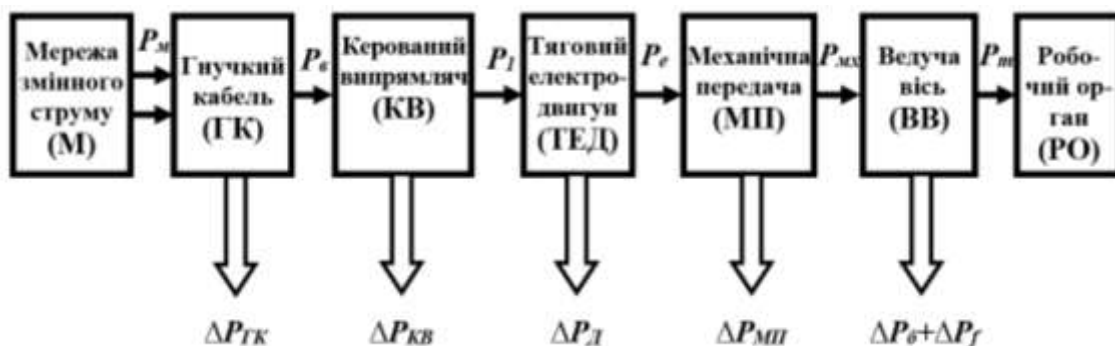


Рисунок 1. Структурна схема електромеханічної системи обробітку ґрунту

При проведенні польових випробувань контролювалися значення напруги, струму якоря та частоти обертання тягового двигуна, глибини обробітку ґрунту, швидкості

пересування мотоблоку, та витрати електричної енергії .

Проведення польових випробувань виконувалось на різних швидкостях пересування агрегату та глибинах обробітку ґрунту (заглибленнях плуга). Мінімальна швидкість при оранці регламентувалась керівництвом по експлуатації мотоблока при роботі з плугом П1-20/2, та складала 2 км/год. Максимальне значення швидкості обмежувались виходячи із значення твердості ґрунту та фізичними можливостями оператора.

Отримані залежності споживаної потужності електродвигуна привода електромотоблока для оранки ґрунту (рис. 2) та питомої енергоємності (рис. 3) від швидкості руху, що характеризують умови польових випробувань.

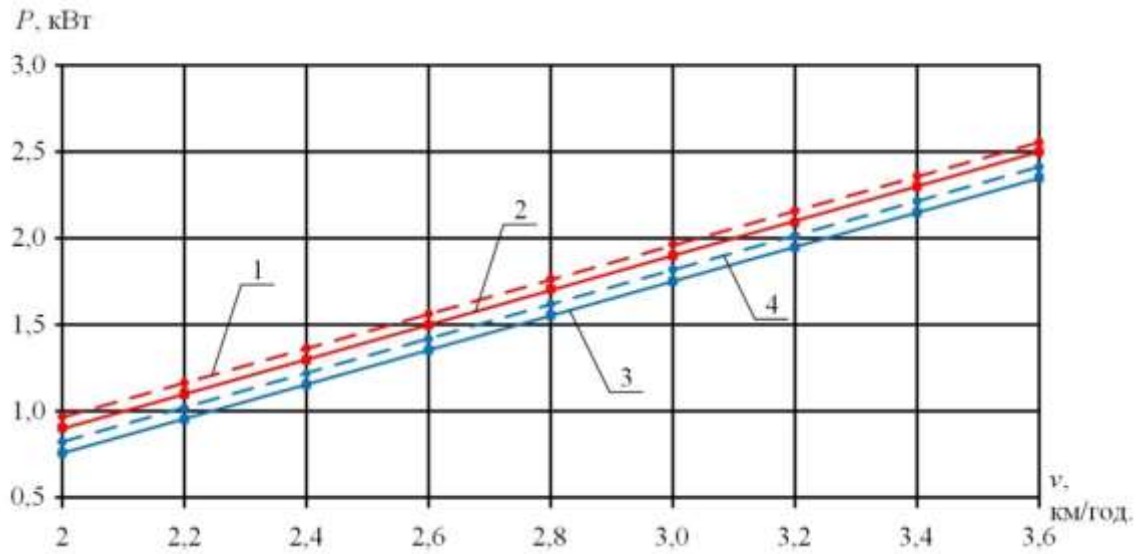


Рисунок 2. Залежність потужності оранки ґрунту, P , від швидкості руху, v , електромотоблока масою 100 кг при твердості ґрунту $H=1,0$ МПа: експериментальна (1) і розрахункова (2); при твердості ґрунту $H=0,8$ МПа: розрахункова (3) і експериментальна (4)

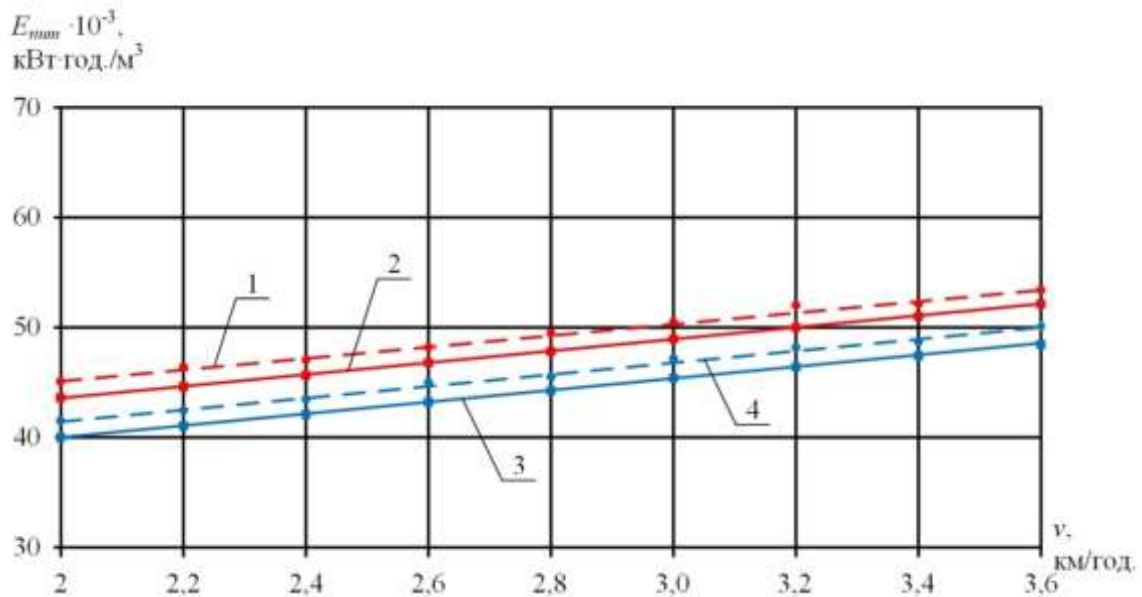


Рисунок 3. Залежність питомої енергоємності, $E_{\text{пит}}$, оранки ґрунту від швидкості руху, v , електромотоблока масою 100 кг при твердості ґрунту $H=1,0$ МПа: експериментальна (1) і розрахункова (2); при твердості ґрунту $H=0,8$ МПа: розрахункова (3) і експериментальна (4)

Висновок. Запропоновано структурну схему енергетичного каналу електромоблока, що наочно представляє процеси перетворення енергії при його роботі, а також отримано алгоритм керування ТЕД постійного струму по максимуму ККД. Запропоновано програму реалізації оптимального керування ДПС послідовного та змішаного збудження.

Аналіз залежностей потужності свідчить про зростання її значень при збільшенні швидкості руху: при твердості ґрунту $H=1,0$ (0,8) МПа при зростанні швидкості від 2,0 до 3,6 км/год. (у 1,8 рази), потужність збільшується у 2,6 рази з 1,0 (0,9) кВт до 2,6 (2,4) кВт за лінійною залежністю. Інтенсивність зростання потужності перевищує інтенсивність зростання швидкості пересування електромоблока в 1,44 рази.

Аналіз залежностей питомої енергоємності $E_{пит}$ оранки ґрунту від швидкості руху v електромоблока свідчить про зростання енергоємності за лінійним законом: при твердості ґрунту $H=1,0$ (0,8) МПа при зростанні швидкості від 2,0 до 3,6 км/год., питома енергоємність збільшується у 1,2 рази: з $45 \cdot 10^{-3}$ ($42 \cdot 10^{-3}$) до $54 \cdot 10^{-3}$ ($51 \cdot 10^{-3}$) кВт год./м³, що складає $(9 \cdot 10^{-3})$ кВт год./м³.

Список використаних джерел

1. Ангилеев О. Г. Повышение эффективности электрифицированного оборудования в фермерских и крестьянских хозяйствах. *Механиз. и электриф. сел. х-ва*. 2002. № 10. С. 30-33.
2. Electric Drive of Small-Sized Soil-Cultivating Motoblock / O. Kovalov, I. Nazarenko, S. Kvitka et al. 2020 *IEEE. Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*. 2020. P. 1-4. DOI: 10.1109/PAEP49887.2020.9240884.
3. Корчемний М., Савченко І., Гусаков С. Електропривод мобільного агрегату. *Електрифікація*. 1997. № 8. С. 30-31.
4. Малая механизация в приусадебном и фермерском хозяйстве / под ред. И. П. Масло. Киев: Урожай, 1996. 367 с.
5. Бондарь В. Н., Кондаков С. В., Новосельский А. Е. Рациональное совмещение характеристик двигателя внутреннего сгорания и электрического привода постоянного тока промышленного трактора. *Вестник ЮУрГУ. Сер. Машиностроение*. 2006. Вып. 8. № 11 (66). С. 85–90.
6. Ковальов О. В., Назар'ян Г. Н., Куценко Ю. М. Аналітичне визначення оптимальних експлуатаційних показників електрифікованого ґрунтообробного мотоблоку. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки*. Харків, 2011. Вип. 116. С. 108-111.
7. Ковальов О. В. Тягові характеристики та керування мотоблоком з електроприводом по максимуму ККД. *Науковий вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут»*. Харків, 2008. № 30. С. 509-510.

УДК62-533.7

ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ТЕПЛОВА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Вовк О. Ю., к.т.н.

Oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua

Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного, м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. На сьогодні основним приводним елементом робочих машин є асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором через їх значну конструкційну надійність [1]. Але у процесі їхньої експлуатації надійність цих електродвигунів знижується внаслідок різноманітних впливів, які не можливо у повному обсязі врахувати при проектуванні та виготовленні [2, 3]. Більшість з таких експлуатаційних впливів призводять до значного нагрівання електродвигуна і, як наслідок, до різкого зношення його ізоляції [4]. З метою запобігання значних наслідків теплових впливів на електродвигуни на практиці застосовують різні пристрої захисту, які базуються на контролі його теплового стану. Для настроювання даних пристроїв інженери-експлуатаційники виконують певні теплові розрахунки, які базуються на відповідних теплових схемах заміщення асинхронного електродвигуна. Еквівалентні теплові схеми, які призначені для аналізу його усталеного режиму при проектуванні, передбачають від 50 до 100 вхідних параметрів [5 – 7]. Тому їх застосування в експлуатації для контролю теплового стану електродвигуна без створення відповідної бази даних не є можливим. Еквівалентні теплові схеми, що використовуються для аналізу теплового стану електродвигуна в експлуатації (одноеlementна, двоелементна) [8 – 10], не дозволяють в повній мірі контролювати тепловий стан окремих вузлів асинхронного електродвигуна. Тому у роботі була поставлена задача отримати спосіб визначення усталеного перевищення температури електродвигуна, на базі складеної триелементної теплової моделі.

Основні матеріали дослідження. Асинхронний електродвигун у тепловому відношенні розглянуто як систему трьох тіл: 1) обмотки статора; 2) обмотки ротора; 3) сталі (магнітопроводу, механічної частини і корпусу) і прийнято, що теплоємність середовища навколо електродвигуна дорівнює нескінченності, а температура навколишнього середовища номінальна і постійна (рис.1). Це є цілком достатнім для аналізу експлуатаційних процесів у ньому.

На схемі (рис. 2) наведено наступні умовні позначення:

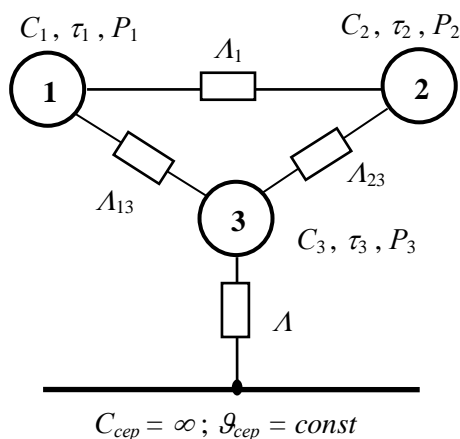


Рисунок1. Теплова схема заміщення асинхронного електродвигуна

C_1, C_2, C_3 – теплоємності відповідних тіл, Дж/°C;

τ_1, τ_2, τ_3 – перевищення температур відповідних тіл над температурою навколишнього середовища, °C;

P_1, P_2, P_3 – втрати активної потужності у відповідних тілах, Вт;

A_{12}, A_{13}, A_{23} – теплопровідності між відповідними тілами, Вт/°C;

A – теплова провідність між третім тілом і навколишнім середовищем, Вт/°C;

C_{sep} – теплоємність навколишнього середовища, Вт/°C;

T_{sep} – температура навколишнього середовища, °C.

Система рівнянь теплового балансу для схеми, наведеної на рис.1, має такий вигляд:

$$\left. \begin{aligned} C_1 d\tau_1 + \Lambda_{13}(\tau_1 - \tau_3)dt - \Lambda_{12}(\tau_2 - \tau_1)dt &= P_1 dt; \\ C_2 d\tau_2 + \Lambda_{23}(\tau_2 - \tau_3)dt + \Lambda_{12}(\tau_2 - \tau_1)dt &= P_2 dt; \\ C_3 d\tau_3 + \Lambda_{33}d\tau_3 - \Lambda_{13}(\tau_1 - \tau_3)dt - \Lambda_{23}(\tau_2 - \tau_3)dt &= P_3 dt. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Розв'язання системи рівнянь (1) щодо τ_1 для усталеного режиму роботи асинхронного електродвигуна (τ_1) наступне:

$$\tau_1 = a \cdot P_1 + b \cdot P_2 + c \cdot P_3, \quad (2)$$

де a – коефіцієнт впливу втрат P_1 на нагрівання обмотки статора, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;

b – коефіцієнт впливу втрат P_2 на нагрівання обмотки статора, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;

c – коефіцієнт впливу втрат P_3 на нагрівання обмотки статора, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Коефіцієнти a, b, c – складна функція теплових провідностей. З метою визначення цих коефіцієнтів через інші параметри теплового стану електродвигуна застосовано перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища в дослідах короткого замикання ($\tau_{1к}$) і холостого ходу ($\tau_{1х}$), а також у номінальному режимі роботи ($\tau_{1н}$). На основі цих параметрів складено систему із трьох рівнянь, кожне з яких представляє собою вираз (2) для дослідів номінального навантаження, короткого замикання і холостого ходу. При цьому прийнято, що зазначені коефіцієнти є однаковими у всіх вказаних режимах. Зазначена система рівнянь щодо коефіцієнтів a, b, c остаточно розв'язана так:

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{\tau_{1к} + \tau_{1х} - \tau_{1н}}{P_{1х}}; \\ b &= \frac{\tau_{1к} - \frac{P_{1н}}{P_{1х}} \cdot (\tau_{1к} + \tau_{1х} - \tau_{1н})}{P_{2н}}; \\ c &= \frac{\tau_{1н} - \tau_{1к}}{P_{3н}}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Висновок. У роботі запропонований спосіб визначення усталеного перевищення температури електродвигуна, на базі складеної триелементної теплової моделі.

Список використаних джерел

1. Овчаров В. В., Вовк О. Ю. Теоретичні передумови комплексного діагностування асинхронних електродвигунів. *Праці Таврійського державної агротехнічної академії*. Мелітополь, 2001. Вип. 1, т. 21. С. 4-6.
2. Вовк О. Ю. Періодичне діагностування асинхронних електродвигунів в експлуатації. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь, 2005. Вип. 32. С. 74–85.
3. Овчаров С. В. Ресурсоенергосберегающие эксплуатационные режимы силового электрооборудования. Киев: Аграр Медіа Груп», 2012. 293 с.
4. Вовк О. Ю., Квітка С. О. Технологія періодичного контролю роботоздатності асинхронних електродвигунів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2011. Вип. 11, т. 3. С. 80–88.

5. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Математична модель теплового стану асинхронного електродвигуна у нестационарних режимах. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П.Василенка*. Харків, 2016. Вип. 175. С. 79-81.

6. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Теплова модель асинхронного електродвигуна в стаціонарних режимах. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П.Василенка*. Харків, 2015. Вип. 166, ч. 4. С. 118-120.

7. Вовк О. Ю., Квітка С. О. Теоретичний підхід до управління тепловим станом працюючого асинхронного електродвигуна з регульованим навантаженням. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Київ, 2011. Вип. 164. С. 179-184.

8. Вовк О. Ю. Квітка С. О., Яковлев В. Ф. Аналітичне порівняння методів визначення усталеного перевищення температури обмоток статора асинхронного електродвигуна. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. Механізація та автоматизація виробничих процесів*. Суми, 2011. № 8 (23). С. 114–116.

9. Вовк О. Ю. Аналіз усталеного теплового режиму асинхронного електродвигуна в експлуатації. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2005. Вип. 32. С. 33-39.

10. Вовк О. Ю. Сталий процес нагрівання асинхронного електродвигуна. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2002. Вип. 5. С. 62-66.

УДК 621.316.92:621.313.333

СПОСІБ ЗАХИСТУ ТА РЕЛЕ ЗАХИСНОГО ВІДКЛЮЧЕННЯ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИ АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

Нестерчук Д. М., к.т.н.

Кривцов Д. О., магістрант

Родін Б. О., студент

Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного, м. Мелітополь

dina.nesterchuk@tsatu.edu.ua

dentshik2102@gmail.com

bod.rod.2001@gmail.com

Актуальність та постановка проблеми. Низьковольтний асинхронний електродвигун (АД) з короткозамкненим ротором є головною складовою ЕМС, в якому здійснюється перетворення електричної енергії в механічну, однак постійного контролю параметрів в процесі експлуатації потребують всі її складові: «мережа живлення – перетворювач – електродвигун», тому то необхідно постійно контролювати параметри, їх коливання, зміни та взаємовплив [1]. Сучасні Стандарти більшості країн світу та України висувають все жорсткіші вимоги до безпечної експлуатації трифазних асинхронних електродвигунів (АД). Очевидно, що надійний й ефективний захист від аварійних режимів роботи дозволяє значно скоротити кількість і частоту аварійних ситуацій і продовжити термін служби АД, зменшити витрати електроенергії й експлуатаційні витрати. Обов'язковою умовою при експлуатації АД є робота при номінальних або каталожних параметрах, що вказуються в паспорті АД. До чинників, що спотворюють номінальні експлуатаційні режими роботи АД, належать: спотворення напруги живлення, яке виникає наявністю несиметричного навантаження; несправності системи охолодження електричної машини; порушення правил технічної експлуатації – часті технологічні перевантаження, незадовільні умови навколишнього середовища, а саме, підвищена вологість, агресивне середовище, перепади температури. Підвищення струму понад допустиме значення не відразу призводить до аварійного стану, потрібен деякий час, перш ніж статор і ротор нагріються до граничної температури, тому то немає необхідності в тому, щоб захист реагував на кожне перевищення струму. На процес нагріву ізоляції обмотки впливає величина і тривалість протікання струмів, що перевищують номінальне значення. Ці параметри залежать, насамперед, від характеру технологічного процесу [1]. Зазначені обставини зумовлюють необхідність підвищення вимог щодо експлуатації АД, з урахуванням їх реальних індивідуальних характеристик і параметрів, які можуть змінитися в процесі роботи або під час ремонту, впровадження нових підходів до принципів побудови пристроїв моніторингу та захисту АД, а також удосконалення існуючих та розробка нових алгоритмів для системи діагностування та захисту АД.

Основні матеріали дослідження. Авторами пропонується спосіб захисту АД від аварійних режимів роботи, які можуть виникнути в процесі тривалої експлуатації. Суть методу ґрунтується на вимірюванні фазних струмів електродвигуна перетворювачами струму, їх підсумовуванні й вимірюванні додатковим входом АЦП суми сигналів для визначення наявності струму витoku на землю, що дозволить мікроконтролеру здійснювати контроль роботи АД, а при виникненні аварійної ситуації надати сигнал виконавчому пристрою на відключення аварійного електродвигуна від мережі живлення. На рис. 1 наведена структурна схема реле захисного відключення АД.



Рисунок 1. Схема структурна реле захисного відключення АД від аварійних режимів роботи

У якості перетворювачів струму авторами пропонується застосовувати магнітоелектричні перетворювачі, а саме датчики Холла [2] або сучасні магніторезистори, в яких на виході формуються інформативні електричні сигнали, які пропорційні миттєвим значенням струмів. Пристрій узгодження призначений для узгодження сигналів з перетворювачів струму з входами аналого-цифрового перетворювача. В мікроконтролері здійснюється аналіз суми вимірюваних та оцифрованих значень фазних струмів за допомогою цифрового суматора, як складової частини мікроконтролера, а також при виникненні аварійної ситуації формуються сигнали керування, які надходять на виконавчий пристрій на відключення аварійного електродвигуна від мережі живлення та блок індикації для надання візуальної інформації щодо наявності аварійного режиму [3].

Висновок. Запропонований спосіб захисту АД від аварійних режимів та його технічна реалізація дозволить підвищити експлуатаційну надійність трифазних АД в процесі експлуатації.

Список використаних джерел

1. Нестерчук Д. М., Квітка С. О. Дослідження впливу сукупності експлуатаційних чинників на енергетичний та технічний стан електромеханічної системи з асинхронними електродвигунами. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2020. Вип. 20, т. 3. С. 113-126.
2. Нестерчук Д. М., Кривцов Д. О., Нікульча М. В. Застосування елементів Холла в пристроях моніторингу та захисту трифазних асинхронних електродвигунів. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В. В. Овчарова (м. Мелітополь, 15-29 квітня 2021 р) / ТДАТУ, відп. за вип. С. О. Квітка, Д. М. Нестерчук. Мелітополь, 2021. С. 54-55.*
3. Нестерчук Д. М. Многофункциональный блок управления и защиты асинхронного электродвигателя. *Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы Международной научно-технической конференции (г. Минск, 23-24 ноября 2017 г.) / под ред. М. А. Прищепова. Минск: БГАТУ, 2017. С. 257-259.*

УДК 628.8:631.243.32

ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВИРОБНИЧОГО ОБЛАДНАННЯ БОРОШНОМЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ

Постнікова М. В., к.т.н.

marina.postnikova@tsatu.edu.ua

Петров В. О., к.т.н.

petrovvo999@gmail.com

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. Експлуатація борошномельного обладнання надзвичайно гостро висуває завдання ефективного використання обладнання, збільшення його продуктивності, зниження витрат енергії на одиницю обробленої продукції. Питання раціонального використання електроенергії при цьому є актуальним [1].

Основні матеріали дослідження. При аналізі перетворення та використання електроенергії, що споживається з електричної мережі силовим приводним електрообладнанням робочих машин борошномельних підприємств в режимах роботи, близьких до номінальних, встановлено, що головні витрати електроенергії пов'язані з виконанням машинами технологічних операцій [2].

Більша частина споживаної електроенергії витрачається на робочий процес, а решта витрачається на втрати в електродвигунах. Ефективність перетворення та використання електроенергії визначається співвідношенням цих потужностей і залежить від коефіцієнта завантаження двигуна. Встановлено, що максимальна ефективність перетворення при мінімальних втратах у двигуні в сталому режимі, відповідає режимам роботи, при яких постійні втрати у двигуні рівні змінним [3].

Одним з важливих факторів, який впливає на енергетичні показники, є технічний стан обладнання, що експлуатується. Цей стан визначається багатьма причинами, кожна з яких впливає на питомі витрати енергії.

На технологічні і енергетичні показники істотну роль грає стан і характер робочих поверхонь подрібнювальних машин (гострота рифлей нарізних вальців і жорсткість – гладких). Досвід роботи показує, що питомі витрати енергії на подрібнення при спрацюванні рифлей може збільшуватися на 30-40 % і навіть більше [4].

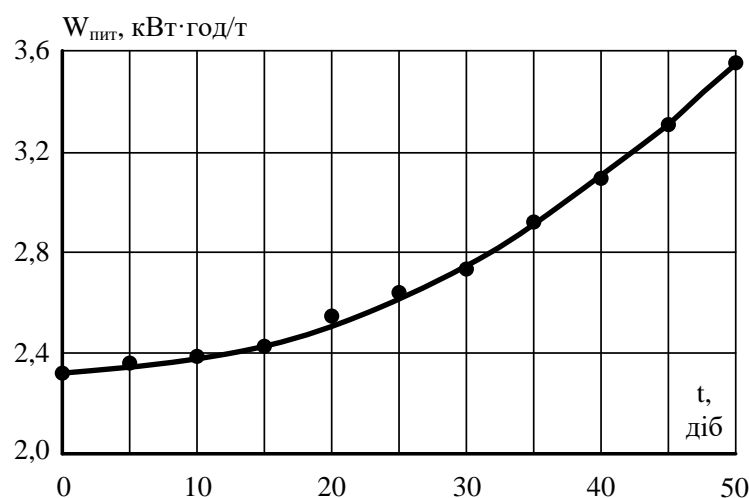


Рисунок 1. Залежність питомої витрати електроенергії на подрібнення від часу роботи вальцевого станка (для 1 даної системи)

Ці результати показують, що при постійній величині витягу (18 %) і питомому навантаженні (1620 кг/см·добу) питома витрата умовно-корисної енергії на процес подрібнення збільшився протягом 30 днів роботи після нарізки вальців на 19 %, а протягом 50 днів – на 54 %. При цьому інтенсивність росту енергоємності подрібнення значно збільшується в міру спрацювання рифлей.

До числа важливих показників, які характеризують технічний стан обладнання, слід віднести втрати холостого ходу обладнання. Величина цих втрат залежить від ряду причин, до яких відносять: конструктивні особливості і характеристики машин; кількість транспортних механізмів і вузлів тертя; якість збірки машин і механізмів; стан змащувального господарства; організація системи планово-попереджувального ремонту. Планово попереджувальний ремонт в процесі експлуатації обладнання істотно впливає на питомі витрати енергії. Його слід розглядати як ефективний захід, який сприяє раціональному використанню електроенергії.

Крім потужності холостого ходу, технічний стан обладнання характеризує час вільного вибігу. Він знаходиться в зворотній залежності від величини втрат на холостий хід. На основі використання методу вільного вибігу можна судити про якість ремонту і збірки частин машини або механізму, про стан змазки вузлів тертя.

Метод вільного вибігу (метод холостого ходу і самогальмування) дає найдостовірніші результати для приводів великої потужності або механічних систем із складною кінематичною схемою, які мають кілька ланок передач і вузли, що обертаються та рухаються поступально чи зворотно-поступально. При цьому проводять два досліді: холостого ходу і самогальмування.

У першому досліді механічну систему розганяють на холостому ході до усталеної швидкості і записують споживану електродвигуном потужність, частоту обертання його вала n_1 та інші показники, необхідні для визначення потужності механічних втрат $P_{\text{мех}}$ у системі. Потім електродвигун вимикають з мережі і самописним приладом або осцилографом записують залежність швидкості від часу $n = f(t)$ при самогальмуванні системи до повної зупинки.

Оскільки при самогальмуванні системи момент двигуна відсутній, то рівняння руху електропривода матиме вигляд

$$-M_c = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (1)$$

За допомогою метода самогальмування з використанням кривої вибігу і механічної характеристики робочої машини визначають момент інерції. Криву вибігу записують за допомогою реєструючого вольтметра і тахогенератора постійного струму. Тахогенератор з'єднують з валом машини, яку досліджують, а напругу з нього подають на вольтметр. Після відключення двигуна швидкість привода знижується, пропорційно до неї зменшується ЕРС генератора, а на папері реєструючого вольтметра викреслюється графік $\omega = f(t)$ (рис. 2) [5, 6].

Використовуючи криві вибігу і втрат холостого ходу агрегату $P = f(\omega)$, будують графік втрат в досліді вибігу $P = f(t)$. При самогальмуванні від кутової швидкості ω_1 до кутової швидкості ω_2 запас кінетичної енергії

$$A = J_x \cdot \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2} \quad (2)$$

витрачається на подолання механічних втрат, які пропорційні площі S , обмежених

кривою втрат, віссю часу і вертикалями $\omega = \omega_1$ і $\omega = \omega_2$. Тому

$$J_x = \frac{2A}{\omega_1^2 - \omega_2^2} = \frac{2}{\omega_1^2 - \omega_2^2} \cdot S \cdot m_p \cdot m_t, \quad (3)$$

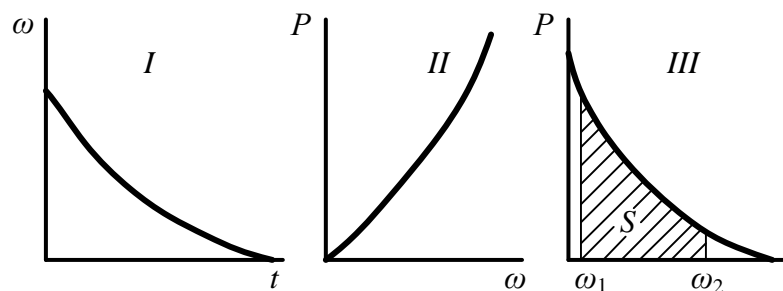
де ω_1 – кутова швидкість на початку дослідів вибігу, рад/с;

ω_2 – кутова швидкість в кінці дослідів вибігу, рад/с;

S – площа, мм²;

m_p – масштаб потужності, Вт/мм;

m_t – масштаб часу, с/мм.



I – крива вибігу; II – втрати холостого ходу; III – крива втрат в досліді вибігу

Рисунок 2. Графіки до розрахунку моменту інерції за методом площин

Висновок. Таким чином, механічні фактори, до яких відносять стан машин і механізмів, змазки в вузлах тертя, механічних передач від двигуна до робочої машини, впливають на питомі витрати енергії. Вплив цих факторів можна урахувати, якщо визначити два показника: потужність холостого ходу і час вільного вибігу машини або механізму.

Список використаних джерел

1. Саржан С. В., Постнікова М. В., Карпова О. П. Визначення впливу енергетичних параметрів на енергоємність помелу зерна. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2012. Вип. 12, т. 2. С. 81-85.
2. Постнікова М. В., Карпова О. П. Шляхи зниження втрат електроенергії при очищенні зерна на зернопунктах. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2010. Вип. 10, т. 4. С. 148-151.
3. Постнікова М. В., Карпова О. П. Експериментальні дослідження енергетики електроприводу машин зерноочисних агрегатів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2011. Вип. 11, т. 4. С. 130-134.
4. Ястребов П. П. Использование и нормирование электроэнергии в процессах переработки и хранения хлебных культур. Москва: Колос, 1973. 331 с.
5. Фоменков А. П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий. Москва: Колос, 1984. 288 с.
6. Электропривод: підручник / Ю. М. Лавріненко та ін.; за ред. Ю. М. Лавріненка. Київ, 2009. 504 с.

УДК 621.313.33

ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЗА ВТРАТАМИ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Курашкін С. Ф., к.т.н.

serge.kuras@gmail.com

Жарікова А. О., магістрант

annalife91@gmail.com

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. Надійність асинхронних електродвигунів з к.з. ротором під час експлуатації достатньо висока, але за умови їх застосування у сільськогосподарському виробництві трапляються випадки передчасного виходу з ладу [1]. Таким чином це приводить до незапланованих технологічних перерв, надлишкових економічних витрат, пов'язаних з ремонтом обладнання. Існуючі пристрої захисту не завжди вірно виконують свої функції, тому система діагностування і захисту потребує вдосконалення.

Основні матеріали дослідження. В основу роботи класичних пристроїв захисту асинхронних електродвигунів, як правило, покладено критерій оцінки режиму роботи за силою електричного струму. Пропонується під час проектування пристроїв діагностування і захисту силового електрообладнання застосовувати діагностичний параметр – витрата ресурсу ізоляції. У якості базового ресурсу ізоляції до першого капітального ремонту електродвигуна прийнято вважати час 20 тис. годин [2]. Витрати ресурсу пов'язані з режимами роботи електрообладнання і можуть прискорюватися або сповільнюватися. Визначальну роль відіграють теплові процеси, що відбуваються в електродвигуні. Швидкість ε теплового зносу ізоляції [1]:

$$\varepsilon = \varepsilon_n e^{B \left(\frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\theta_y} \right)}, \quad (1)$$

де ε_n – номінальна швидкість теплового зносу ізоляції, б.год./год.;

θ_n – абсолютна номінальна температура ізоляції, К;

θ_y – абсолютна стала температура ізоляції, К;

B – показник, що характеризує клас ізоляції, К.

Температура θ_y пов'язана з перевищенням температури ізоляції електродвигуна і залежить від кратності сили електричного струму електродвигуна:

$$\tau_y = \tau_n \frac{a + k^2}{a + 1}, \quad (2)$$

де τ_n – номінальне перевищення температури ізоляції, °С;

a – коефіцієнт втрат;

k – кратність сили електричного струму.

Під час перевищення номінального струму відбувається прискорений нагрів ізоляції, що приводить до її передчасного старіння – ресурс її роботи зменшується скоріше. Відповідно від цього зростають втрати активної потужності. Функціональне діагностування поточного режиму роботи електродвигуна таким чином можна вести за коефіцієнтом втрат електричної енергії k_v , який представляє собою відношення фактичних втрат активної потужності ΔP до номінальних ΔP_n , тобто:

$$k_v = \frac{\Delta P}{\Delta P_n}, \quad (3)$$

або в іншому вигляді

$$k_{\epsilon} = \frac{a + k^2}{a + 1}. \quad (4)$$

Стале перевищення температури ізоляції з урахуванням (4):

$$\tau_y = k_{\epsilon} \tau_n. \quad (5)$$

З досліду коефіцієнту втрат електричної енергії в асинхронному електродвигуні АИР100S4У3 в функції завантаження отриманий графік залежності, що приводиться на рис. 1.

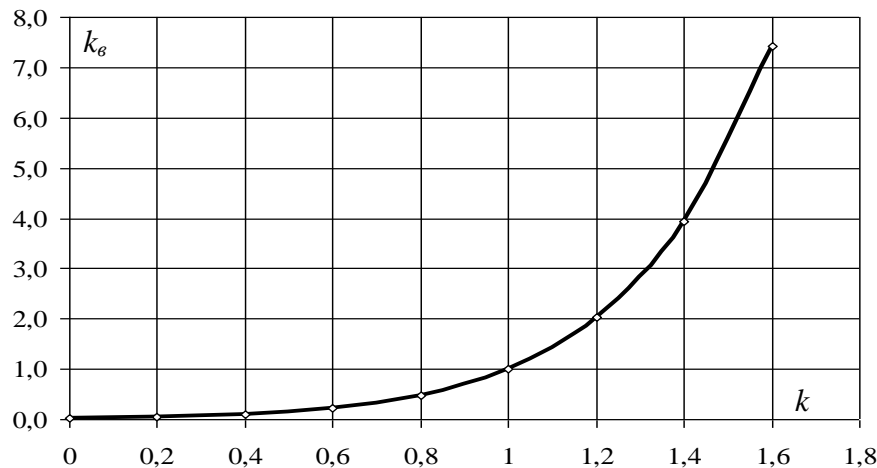


Рисунок 1. Графік залежності $k_{\epsilon} = f(k)$

Аналіз процесу перетворення електроенергії показує, що за допомогою коефіцієнта втрат електричної енергії можливе функціональне діагностування електродвигуна. Умова нормального режиму роботи електродвигуна:

$$k_{\epsilon} \leq 1. \quad (6)$$

Висновок. Запропонований метод функціонального діагностування електродвигуна за коефіцієнтом страт електричної енергії, що дозволить враховувати фактори за якими відбувається зростання споживаного струму і підвищення швидкості витрат ресурсу ізоляції.

Список використаних джерел

1. Курашкін С. Ф., Попова І. О. Параметри діагностування перетворення електричної енергії в асинхронному електродвигуні. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2017. Вип. 7, т. 1. С. 158-161.
2. Курашкін С. Ф., Попова І. О., Попрядухін В. С. Комбінований струмовий захист асинхронного електродвигуна. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки*. Харків, 2018. Вип. 195: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 108-109.

УДК 62-83

ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ КОНВЕЄРА

Квітка С. О., к.т.н.

Облещенко А. Д., магістрант

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

sergei.kvitka1965@gmail.com

anastasiyaobl333@gmail.com

Актуальність та постановка проблеми. В наш час відбувається швидке змінювання принципів побудови, конструктивного виконання та елементної бази використовуваних електроприводів змінного струму в різних галузях промисловості. У багатьох випадках модернізація здійснюється шляхом заміни нерегульованих і регульованих електроприводів різних типів на частотнорегульовані електроприводи змінного струму з асинхронними електродвигунами, які мають більш високі техніко-економічні показники. Застосування перетворювачів частоти в електроприводі обумовлене, перш за все, необхідністю регулювання швидкості обертання електродвигунів [1, 2].

Основні матеріали дослідження. При типовому застосуванні в області кераміки конвеєр транспортує плитку до укладача у піддони. Конвеєр стежить, щоб окремі ряди на укладальнику мали однакові відстані один від одного. У наведеному прикладі конвеєр запускається, коли плитка проходить перший світловий бар'єр (оптодатчик) і зупиняється, коли плитка проходить другий світловий бар'єр.

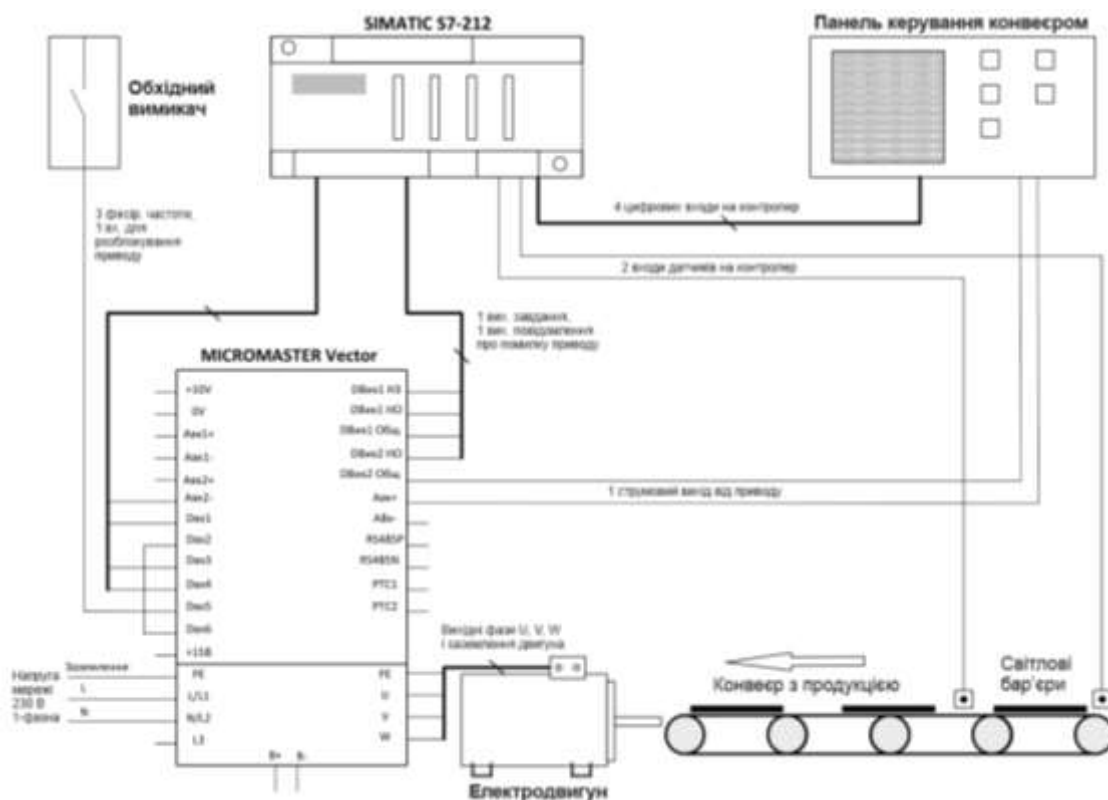


Рисунок 1. Схема застосування перетворювача частоти в електроприводі конвеєра

Контролер Simatic S7-212 запускає та зупиняє привід за цифровим входом Dvx1. Необхідна частота електродвигуна вибирається за Dvx4 (Цифровий вхід 4) і Dvx5 (Цифровий вхід 5), які параметруються як двійково-кодовані входи фіксованих частот. За двома входами можна вибрати 4 частоти. Dvx2 служить для вибору часу розгону/уповільнення. Така конфігурація системи приводу може бути застосована для інших виробничих режимів з більш високими швидкостями і коротшим часом пуску/зупинки, для менших і більш легких плиток.

Користувач вибирає тип продукції за допомогою панелі керування, яка зв'язана з контролером за чотирма цифровими входами. Два цифрових виходи використовуються, як інформаційні канали зворотного зв'язку. За допомогою панелі керування можна керувати процесом та відображати його графічно. Вихідні реле приводу зв'язані з контролером і повідомляють про досягнення необхідних вихідних частот або про перешкоди при функціонуванні. Аналоговий вихід приводу з'єднаний з панеллю керування і служить для індикації струму електродвигуна. Обхідний вимикач підключений прямо на цифровий вхід Dvx6 приводу і дає користувачеві можливість швидко відключити напругу на виході приводу без переривання напруги живлення.

Висновок. Таким чином, запропонована система керування електроприводом конвеєра із застосуванням перетворювача частоти MICROMASTER Vector дозволяє забезпечити високий і регульований пусковий момент, що забезпечує короткий час пуску/зупинки без перекидання електродвигуна, а також рівномірну і точну розкладку плиток, завдяки однаковому часу реакції системи.

Список використаних джерел

1. Данилов П. Е., Крутиков К. К., Рожков В. В. Управление частотно-регулируемым электроприводом: конспект лекций по курсу «Специальные разделы теории электропривода». Смоленск, 2008. 96 с.
2. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода: навч. посібник / М. В. Загірняк та ін. 2-ге вид., перероб. і доп. Харків: Точка, 2017. 206 с.
3. Квітка С. О., Безменнікова Л. М., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Методи управління та апаратна реалізація сучасних перетворювачів частоти. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2013. Вип. 3, т. 2. С. 164-171.
4. Квітка С. О., Облещенко А. Д. Застосування перетворювача частоти в електроприводі промислової пральної машини. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В.В. Овчарова (м. Мелітополь, 15-29 квітня 2021 р.) / ТДАТУ, відп. за вип. С. О. Квітка, Д. М. Нестерчук. Мелітополь, 2021. С. 56-57.*
5. Квітка С. О., Постнікова М. В., Речина О. М. Основи електропривода: лабораторний практикум. Ч. 1. Мелітополь: Люкс, 2020. 165 с.
6. Постнікова М. В., Квітка С. О., Нестерчук Д. М. Основи електропривода: практикум. Ч. 1. Мелітополь: Люкс, 2020. 259 с.

УДК 62-83

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВЕНТИЛЬНИХ БЕЗКОЛЕКТОРНИХ BLDC-МОТОРІВ

Постнікова М. В., к.т.н.

marina.postnikova@tsatu.edu.ua

Вдовін Б. В., магістрант

vdovinbogdan0@gmail.com

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. У сучасних інтелектуальних програмах руху зростає вимога до точного контролю швидкості та положення. Двигуни BLDC (Brushless Direction Current Motor) мають деякі переваги перед звичайними щітковими двигунами постійного струму та асинхронними двигунами. Наприклад: кращі характеристики швидкості та крутного моменту, висока динамічна реакція, висока ефективність, тривалий термін експлуатації, безшумна робота та більший діапазон швидкостей. Крім того, двигуни BLDC надійні, прості в управлінні та недорогі [1, 2]. Завдяки своїм сприятливим електричним та механічним властивостям, двигун BLDC широко використовується в сервоприводах, таких як автомобільна, аерокосмічна, медична, контрольно-вимірювальна, приводна, робототехніка, верстати та обладнання для промислової автоматизації. Для підвищення продуктивності двигунів BLDC було розроблено багато схем проектування та керування машинами. Для подальшого розвитку та розробки технічних рішень з застосуванням даного типу двигунів необхідно розглянути принцип керування, та функційну схему системи керування.

Основні матеріали дослідження. На рис. 1 зображена типова структура безколекторного двигуна постійного струму. Обмотки статора BLDC подібні до обмоток багатофазного двигуна змінного струму, а ротор складається з одного або кількох постійних магнітів. Безколекторні двигуни постійного струму (BLDC) містять потужний ротор з постійними магнітами та нерухомі обмотки статора. Стационарні обмотки статора зазвичай трифазні, що означає, що три окремі напруги подаються на три різні набори обмоток [3, 4]. Безколекторні двигуни постійного струму відрізняються від синхронних двигунів змінного струму тим, що перший включає в себе деякі засоби для визначення положення ротора (або магнітних полюсів) для вироблення сигналів для керування електронними перемикачами, наприклад датчики Холла.

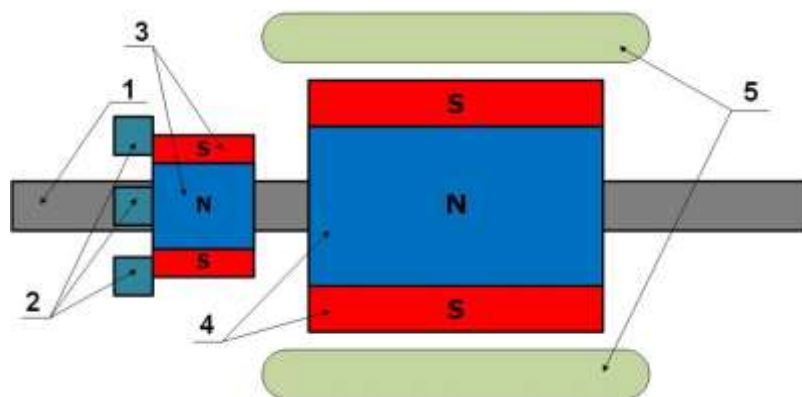


Рисунок 1. Структурна схема BLDC-двигуна: 1 – вал, 2 – датчики Холла, 3 – позиційні магніти, 4 – головні полюси ротора, 5 – трифазна обмотка статора.

Схема апаратного забезпечення для керування безколекторним двигуном в основному складається з контролера, схеми живлення, ланцюга регулювання напруги, кола виявлення переходу нуля. Загальна схема апаратного обладнання системи керування BLDC двигуном показана на рис. 2.



Рисунок 2. Схема керування BLDC-двигуном

Контролер використовує форму ШІМ для управління вихідним сигналом та живить трифазну схему повного моста інвертора, який веде контроль за фазою двигуна. Швидкість двигуна визначається шляхом непрямого обчислення сигналу виявлення положення. Робочий цикл ШІМ контролюється за допомогою зворотного зв'язку, що дозволяє досягти точного контролю швидкості ДПС через визначення струму та положення сигналу виявлення.

Висновок. BLDC-двигуни доцільно використовувати у швидкісних установках, в яких необхідна частота обертів понад 10000 об/хв. Масогабаритні показники сприяють застосуванню таких двигунів у транспортній сфері, але слід зазначити увагу на тому, що максимальний момент досягається саме на високих обертах. Подальше дослідження властивостей BLDC моторів є доцільним та дозволить визначити особливості для побудовання систем керування для різних сфер застосування даних двигунів [5].

Список використаних джерел

1. P. Yedamale, Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals. Chandler, AZ: Microchip Technology, Inc., last access; March 15, 2009. Веб-сайт. URL: http://ww1.microchip.com/downloads/en/Market_Communication/Feb%202009%20microSOLUTIONS.pdf (дата звернення 05.11.2021).
2. Sing B., Reddy A. N., Murthy S. S. Gain Scheduling Control of Permanent Magnet Brushless dc Motor. *IE(I) Journal-EL*. 2003. Vol. 84. P. 52-62.
3. Гульков Г. И., Петренко Ю. Н., Раткевич Е. П. Системы автоматизированного управления электроприводами: учеб. пособие. Минск: Новое знание, 2004. 384 с.
4. Власенков О. А, Зенюхов І. О, Постнікова М. В., Квітка С. О. Сучасний стан і перспективи розвитку електропривода. *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації*. Переяслав-Хмельницький, 2019. Вип. 52. С. 417-418.
5. Постнікова М. В., Вдовін Б. В. Триконтурна система підпорядкованого регулювання положення з послідовною корекцією. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. пам'яті В. В. Овчарова (м. Мелітополь, 15–29 квітня 2021 р.) / ТДАТУ. Мелітополь, 2021. С. 62-63.*

УДК 62-83

ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ ЛІФТА

Квітка С. О., к.т.н.

Томілко Ю. С., магістрант

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

sergei.kvitka1965@gmail.com

yulia007tomilko@gmail.com

Актуальність та постановка проблеми. Основним елементом сучасних регульованих електроприводів змінного струму є перетворювач частоти. Вони все більшою мірою використовуються в електроприводах змінного струму насосів, вентиляторів, компресорів, транспортерів, металообробних верстатів та ін. [1-5].

Основні матеріали дослідження. Кабіна типової підйомної системи разом із противагою представляє для приводу велике інерційне навантаження. Це означає, що привод повинен забезпечити великий пусковий момент для розгону електродвигуна без ривків. Завдяки векторному керуванню і параметрованому згладжуванню пускової діаграми система забезпечує рух кабіни ліфта без ривків і комфорт пасажирів під час критичних фаз розгону та уповільнення.

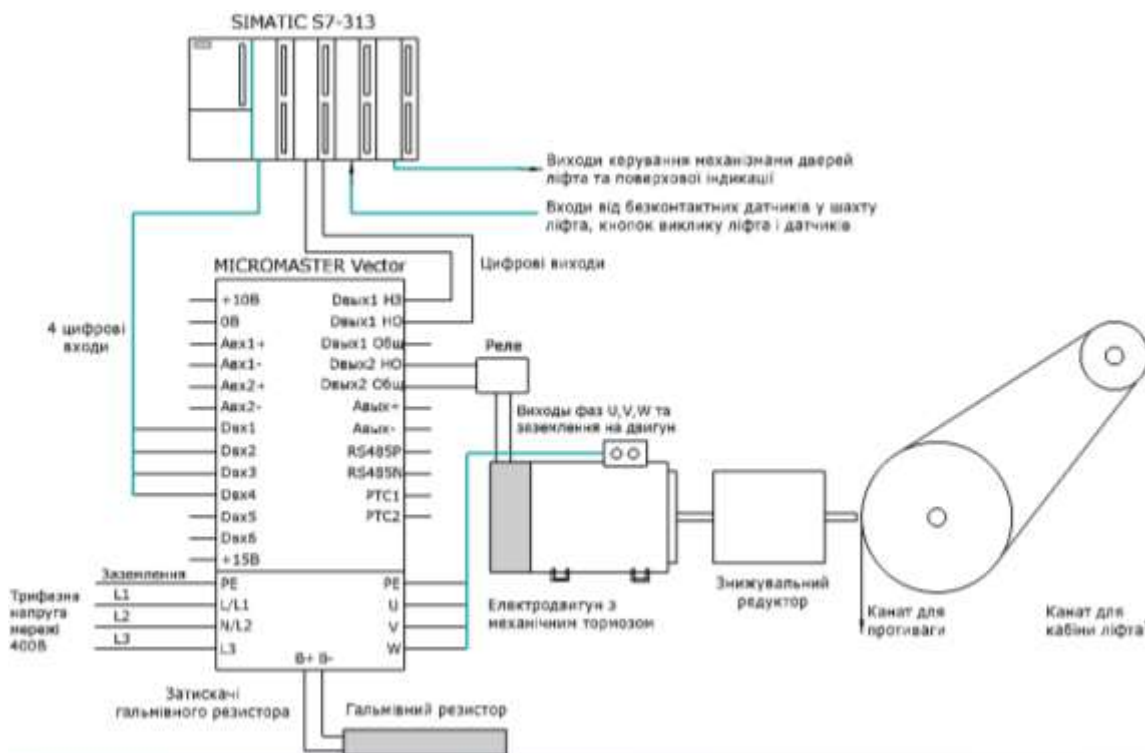


Рисунок 1. Схема застосування перетворювача частоти в електроприводі ліфта

У наведеному прикладі перетворювач частоти використовується в малій ліфтовій системі. Гальмівний резистор покращує зупинку ліфта. При наближенні ліфта до пункту зупинки відбувається перемикання з нормальної швидкості (фіксована частота 50 Гц, яка відповідає швидкості ліфта 1 м/с) на швидкість підходу (фіксована частота 6 Гц). Час розгону/зупинки складає 3 секунди. Керування здійснюється за цифровими входами, що використовуються для вибору напрямку руху (Dvx1, Dvx2), фіксованих

частот (Dvx3, Dvx4), а в даному випадку ще й для активізації динамічного гальмування постійним струмом (Dvx5). Одне вихідне реле використовується для керування електродвигуном механічного гальма, а друге реле параметрується на подачу сигналу ліфтовому контролеру за помилки.

Після відпускання механічного гальма кабіна розганяється в шахті, доки частота електродвигуна кабіни не досягне 50 Гц, що відповідає швидкості нормального режиму. Датчики наближення в ліфтовій шахті пов'язані із системою керування і повинні інформувати контролер про наближення кабіни до поверху, необхідність переходу на знижену швидкість і потім гальмування. Якщо кабіна проїжджає перший датчик наближення, ліфт гальмується до зниженої швидкості. При проході другого датчика ліфт зупиняється і накладається механічне гальмо.

Висновок. Таким чином, для створення регульованого електропривода кабіни ліфта у системі керування електроприводом ліфта пропонується застосовувати перетворювач частоти MICROMASTER Vector з векторним керуванням. Розроблена система керування електроприводом ліфта дозволяє забезпечити високий і регульований пусковий момент електродвигуна, що забезпечує рух кабіни ліфта без ривків.

Список використаних джерел

1. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов: учебник / под ред. В. М. Терехова. Москва: Академия, 2005. 304 с.
2. Данилов П. Е., Крутиков К. К., Рожков В. В. Управление частотно-регулируемым электроприводом: конспект лекций по курсу «Специальные разделы теории электропривода». Смоленск, 2008. 96 с.
3. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода: навч. посібник / М. В. Загірняк та ін. 2-ге вид., перероб. і доп. Харків: Точка, 2017. 206 с.
4. Квітка С. О., Безменнікова Л. М., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Методи управління та апаратна реалізація сучасних перетворювачів частоти. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2013. Вип. 3, т. 2. С. 164-171.
5. Квітка С. О., Облещенко А. Д. Застосування перетворювача частоти в електроприводі промислової пральної машини. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В.В. Овчарова (м. Мелітополь, 15-29 квітня 2021 р.) / ТДАТУ, відп. за вип. С. О. Квітка, Д. М. Нестерчук*. Мелітополь, 2021. С. 56-57.
6. Квітка С. О., Постнікова М. В., Речина О. М. Основи електроприводу: лабораторний практикум. Ч. 1. Мелітополь: Люкс, 2020. 165 с.
7. Постнікова М. В., Квітка С. О., Нестерчук Д. М. Основи електропривода: практикум. Ч. 1. Мелітополь: Люкс, 2020. 259 с.
8. Квітка С. О. Силові електронні пристрої в системах керування: навчальний посібник. Мелітополь: Люкс, 2021. 180 с.

УДК 621.372.632:621.313.39

ЖИВЛЕННЯ МАЛОПОТУЖНИХ СЕЛЬСИНІВ СГСМ, БД, БС

Курашкін С. Ф., к.т.н.

serge.kuras@gmail.com

Волкова І. Д., магістрант

rein.feur.07@gmail.com

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. Сельсин – особливий вид малопотужної електричної машин змінного струму, що призначений для дистанційної передачі механічного кута повороту електричним шляхом між пристроями, які не мають між собою механічного зв'язку. Застосовується у системах автоматики і телемеханіки для дистанційної синхронної передачі кутових переміщень. В електричній схемі один з сельсинів використовується як давач, другий – як приймач. Найбільш поширеними є однофазні сельсини, обмотки збудження яких живляться напругою 110 В/50 Гц (потужні) або 100 (115) В/400 Гц (малопотужні). Для живлення останніх необхідне спеціальне джерело живлення, яке має відповідні вихідні параметри. Однак, під час проектування систем автоматизованого керування, де застосовуються малогабаритні сельсини, є проблема з пошуком джерела змінного струму частотою 400 Гц – окремо промисловість їх не випускає, тому є необхідність їх проектування.

Основні матеріали дослідження. Найбільш часто сельсини вмикаються за схемою давач-приймач. На обмотки збудження сельсинів подається напруга 100 В, 400 Гц. Згідно з даними [1] малопотужні сельсини серії СГСМ, БД, БС споживають струм не більше 0,3 А. Отже, ці данні є вихідними для проектування джерела живлення.

Структурна джерела живлення (рис. 1) включає наступні вузли: 1 – випрямляч змінної напруги 220 В в постійну 100/12 В, 2 – мультивібратор 400 Гц; 3 – підсилювач потужності.

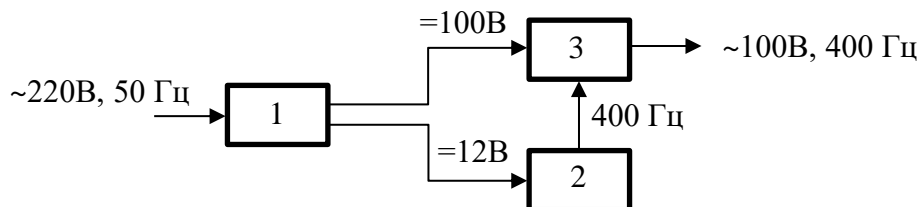


Рисунок 1. Структурна схема джерела живлення сельсинів

Випрямляч складається за класичною мостовою схемою [2]. Критерієм вибору випрямних діодів є припустима зворотна напруга V_{RMS} . Оскільки струм споживання не перевищує 0,5А діоди обираються малопотужні, наприклад, 1N4003 ($V_{RMS} = 140$, $I_F = 1$ А).

Мультивібратор можна виконати на операційному підсилювачі, або застосувати універсальний таймер серії 555 (рисунок 2).

Частота коливань мультивібратора залежить від параметрів елементів схеми:

$$f = \frac{0,72}{C1R1} \quad (1)$$

Для частоти 400 Гц параметри елементів – $R1 = 1,8$ кОм, $C1 = 1$ мкФ.

Підсилювач потужності виконується на біполярних транзисторах за двотактною

схемою. Режим роботи підсилювача – В або АВ і визначається ділниками напруги $R1R2$ і $R3R4$ (рис. 3). Вихідні транзистори повинні мати припустиму напругу більшу за 100 В. Такими можуть бути, наприклад, пару транзисторів типів 2N5051 (структура n-p-n, $V_{CE} = 150$ В, $I_C = 2$ А) і 2N6422 (структура p-n-p, $V_{CE} = 300$ В, $I_C = 2$ А).

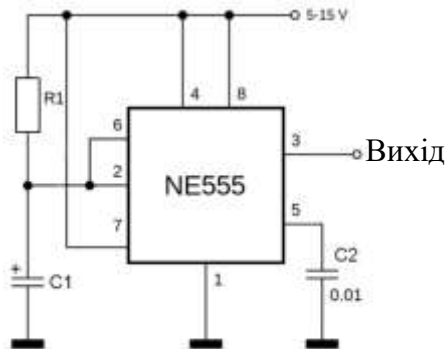


Рисунок 2. Принципова схема мультивібратора

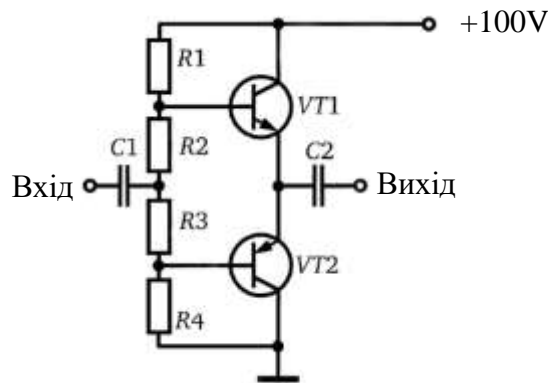


Рисунок 3. Принципова схема підсилювача потужності

Висновок. Проблема живлення малопотужних сельсинів вирішується за допомогою типових схемних рішень, які треба розрахувати і підлаштувати під необхідні параметри навантаження. Оскільки обмотки збудження мають індуктивний характер навантаження, варто зашунтувати переходи колектор-емітер вихідних транзисторів випрямними діодами у зворотному включенні. Таким чином вирішується проблема перенапруження транзисторів через е.р.с. самоіндукції під час перехідних процесів.

Список використаних джерел

1. Електродвигатели, сельсины. URL: <https://www.dak-s.com/products/bd-160a-klass-b> (дата обращения 10.11.2021).
2. Курашкін С. Ф. Електроніка та мікросхемотехніка: курс лекцій. Мелітополь: Люкс, 2019. 146 с.

УДК 631.171:631.3.076

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ СУЧАСНИХ САМОХІДНИХ ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН

Постнікова М. В., к.т.н.

marina.pastnikova@tsatu.edu.ua

Іванова Д. В., студент

malt96matt@gmail.com

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь*

Актуальність та постановка проблеми. Будь-які зернові культури потребують первинної обробки, яка проводиться відразу після збирання, і очищає зерно від сторонніх домішок. Для цього використовується спеціальне обладнання, яке мінімізує ручну працю при виконанні цієї роботи. Техніка повинна бути адаптована для роботи в регіонах з різними кліматичними умовами, тому багато фермерських господарств та агропромислові комплекси стараються вибрати для себе найбільш відповідний варіант зерноочисних машин.

Сучасні самохідні зерноочисні машини мають поліпшену якість очищення зерна, зменшену енергоємність технологічного процесу, що дає можливість економити електроенергію [1].

Відомо, що в багатьох випадках одне лише свідоме відношення до використання електроенергії може дати економію в декілька відсотків. А якщо до такого свідомого підходу додати ще і більш продумане керування технологічним процесом, то економія електроенергії досягне в середньому 8-10 % [2].

Пошук шляхів економії електроенергії є актуальною проблемою [3].

Основні матеріали дослідження. Самохідні зерноочисні машини ОВП-20, ВС-10, ОВВ-20, які випускала промисловість для очищення продовольчого зерна або попереднього очищення посівного матеріалу, замінюють на сучасні, які мають знижені витрати електроенергії і кращу якість очищення. Наприклад, самохідна зерноочисна машина КЛАСС-20 МС-10П призначена для сепарації насіння. Використовується для роботи, як на відкритих токах, так і в закритих складах (приміщеннях). Машина встановлюється на раму з шасі, має завантажувальний бункер ємністю 400 кг, скребковий підбирач і елеватор для подачі продукції в бункер витрати, шнеки для відводу товарного зерна і фуражу, стрічковий транспортер для відвантаження насінневого матеріалу. Машина проводить очистку всіх культур, в тому числі і дрібнонасієних: пшениця, ячмінь, горох, соняшник, льон та інші.

Як показали дослідження [4], насіння пшениці, отримане на зерноочисній машині «КЛАСС» за питомою вагою та схожістю відрізняється від вихідних, отриманих на агрегаті ЗАВ-40. Для практичного насінництва найбільшу важливість має сила росту насіння. Характеризується сила росту двома показниками: середнім числом сходів у відсотках і масою сходів в грамах. Маса сходів рослин другої та третьої фракцій, отриманих на аеродинамічній машині «КЛАСС» на 25-50 % вище маси сходів насіння, отриманих на ЗАВ-40. Отже, тільки за рахунок покращення якості посівного матеріалу на 35 % підвищується врожайність посівів пшениці.

Спільний розгляд характеристик електродвигуна і машини допомагає вирішити такі важливі для вибору приводу питання як достатня потужність двигуна, можливість зрушення з місця, розгін до номінальної швидкості в заданий час і т.д.

У період пуску машини включаються в роботу разом з двигуном і дають йому навантаження, викликане втратами на тертя і іншими факторами. Двигун в цьому випадку в основному працює тільки на прискорення частин робочої машини, що рухаються, і своїх власних до номінальної швидкості обертання. При пуску двигуна під

навантаженням одночасно зі збільшенням швидкості обертання приводу долається і певне навантаження, створюване при обробці продукту. Одним з основних показників роботи системи двигун – машина є момент опору M_c .

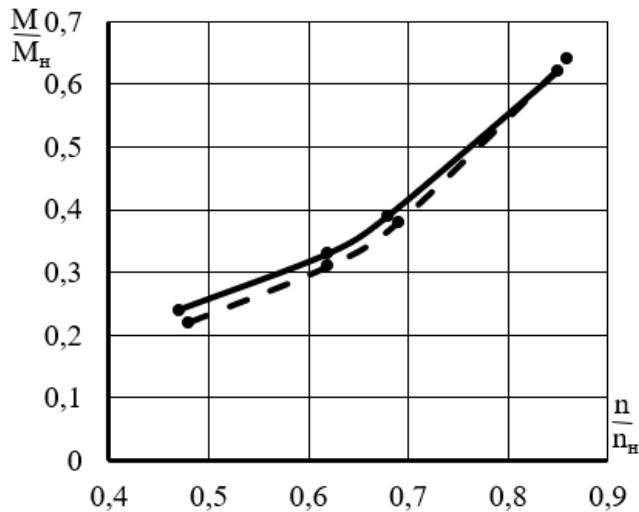


Рисунок 1. Механічні характеристики зерноочисної машини (пунктирна лінія – холостий хід, суцільна лінія – під навантаженням) [1]

Для зерноочисної машини залежність $M_c = f(t)$ має пульсуючий характер з певною частотою та амплітудою коливань. Частота коливань моменту опору в режимі, що встановився, при номінальній швидкості становить 24-25 коливань в секунду. Механічна характеристика $M_c = f(n)$ представлена на рис. 1. Відносно невелике збільшення частоти обертання призводить до значного звантаження двигуна і відповідно до зростання моменту опору.

Переваги перед іншими зерноочисними машинами полягають в тому, що на машині «КЛАСС» встановлений діаметральний вентилятор (рис. 2), який значно покращує якість очищення зерна і має знижену витрату електроенергії. Він має таку ж ширину як і повітропровід. За рахунок такого конструктивного рішення повітряний потік, не зустрічаючи перепон, рухається до повітряної решітки. В потоці відсутні турбулентні вихори і пульсації на всіх режимах очищення.

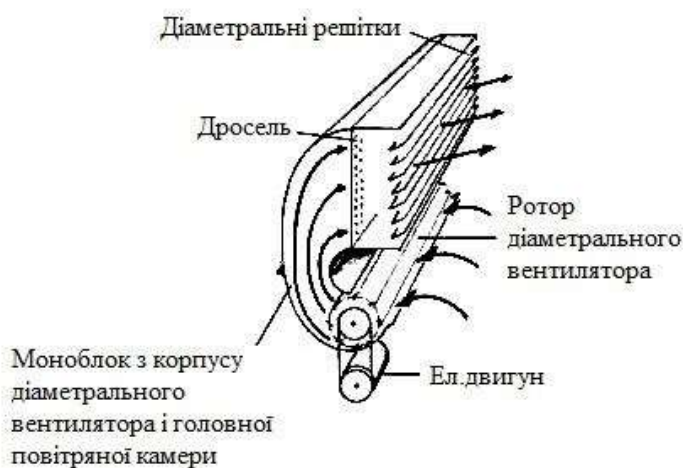


Рисунок 2. Конструкція діаметрального вентилятора

Частотний перетворювач дозволяє плавно регулювати швидкість обертання діаметрального вентилятора, який не має повітряних засувки, не потребує налаштувань і регулювань протягом всього терміну експлуатації зерноочисної машини. Відсутність ґрат зменшує невиробничі витрати на ремонт, а також знижує імовірність травмування зерна, чим збільшує схожість і якість посівного матеріалу.

Менша потужність машини знижує витрати на електроенергію. Мінімум кількості рухомих частин і точок змащування підвищує надійність роботи машини, скорочує витрати на ремонт, обслуговування і запчастини. Перехід з культури на культуру займає не більше 20 хвилин. Це виключає трудомісткий процес підбору потрібних решіт.

Активна потужність, що споживається вентилятором [1]

$$P_c = \frac{Q_n \cdot H \cdot K_z}{\eta_n}, \quad (1)$$

де Q_n – номінальна витрата повітря, м³/с;

H – напір, Па;

K_z – коефіцієнт завантаження вентилятора;

η_n – коефіцієнт корисної дії вентилятора.

Корисна активна потужність, що споживається вентилятором

$$P = Q_n \cdot H \cdot K_z. \quad (2)$$

Втрати активної потужності в вентиляторі

$$P_c = \frac{Q_n \cdot H \cdot K_z}{\eta_n} - Q_n \cdot H \cdot K_z. \quad (3)$$

Таким чином, отримана залежність втрат активної потужності в вентиляторі в функції подачі вентилятора при заданих значеннях тиску і номінального коефіцієнта корисної дії вентилятора.

Висновок. Зерноочисна машина КЛАСС-20 МС-10П, що має істотні переваги перед іншими машинами, придатна для безпечного та якісного очищення зерна. Необхідно провести дослідження електроспоживання машини з метою визначення мінімальної енергоємності процесу очищення зерна, а контролювати електроспоживання машини можна за допомогою норм електроспоживання [5].

Список використаних джерел

1. Постнікова М. В. Енергозберігаючі режими роботи електромеханічних систем обробки зерна на зернопунктах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. Мелітополь, 2011. 22 с.
2. Постнікова В. А., Постнікова М. В. Енергетичний аудит на підприємствах переробки і зберігання зерна. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*: матеріали II Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф. пам'яті В. В. Овчарова (м. Мелітополь, 10–26 листопада 2020 р.) / ТДАТУ. Мелітополь, 2020. С. 50-51.
3. Постнікова М. В. Заходи щодо економії електроенергії на зернопунктах. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*: матеріали II Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф. пам'яті В. В. Овчарова (м. Мелітополь, 10–26 листопада 2020 р.) / ТДАТУ. Мелітополь, 2020. С. 36-37.
4. Самоходная машина КЛАСС-20 МС-10П: веб-сайт. URL: <https://altaytd.ru/products/46809215> (дата звернення 17.10.2021).
5. Постнікова М. В. Розробка науково-обґрунтованих норм енергоємності при обробці зерна на зернопунктах. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Сер. Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика*. Харків, 2008. № 30. С. 511-512.

УДК62-533.7

ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОГО ЗНОШУВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВОГО КАБЕЛЮ

Нестерчук Д. М., к.т.н.

dina.nesterchuk@tsatu.edu.ua

Мараховський В. Б., студент

gamb1kvlad@gmail.com

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. Переважна більшість об'єму виробленої електричної енергії транспортується лініями електропередач, тому прогнозування технічного стану силових кабельних ліній є актуальним питанням. Прогнозування та діагностування силових кабелів - це визначення стану ізоляції і гарнітур кабельних ліній, за результатами чого приймається рішення по продовженню експлуатації, ремонту або заміни кабелів. У порівнянні з випробуваннями кабелі майже не піддаються навантаженню, і тому не виникає пробою можливих слабких місць кабелю [1].

Основні матеріали дослідження. Силові кабелі – це ізольовані кабелі, які призначені для використання в лініях електричного живлення [2]. Для діагностування та моніторингу ізоляції кабелів використовуються різноманітні методи, системи вимірювань та прилади, які вимірюють різні характеристики ізоляції кабелю та можуть вказати на якій частині кабельної лінії несправність. Це дуже полегшує роботу персоналу, зменшує час на проведення ремонтних робіт та приводить до запобігання серйозних ушкоджень кабелю. Розвиток процесу зношування ізоляції силового кабелю під впливом експлуатаційних чинників є складною функціональною залежністю від режимних, конструктивних та кліматичних факторів, як наслідок, в умовах реальної експлуатації технічний стан кабельних ліній, які прокладені в кабельних каналах або в ґрунті, погіршується, з'являються додаткові незворотні зміни властивостей ізоляції кабелю, при цьому прискорюється старіння ізоляції та її пробій.

Аналіз літературного джерела [3] дозволив розробити структурну схему розвитку процесу зношування ізоляції силового кабелю, яка наведена на рис. 1.

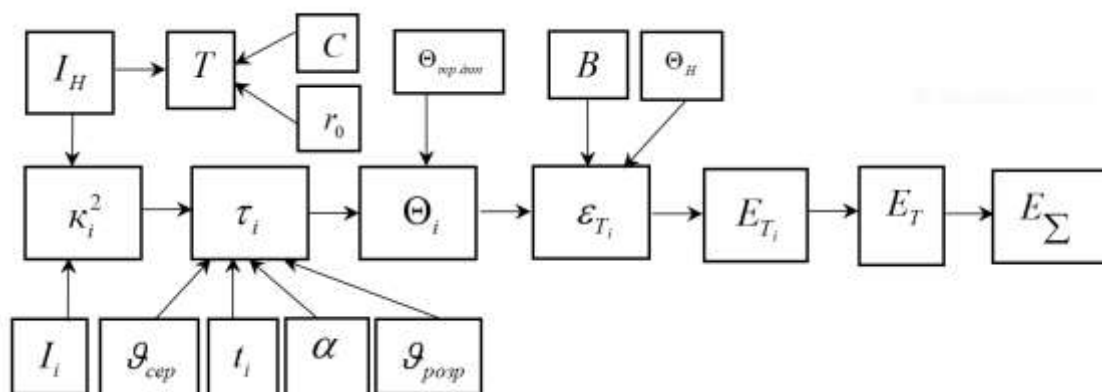


Рисунок 1. Структурна схема розвитку процесу зношування ізоляції силового кабелю

На наведеній схемі наведені такі літерні позначення: I_H – номінальний струм силового кабелю; I_i – фактичний струм силового кабелю; t_i – фактичне перевищення температури жил кабелю; α – температурний коефіцієнт опору матеріалу жил кабелю;

κ_i^2 – квадрат кратності струму; $\mathcal{G}_{сер}$ – поточне значення температури навколишнього середовища; t_i – поточний час; $\mathcal{G}_{розр}$ – розрахункове значення температури навколишнього середовища; T – постійна часу нагрівання; C – теплоємність одиниці довжини силового кабелю; $r0$ – активний опір одиниці довжини силового кабелю; Θ_H – номінальна температура оболонки кабелю; B – коефіцієнт, що характеризує клас ізоляції кабелю; εT_i – фактична швидкість теплового зношування ізоляції; Θ_i – фактична температура оболонки кабелю; ET_i – теплове зношування ізоляції за час дії струму; ET – сумарне теплове зношування ізоляції за час дії струму; E_{Σ} – зношування ізоляції від сукупного експлуатаційного впливу з початку експлуатації силового кабелю.

Заслужовують на увагу аналітичні вирази, що описують вищенаведену схему

$$E_{T_i} = \int_0^{t_i} \varepsilon \left(\frac{1}{\Theta_H} - \frac{1}{\tau_y T + \mathcal{G}_{сер} + 273} \right) dt; \quad (1)$$

$$\tau_y = \tau_H \cdot \frac{\kappa_i^2}{1 - \alpha \cdot \tau_H \cdot (\kappa_i^2 - 1)}, \quad (2)$$

$$T = \tau_H \cdot \frac{C}{(1 - \alpha \cdot \tau_H \cdot (\kappa_i^2 - 1))}. \quad (3)$$

Проведені дослідження дозволили визначити чинники діагностування щодо розвитку процесів пошкодження та зношування ізоляції силових кабелів: підвищений струм, що проходить по кабелю; підвищене нагрівання жил та підвищене нагрівання оболонки силового кабелю [3].

Авторами пропонується у якості параметрів діагностування та моніторингу процесу теплового зношування ізоляції кабелю прийняти квадрат кратності струму та температуру жили, а також температуру оболонки.

Висновок. Запропонована авторами ідея дозволить підвищити експлуатаційну надійність силових кабелів у процесі експлуатації.

Список використаних джерел

1. Євтух П. С., Михайлов О. В., Вакуленко О. О. Діагностика силових кабельних ліній, особливості та проблеми, що виникають під час експлуатації. *Актуальні задачі сучасних технологій*: зб. матеріалів IV Міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів / ТНТУ імені Івана Пулюя. Тернопіль, 2015. С. 117-118.
2. ДСТУ EN 50575:2018. Кабелі силові, контрольні та зв'язку. [Чинний від 2020-01-01]. Київ, 2019. 20 с. (Інформація та документація).
3. Овчаров В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. Киев: УСХА, 1990. 168 с.

УДК 631.363.2

ВИБІР ПАРАМЕТРА ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ ЗЕРНА

Постнікова М. В., к.т.н.

marina.postnikova@tsatu.edu.ua

Коваль С. Д., магістрант

sergei.koval18@gmail.com

*Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь*

Актуальність та постановка проблеми. В зв'язку з загостренням енергетичної кризи у світі і нашій країні, що зумовлене інтенсивним вичерпанням паливно-енергетичних ресурсів, надзвичайно актуальними є проблеми енергозбереження [1].

Обґрунтування раціональних технологічних параметрів технологічного процесу подрібнення зерна для комбікормів та раціональних енергетичних параметрів дробарок, які в сукупності підвищують ефективність приготування комбікормів є актуальною науково-прикладною задачею для розвитку тваринницької галузі [2].

Аналіз технологічного процесу подрібнення зерна показує, що якість обробки кормів не відповідає сучасним вимогам [3, 4]. Енергоємність процесу складає 5,4-8,0 кВт·год/т, яку можна знизити шляхом оптимізації технологічного процесу. Тому підвищення енергоефективності технологічного процесу подрібнення зерна є актуальною проблемою.

Однак, досліджень енергетичної ефективності технологічного процесу молоткової дробарки зерна проводилось недостатньо.

Мета дослідження – енергозбереження в технологічному процесі подрібнення зерна. Для досягнення поставленої мети була вирішена задача: встановити основні фактори, які впливають на енергоефективність технологічного процесу подрібнення зерна для комбікормів.

Основні матеріали дослідження. При рішенні задачі оптимізації об'єкта дослідження необхідно вибрати параметр оптимізації, по якому оцінюється досліджуваний об'єкт, і який у вигляді математичної залежності визначається через незалежні змінні або фактори. Правильно обраний параметр оптимізації чітко визначає задачу дослідження, для рішення якої необхідно одержання математичної моделі, зручної для пошуку максимуму або мінімуму параметра оптимізації при відповідних значеннях факторів, що визначають властивості об'єкта дослідження. Така математична модель може бути успішно отримана перебудовою вихідної моделі об'єкта дослідження з невизначеним функціональним зв'язком методом планування математичного експерименту (ПМЕ) [5].

В якості параметра оптимізації можуть бути обрані: економічний показник, що характеризує технологічний процес або робочу машину, а також продуктивність виробничого обладнання або енерговитрати та т.п. При цьому необхідно прагнути до того, щоб параметр оптимізації був один, мав ясний фізичний зміст і кількісну оцінку, а також був би сукупною та вичерпною характеристикою об'єкта дослідження. Стосовно до поставленої задачі оптимізації енергоємного технологічного процесу зернодробарки, в якості параметра оптимізації доцільно вибрати величину енерговитрат на одиницю готової продукції, що визначається за рівнянням [6]

$$W = \frac{P_{\Sigma} \cdot K_3}{Q \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \lambda_{\text{п}} \cdot K_{\text{вол}}}, \quad (1)$$

де W – питома енергоємність, кВт·год./т;

$P_{\Sigma} = P$ – сумарна номінальна потужність електродвигунів, кВт;

K_3 – коефіцієнт завантаження електродвигунів;

Q – продуктивність за годину чистої роботи при подрібненні фуражного зерна, т/год.;

$\eta_{\text{пер}}$ – ККД клинопасових передач, в.о.;

$\lambda_{\text{п}}$ – ступінь подрібнення зерна;

$K_{\text{вол.}}$ – коефіцієнт, що враховує вологість зерна, в.о.

Відповідно до технічної характеристики дробарки ДБ-5-1:

– встановлена потужність електродвигунів $P_{\Sigma} = 32,2$ кВт;

– продуктивність $Q = 4-6$ т/год.;

– питома енергоємність при подрібненні зерна, кВт·год./т. Приймаємо $W = 5,4-8$ кВт·год/т.

Коефіцієнт корисної дії для клинопасових передач дробарки $\eta_{\text{пер}} = 0,94-0,96$ ($\eta_{\text{персер}} = 0,95$); середня вологість зерна 14 %, тобто $K_{\text{вол.}} = 0,86$.

Ступінь подрібнення зерна $\lambda_{\text{п}}$ є одним з факторів, що істотно впливає на енергоспоживання дробарки. Однак, останнім часом, на дробарках встановлюються так звані дисперсаналізатори з безперервним контролем ступеня подрібнення зерна, що входять в автоматичний регулятор завантаження дробарки. Тому в роботі приймається значення $\lambda_{\text{п}}$ постійним і рівним $\lambda_{\text{п}} = 1$.

Висновок. Таким чином, в якості контрольованих і керованих факторів, що визначають параметр оптимізації W приймаються: потужність P_{Σ} , продуктивність Q і коефіцієнт завантаження K_3 .

Список використаних джерел

1. Постнікова М. В. Енергозберігаючі режими роботи електромеханічних систем обробки зерна на зернопунктах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. Мелітополь, 2011. 22 с.
2. Постнікова М. В. Енергоефективність технологічного процесу подрібнення зерна для комбікормів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 2. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-25.
3. ДСТУ 3768:2019. Пшениця. Технічні умови. [Чинний від 2019-06-10]. Київ: УкрНДНЦ, 2019. 19 с.
4. ДСТУ 8066:2015. Корми для сільськогосподарських тварин. Методи визначення енергоємності і поживності. [Чинний від 2017-01-01]. Київ: УкрНДНЦ, 2018. 15 с.
5. Назарьян Г. Н., Постнікова М. В., Карпова А. П. Решение задач оптимизации объектов исследования методом планирования математического эксперимента. Мелітополь: ТГАТУ, 2012. 68 с.
6. Postnikova M., Mikhailov E., Nesterchuk D., Rechina O. Energy Saving in the Technological Process of the Grain Grinding. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations*. 2019. P. 395-403. DOI: 10.1007/978-3-030-14918-5_41.

УДК 621.313.13

АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ТА ЙОГО СУЧАСНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Широкова А. Г., інженер

anastasia.shyrokova@tsatu.edu.ua

Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. Конструктивна складова сучасного електроприводу представлена з електромеханічного перетворювача енергії (двигуна), пристрої керування та силового перетворювача. Основна сфера застосування сучасного електроприводу постійно розширюється. У сучасному світі з усієї електроенергії, що виробляється, у відсотковому співвідношенні електроприводами постійного та змінного струму споживається майже 67 %. Таким чином розробка, компактних та економічних систем приводу – це одне з найголовніших завдань у розробці нової техніки, [1,2].

Основні матеріали дослідження. Сучасні системи керування асинхронними електроприводами створюються з урахуванням сукупності взаємозалежних фізичних принципів, способів організації керування та взаємодії функціональних елементів систем. Частотний спосіб регулювання швидкості асинхронного двигуна здійснюється шляхом зміни частоти напруги на статорі. Зміна таких параметрів як частота і напруга виступають, як два керуючих впливи, регулювання яких здійснюється незалежно один від одного.

Закон частотного регулювання - це підтримування постійним співвідношення між напругою та частотою на статорі ($U/f = \text{const}$). Цей закон передбачає можливість регулювання під різне навантаження шляхом вибору відповідного співвідношення між напругою і частотою на статорі, а електропривод може працювати без негативного зворотного зв'язку за швидкістю і має природну жорсткість механічних характеристик.

Основним регулюючим приладом є напівпровідниковий перетворювач, який складається з автономного інвертора та його системи керування.[3,4]. Вхідний сигнал, що наростає повільно, формує задатчик інтенсивності. Асинхронний короткозамкнутий двигун без коливань моменту та струму необхідний для плавного наростання швидкості. Цей принцип керування є найбільш простим способом, що широко застосовується для приводу механізмів, через свою низьку вартість.

Розглянемо систему векторного керування, яка застосовується в механізмах з підвищеними вимогами до якості регулювання швидкості, наприклад, у кранах, ліфтах, приводах у верстатах. Функціональна схема даної системи складається з перетворювачів координат, необхідних для переведення моделі асинхронного електродвигуна в систему координат, що орієнтована по вектору потокозчеплення ротора двигуна. Перетворювач координат необхідний для розділення каналів регулювання, кожен із яких складається за принципом підлеглого регулювання. При цьому структура кожного каналу може бути різною залежно від вимог системи регулювання. Система векторного керування забезпечує характеристики асинхронного електроприводу, які близькі до характеристик приводу постійного струму. Такі властивості системи досягаються за рахунок поділу каналів регулювання потокозчеплення та швидкості обертання електродвигуна, що не досягається при використанні скалярного керування.

Новий напрямок у сфері вискоефективних розробок систем керування представляє система із прямим керуванням моменту. Головна ідея полягає в тому, що на кожному кроці розрахунку визначається оптимальний стан інвертора напруги за

значенням моменту та потоку статора, широтно-імпульсний модулятор виключається із системи як окрема ланка. Математичний апарат який заснований на диференціальних рівняннях динаміки асинхронного двигуна та векторних співвідношеннях, реалізує векторне регулювання швидкості.

Метод однаково коректний як для перехідних, так і для сталих процесів, що значно підвищують динамічний діапазон роботи системи. Призводить, наприклад, до відсутності провалів швидкості при стрибках навантаження. Призначення контуру швидкості - задати миттєве положення вектора струму, що необхідно для підтримки заданої швидкості. Завдання контуру струму – задати реальне положення та амплітуду вектора струму.

Реалізація цього закону керування, можлива завдяки таким складовим: блок регуляторів, що складається з регуляторів швидкості, моменту, потоку і частоти перемикачів «ключів», також здійснюється регулювання в режимі ковзання вектора потокозчеплення статора і моменту двигуна на основі заданих і діючих величин. Високоактивний логічний автомат, що перемикає «ключі» автономного інвертора в функцію «оптимізації» вектора вихідної напруги за граничними відхиленнями моменту та потоку статора. Критерієм вибору стану інвертора при перемиканнях, у роботі контуру, є:

- мінімізування частоти перемикачів інвертора при малій амплітуді помилки;
- зменшення короткострокової великої струмової помилки за мінімальний час при мінімальній кількості комутацій інвертора.

Цей спосіб керування струмом має важливі переваги, він дозволяє будувати більш швидкісні системи, що миттєво реагують на впливи, і одночасно розсіювати менше енергії в силових ключах.

Висновок. Сучасна промисловість характеризується використанням високоефективних технологій, бажанням досягти високих експлуатаційних характеристик обладнання та зменшити втрати. Все це можливе за умови підвищення якості керування технологічним процесом, у тому числі застосування високоефективних систем керування асинхронним електроприводом. Розробка високопродуктивних, компактних та економічних систем приводу є пріоритетним напрямком розвитку сучасної техніки.

Список використаних джерел

1. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник. Москва: АСADEMIA, 2006. 265 с.
2. Осипов О. И. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод: учебное пособие по курсу «Типовые решения и техника современного электропривода». Москва: Издательство МЭИ, 2004. 80 с.
3. Квітка С. О., Безменнікова Л. М., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Методи управління та апаратна реалізація сучасних перетворювачів частоти. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2013. Вип. 3, т. 2. С. 164-171.
4. Квітка С. О. Порівняльний аналіз схемних рішень побудови силової частини перетворювачів частоти. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В. В. Овчарова (м. Мелітополь, 15-29 квітня 2021 р.) / ТДАТУ, відп. за вип. С. О. Квітка, Д. М. Нестерчук. Мелітополь, 2021. С. 40-42.

УДК 664.7:633.15

ХАРАКТЕРИСТИКА І ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА КУКУРУДЗОБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Постнікова М. В., к.т.н.
Уколов К. С., магістрант
Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

marina.postnikova@tsatu.edu.ua
kirill58743@gmail.com

Актуальність та постановка проблеми. Досягнення найкращого використання енергії є технологічною проблемою, так як тільки шляхом впливу на технологічні параметри можна добитися найбільшого енергетичного ефекту [1]. А за допомогою показника енергоємності можна отримати інформацію про величину середніх витрат енергії на прийнятну одиницю продукції з ціллю порівняння його в різних виробничих і технологічних процесах. Тому питання аналізу енергоємності технологічних процесів на кукурудзобробних підприємствах є актуальною проблемою.

Основні матеріали дослідження. На основі аналізу показника енергоємності можна розробити енергетичну класифікацію технологічних процесів, яка представляє практичний інтерес при розробці і оцінці ефективності заходів з економії енергетичних ресурсів на кукурудзобробних підприємствах (рис. 1).

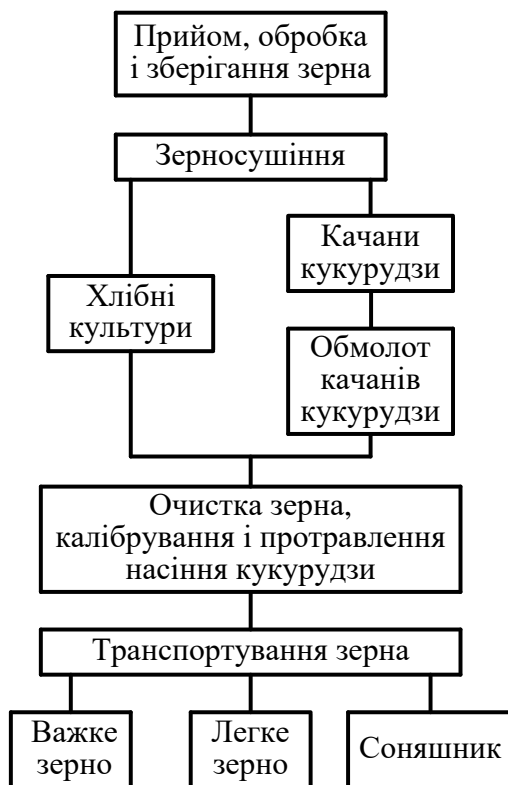


Рисунок 1. Енергетична класифікація на основі аналізу енергоємності

За технологічними ознаками виробничий процес на кукурудзобробних підприємствах слід розділити на транспортні операції, сушку, обмолот качанів, очищення, калібрування і протруювання насіння. Для дослідження і оцінки енергоємності процесів їх доцільно розділити на наступні операції [2].

1. Розвантаження автомобілів на автомобілерозвантажувачах.

2. Транспортування качанів з приймального бункера в бункер тимчасового зберігання.

3. Транспортування качанів з бункерів тимчасового зберігання в сушарку.

4. Сушка качанів.

5. Транспортування качанів з сушарки в цех обмолоту і обмолот качанів.

6. Транспортування зерна в надсепараторні бункера.

7. Сепарування зерна кукурудзи.

8. Транспортування в бункер над калібрувальними машинами.

9. Калібрування насіння.

10. Очищення фракцій насіння в трієрах.

11. Очищення насіння в пневмоаспіраторах.

12. Розвантаження кукурудзи в качанах на відкриті площадки.
13. Протруювання і зашивка насіння кукурудзи в мішки.
14. Транспортування мішків в склад.

На кукурудзообробних підприємствах технологічні операції за величиною енергоємності доцільно об'єднати в наступні групи: зерносушіння, обмолот качанів кукурудзи, очистка зерна, калібрування і протравлювання насіння кукурудзи, транспортування зерна [3].

За енергоємністю процес зерносушіння займає перше місце і оцінюється для різних культур середніми питомими витратами $W_{\text{сер}} = 3,80$ кВт·год/план.т, при сушінні качанів кукурудзи $W_{\text{сер}} = 31,2$ кВт·год/т.

Процес обмолоту качанів кукурудзи за величиною енергоємності стоїть на другому місці і оцінюється середніми питомими витратами енергії $W_{\text{сер}} = 2,11$ кВт·год/т.

Питомі витрати електроенергії, які характеризують енергоємність зерноочисних операцій, залежить від продуктивності машин. В діапазоні продуктивності 10-60 т/год в середньому вони складають для хлібоприймальних підприємств $W_{\text{сер}} = 0,772$ кВт·год/т.

Враховуючи, що на кукурудзообробних підприємствах продуктивність зерноочисних машин нижча 10 т/год, то енергоємність зерноочисних і калібрувальних операцій можна вважати приблизно однаковою з енергоємністю аналогічних операцій на хлібоприймальних підприємствах, тобто в середньому $W_{\text{сер}} = 0,772$ кВт·год/т.

Питомі витрати енергії, які характеризують транспортні операції за величиною їх енергоємності, займають останнє місце $W_{\text{сер}} = 0,34$ кВт·год/т. Транспортні операції за енергоємністю слід розділити на три групи (для важкого зерна, легкого зерна і соняшника) (рис. 1).

Висновок. Пошук оптимального значення енергоємності дозволить розробити науково-обґрунтовані норми технологічного процесу [4].

Список використаних джерел

1. Постнікова М. В. Енергозберігаючі режими роботи електромеханічних систем обробки зерна на зернопунктах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. Мелітополь, 2011. 22 с.
2. Ястребов П. П. Использование и нормирование электроэнергии в процессах переработки и хранения хлебных культур. Москва: Колос, 1973. 331 с.
3. Щербаков С. В., Постнікова М. В. Аналіз енергоємності технологічного процесу калібрування насіння кукурудзи. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*: матеріали I Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. пам'яті В. В. Овчарова (м. Мелітополь, 20 травня-04 червня 2020 р.) / ТДАТУ. Мелітополь, 2020. С. 66-67.
4. Постнікова М. В. Розробка науково-обґрунтованих норм енергоємності при обробці зерна на зернопунктах. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*. Сер. Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. Харків, 2008. № 30. С. 511-512.

УДК 631.371

РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ МАЛОГАБАРИТНИХ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Ковальов О. В., к.т.н.

Носань С. В., студент

Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

alekstdaty1979@gmail.com

serhii.nosan@gmail.com

Актуальність та постановка проблеми. Основними експлуатаційними показниками електромоблоків, електрокультиваторів, агромодулів та іншої малогабаритної ґрунтообробної техніки є сила тяги, потужність тягового електродвигуна, швидкість руху та повна маса агрегату. Зазвичай експлуатаційні показники визначаються на початковому етапі конструювання агрегату за результатами аналізу заданих технологічних циклів роботи і особливостей умов його експлуатації [1,2]. На сучасному етапі розвитку подібних ґрунтообробних машин з електроприводом, досвід проектування та їх експлуатації досить обмежений, тому достатньо актуальною проблемою є обґрунтований вибір тягового електродвигуна і пристрою керування ним [3,4].

Основні матеріали дослідження. Основне призначення тягового електродвигуна в приводі ґрунтообробної машини є забезпечення сумісно з пристроєм керування, заданої тягової характеристики мотоблока з високими енергетичними показниками і потрібною надійністю. Для практичної реалізації цих вимог в якості тягового двигуна ґрунтообробної машини з централізованим електропостачанням можуть бути використані як електродвигуни змінного струму, так і двигуни постійного струму з керованими вентильними перетворювачами. Однак використання для цих цілей електродвигунів постійного струму, і особливо двигунів послідовного збудження, має ряд суттєвих переваг:

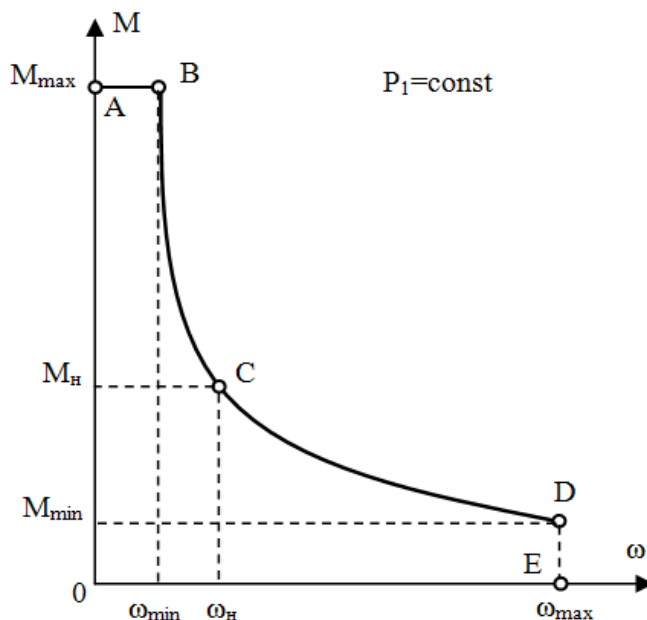


Рисунок 1. Механічна характеристика тягового електродвигуна приводу ґрунтообробної машини

- механічні характеристики двигунів послідовного збудження $M=f(\omega)$ (природна та штучні) при будь-якому способі регулювання швидкості наближені до гіперболи, тобто у цих двигунів при зміні моменту опору навантаження, кутова швидкість ω змінюється автоматично, забезпечуючи потужність $P_1=const$. (рис. 1).

- електродвигуни постійного струму, у відмінності від синхронних і асинхронних електродвигунів, забезпечують регулювання швидкості в широкому діапазоні як вниз від номінальної, так і вгору від номінальної шляхом ослаблення магнітного поля з використанням простих технічних засобів.

- за пусковими властивостями та перевантажувальній здатності двигуни постійного струму також

мають беззаперечну перевагу перед асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором.

В двигунах послідовного збудження електромагнітний момент M має квадратичну залежність від струму якоря I_a а значить і від струму навантаження I

$$M \sim I_a^2; \quad M \sim I^2, \text{ тобто } M \sim I_a^2; \quad I \sim \sqrt{M}. \quad (1)$$

Тому ці двигуни застосовують в приводах установок, де необхідні великі моменти при пуску і спостерігаються часті перевантаження по моменту. Згідно механічної характеристики (рис. 1) кутова швидкість двигуна $\omega \sim 1/\sqrt{M}$, внаслідок чого корисна потужність

$$P_2 = M\Omega = C\sqrt{M}, \quad (2)$$

де P_2 - корисна потужність на валу ДПС, Вт;

M - електромагнітний момент ДПС, Н.м;

Ω - кутова швидкість, рад/с.

При зміні навантажувального моменту в широких межах, потужність P_2 і струм I_a у двигуна послідовного збудження змінюється пропорційно \sqrt{M} . Це означає, що при одному і тому ж моменті навантаження на валу, двигуни послідовного збудження можуть мати меншу встановлену потужність у порівнянні з іншими електродвигунами.

Класичною формою тягової характеристики є характеристика з трьома ділянками: жорсткою, м'якою та ділянкою постійної потужності. Характеристика є так званою «тяговою областю», що обмежує можливі режими роботи електроприводу. Максимальне значення швидкості обмежують вимоги безпеки та технологічності роботи, а також обмеження по зчепленню з ґрунтом.

Висновок. Обґрунтовано тип тягового електродвигуна та запропоновано найбільш перспективний варіант побудови силового електроприводу малогабаритної ґрунтообробної машини з використанням системи імпульсно-фазового керування, яка забезпечує необхідне значення діапазону регулювання частоти обертання приводного електродвигуна та необхідну форму тягової характеристики.

Список використаних джерел

1. Ковальов О. В. Методика розрахунку та вибору тягового електродвигуна в приводі мотоблока. Вісник ДДАУ. 2010. Вип. 2. С 80-84.
2. Electric Drive of Small-Sized Soil-Cultivating Motoblock / O. Kovalov, I. Nazarenko, S. Kvitka et al. 2020 *IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*. 2020. P. 1-4. DOI: 10.1109/PAEP49887.2020.9240884.
3. Ковальов О. В., Назар'ян Г. Н., Куценко Ю. М. Аналітичне визначення оптимальних експлуатаційних показників електрифікованого ґрунтообробного мотоблоку. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. 2011. Вип. 116. С. 108-111.
4. Ковальов О. В. Тягові характеристики та керування мотоблоком з електроприводом по максимуму ККД. *Науковий вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут»*. 2008. № 30. С. 509-510.

УДК 62-83.004.18:621.52

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ

Постнікова М. В., к.т.н.

marina.postnikova@tsatu.edu.ua

Глазирін І. М., магістрант

glazirinivan@ukr.net

*Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь*

Актуальність та постановка проблеми. Раціональне використання електроенергії в сільському господарстві, яке оснащено енергоємним технологічним обладнанням, особливо актуально тепер, коли прийнята Національна енергетична програма України з енергозбереження [1].

Сучасні системи керування робочими машинами побудовані по принципу забезпечення номінального завантаження приводних електродвигунів, не виконують задачі аналізу витрат електроенергії і ефективності її використання, що не забезпечує мінімально можливі витрати електроенергії.

Основні матеріали дослідження. Європейські експерти вважають, що середній коефіцієнт використання двигунів (відношення середньої потужності за цикл до номінальної) становить 0,6.

Як показує досвід, у вітчизняних умовах цей коефіцієнт іноді суттєво нижчий. Нерідко частка енергетичних витрат за вироблену продукцію непомірно зростає, що робить виробництво нерентабельним.

У світовій практиці активно пропагується використання енергозберігаючих двигунів. Ідея дуже проста: асинхронний двигун проектується так, що закладають в нього на 25...30 % більше активних матеріалів (алюмінію, заліза, міді), при цьому на 30 % знижуються енерговтрати і зростає ККД - до 5 % у невеликих двигунах (одиниці кВт) та до 1 % у двигунах потужностями близько 70... 100 кВт [2].

Перехід від нерегульованого електроприводу до регульованого є генеральним напрямом енергозбереження, прийнятим у всьому світі і дає найбільший ефект як в економії електроенергії, так і в інших показниках технологічного процесу. Для цього до силового каналу включається додатковий елемент – перетворювач електричної енергії, який подає до асинхронного двигуна напругу з регульованими амплітудою і частотою (використання частотних перетворювачів). В результаті забезпечується подача кінцевому споживачеві необхідної (або оптимальної) потужності та виключаються великі втрати у засувці. Одна з величин - витрата води - змінюється некеровано, оскільки вона визначається відкритими в даний момент кранами, а друга задається насосом і, отже, може керуватися.

Основний недолік асинхронних електродвигунів - складність регулювання їх швидкості традиційними методами (змінюючи напругу живлення, введенням додаткових опорів у ланцюг обмоток). Управління асинхронним електродвигуном у частотному режимі донедавна було великою проблемою. Поява силових схем з IGBT-транзисторами, розробка високопродуктивних мікропроцесорних систем управління дозволила різним фірмам Європи, США та Японії створити сучасні перетворювачі частоти доступної вартості [2].

Так як частота обертання магнітного поля статора $n_s = 60f/p$, то регулювання частоти обертання асинхронного двигуна можна проводити змінюючи частоту живлення.

Принцип частотного методу регулювання швидкості асинхронного двигуна полягає в тому, що, змінюючи частоту напруги живлення, можна відповідно до виразу при незмінному числі пар полюсів p змінювати кутову швидкість по магнітного поля

статора.

Цей спосіб забезпечує плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні, а механічні характеристики мають високу жорсткість.

Для отримання високих енергетичних показників асинхронних двигунів (коефіцієнтів потужності, корисної дії, перевантажувальної здатності) необхідно одночасно з частотою змінювати і напругу, що підводиться. Закон зміни напруги залежить від характеру моменту навантаження M_c . При постійному навантаженні напруга на статорі повинна регулюватися пропорційно частоті.

Зі зменшенням частоти f критичний момент дещо зменшується в області малих частот обертання. Це пояснюється зростанням впливу активного опору статора обмотки при одночасному зниженні частоти і напруги.

Частотне регулювання швидкості асинхронного двигуна дозволяє змінювати частоту обертання в діапазоні (20 - 30): 1. Частотний спосіб є найбільш перспективним регулювання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Втрати потужності за такого регулювання невеликі, оскільки мінімальні втрати ковзання.

Суть цієї методики керування електродвигунами приводів полягає в наступному. Напруга від стандартної мережі змінного струму (переважно трифазної) подається не безпосередньо на електродвигун, а спочатку піддається обробці за допомогою особливого пристрою – перетворювача частоти. На виході перетворювача формується напруга живлення з необхідною в даний момент частотою і амплітудою. Вона подається на електродвигун і дозволяє гнучко і оперативно задавати режими його роботи, зокрема швидкість обертання валу і величину крутного моменту - іншими словами, швидкість і зусилля на робочій машині. Ці параметри визначаються ступенем навантаженості робочої машини та дозволяють регулювати споживання електроенергії. Частотне регулювання має цілу низку додаткових переваг. Крім того, використання частотних перетворювачів в електроприводах робочих машин має цілий ряд особливостей: керованість технологічного процесу, зменшення електроспоживання, плавний пуск та зупинка навантаженої робочої машини, оптимізація роботи робочої машини з кількома двигунами.

Застосування регульованого електроприводу забезпечує енергозбереження та дозволяє отримувати нові якості систем та об'єктів. Значна економія електроенергії забезпечується з допомогою регулювання будь-якого технологічного параметра. Якщо це транспортер чи конвеєр, можна регулювати швидкість його руху. Якщо це насос або вентилятор, можна підтримувати тиск або регулювати продуктивність. Якщо це верстат, можна плавно регулювати швидкість подачі чи головного руху.

Особливий економічний ефект використання перетворювачів частоти дає застосування частотного регулювання на об'єктах, які забезпечують транспортування рідин. Досі найпоширенішим способом регулювання продуктивності таких об'єктів є використання засувки або регулюючих клапанів, але сьогодні доступним стає частотне регулювання асинхронного двигуна, що приводить у рух, наприклад, робоче колесо насосного агрегату або вентилятора.

Перспективність частотного регулювання наочно видно з рис. 1 [3].

Таким чином, при дроселюванні потік речовини, що стримується засувкою або клапаном, не робить корисної роботи. Застосування регульованого електроприводу насоса або вентилятора дозволяє задати необхідний тиск або витрату, що забезпечить не тільки економію електроенергії, але й знизить втрати речовини, що транспортується.

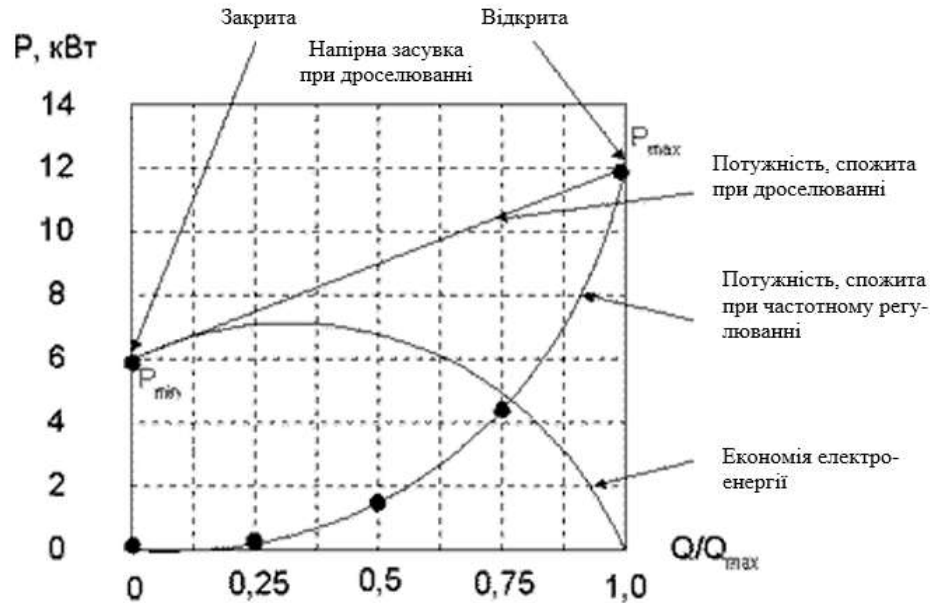


Рисунок 1. Частотне регулювання електродвигуна насосного агрегату

Висновок. 1. Система «електронний перетворювач частоти-асинхронний двигун з короткозамкненим ротором» стає головним, на найближчі роки, технічним рішенням масового регульованого електроприводу. Вона особливо приваблива на стадії модернізації, оскільки зберігається все існуюче обладнання, але між мережею і двигуном включається новий елемент - перетворювач частоти, що радикально змінює весь технічний та економічний вигляд системи.

2. Регулювання за допомогою зміни частоти є найбільш прийнятним варіантом для асинхронних двигунів, так як при ньому забезпечується регулювання швидкості в широкому діапазоні, без значних втрат і зниження перевантажувальних здібностей двигуна.

3. Одним з заходів щодо енергозбереження в електроприводі насосних агрегатів є розробка науково-обґрунтованих норм електроспоживання [4].

Список використаних джерел

1. Постнікова М. В. Енергозберігаючі режими роботи електромеханічних систем обробки зерна на зернопунктах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. Мелітополь, 2011. 22 с.

2. Основные принципы энергосбережения: веб-сайт. URL: <https://chastotnik.com.ua/s-osnovnie-printsipi-energoberezeniya> (дата звернення 10.11.2021).

3. Основные сведения о частотно-регулируемом электроприводе: веб-сайт. URL: <https://www.technowell.ru/info/articles/osnovnye-svedeniya-o-chastotno-reguliruemom-elektroprivoде/> (дата звернення 12.11.2021).

4. Постнікова М. В. Розробка науково-обґрунтованих норм енергоємності при обробці зерна на зернопунктах. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Сер. Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. Харків, 2008. № 30. С. 511-512.

УДК 621.313.33

СУЧАСНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Лакосіна А. О., студентка

lakosina4949@gmail.com

Широкова А. Г., інженер

anastasia.shyrokova@tsatu.edu.ua

*Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь*

Актуальність та постановка проблеми. У промисловості застосовують частотно-регульований електропривод на основі асинхронних короткозамкнених електродвигунів і напівпровідникових перетворювачів частоти [1,4]. Це найважливіший напрямок в області енергозберігаючих технологій. Актуальність використання частотно-регульованого приводу полягає у зниженні споживання електричної енергії, підвищенні ступеня автоматизації, збільшенні зручності експлуатації обладнання та якості протікання технологічних процесів. Вони використовуються в якості приводів допоміжних пристроїв, що обслуговують основне технологічне обладнання та виробничі процеси.

Основні матеріали дослідження. Частотно-регульований привод - це система управління частотою обертання ротора асинхронного електродвигуна, яка складається з електродвигуна і частотного перетворювача. Перетворювач частоти - пристрій, що складається з інвертора (перетворювача), що перетворює постійний струм на змінний, необхідної частоти та амплітуди і випрямляча (моста постійного струму), що перетворює змінний струм промислової частоти на постійний. Перетворювачі частоти застосовуються: у конвеєрних системах, різальних автоматах, автоматичних дверях, міському електротранспорті, в системах вентиляції, кондиціонування і водопостачання, бурових установках [3,4].

Перетворювачі частоти рекомендують використовувати спільно з додатковими пристроями, які залежно від їх призначення, встановлюються як у силові ланцюги перетворювача, так і в ланцюгу управління. До пристроїв, що встановлюються в силовий ланцюг, відносяться: реактори змінного і постійного струму, вхідні та вихідні фільтри, гальмівні резистори. Перетворювачі частоти мають ряд вбудованих захисних функцій для роботи з насосами - виявлення витоків, захист від сухого ходу та ін. Їх використання дозволяє домогтися збільшення надійності роботи всієї системи [3,4].

Впровадження частотно-регульованих перетворювачів на насосній станції дозволяє істотно знизити споживану електроприводом електроенергію, забезпечити плавний пуск, високу надійність роботи агрегатів, автоматизацію і диспетчерське управління, повний електричний захист електродвигуна і т. д. Частотно-регульований електропривод дозволяє оптимізувати характеристики трубопровідної мережі (тиск, витрату або температуру) у відповідності до вимог, економію тепла в системах гарячого водопостачання за рахунок зниження витрат і постійної циркуляції води, продовжити ресурс теплофікаційного та електротехнічного обладнання, зменшити витрати на ремонтні роботи.

У частотно-регульованого електроприводу є дві властивості, які визначають переваги його використання: можливість регулювання в широких межах швидкості двигуна і зниження пускового струму практично до номінального. Застосування регульованого електроприводу дозволяє отримати економію енергії від 35 до 65 %. Заощадження енергії відбувається шляхом усунення невиробничих витрат у засувках, дроселях та інших регулюючих пристроях. При заміні нерегульованого приводу, що працює в режимі періодичних пусків/зупинок, на регульований, виключаються витрати

на високі пускові струми за рахунок плавного пуску електродвигуна. Оберти електродвигуна можуть плавно змінюватися для забезпечення підтримки продуктивності агрегату, необхідного в даний момент.

Наступною відмінною рисою перетворювача частоти є розвинена система взаємодії з іншими пристроями автоматики і виконання великої кількості додаткових функцій. Крім функції регулювання більшість сучасних перетворювачів частоти забезпечують: комплексний електричний захист електродвигунів; управління роботою за сигналами від зовнішніх пристроїв автоматики; сигналізацію режимів роботи та виникнення аварій; передачу даних по цифровому інтерфейсу; управління роботою кількох двигунів. Головний недолік спеціалізованих частотних регульованих електроприводів полягає у тому, що вони не генерують сигнал аварії при аварійному відключенні електродвигунів і про виведення їх з автоматичного режиму [4].

Висновок: Використання частотного перетворювача дозволяє забезпечити подачу живлення з необхідними параметрами на приводні асинхронні двигуни робочого обладнання. В умовах ситуації енергодефіциту слід приділяти більшу увагу впровадженню частотно-регульованого асинхронного електроприводу для більшості виробничих процесів, які потребують регулювання швидкості приводних електродвигунів.

Список використаних джерел

1. Квітка С. О. Силові електронні пристрої в системах керування: навчальний посібник. Мелітополь: Люкс, 2021. 180 с.
2. Квітка С. О., Безменнікова Л. М., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Методи управління та апаратна реалізація сучасних перетворювачів частоти. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2013. Вип. 3, т. 2. С. 164-171.
3. Квітка С. О. Порівняльний аналіз схемних рішень побудови силової частини перетворювачів частоти. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В. В. Овчарова (м. Мелітополь, 15-29 квітня 2021 р.) / ТДАТУ, відп. за вип. С. О. Квітка, Д. М. Нестерчук. Мелітополь, 2021. С. 40-42.
4. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник. Москва: АСADEMIA, 2006. 265 с.

Секція 3. Електротехнології та електротехнологічні системи

УДК.631.3.02.-52.001.57

ЕЛЕКТРОАКУСТИЧНИЙ ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ВИТРАТИ КОМПОНЕНТІВ КОРМОВИХ СУМІШЕЙ

Квітка С. О., к.т.н.

sergei.kvitka1965@gmail.com

Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. На підставі проведеного аналізу [1-3] встановлено, що навіть незначне відхилення від рецепту того або іншого компонента істотно впливає на якість і собівартість комбікормів. Звідси витікає, що при приготуванні комбікормів точність дозування компонентів найбільш відповідальний процес. Нормоване введення компонентів кормових сумішей можна здійснити тільки в кормоцехах шляхом точного їх дозування. Процес приготування якісних кормових сумішей по суті є процесом точного дозування і змішування різних за своїми фізико-механічними властивостями компонентів, що входять до їх складу. Таким чином, очевидна необхідність точного дозування усіх компонентів, що входять в різні кормові суміші, і важливість цієї операції.

Основні матеріали дослідження. Для забезпечення надійної роботи електроакустичного пристрою контролю витрати компонентів кормових сумішей передбачаємо наступні технічні вимоги: частота зонduючого сигналу - 88,0 кГц; відхилення частоти зонduючого сигналу не повинно перевищувати $\pm 0,25\%$; електроакустичний пристрій у складі системи електроустаткування повинен забезпечити точність дозування компонентів не нижче $\pm 3\%$; приймально-випромінююча система повинна забезпечити сектор огляду простору в горизонтальній площині в межах кута $\pm 30^\circ$ (визначається розмірами випускного вікна дозатора і відповідно поперечними розмірами потоку контрольованого матеріалу); чутливість приймача зонduючого сигналу повинна бути не нижче 1500 мкВ/Па; передбачаємо зворотний зв'язок за каналом керування з приводом дозатора з плавним регулюванням.

До процесу безперервно-поточного дозування передбачаємо також наступні технологічні вимоги: забезпечення необхідної витрати за параметром - регулювання продуктивності; забезпечення величини витрати за параметром в межах допустимих відхилень при певній довільній зміні значення параметрів матеріалу - точність дозування; забезпечення постійності витрати за параметром - стабільність процесу дозування.

На підставі технічних і технологічних вимог, наведених вище, розроблена структурна схема електроакустичного пристрою контролю витрати компонентів кормових сумішей в технологічному потоці, яка представлена на рис. 1. Пристрій містить генератор синусоїдальних коливань 1, випромінювач зонduючого сигналу 2, приймач зонduючого сигналу 3, підсилювальний пристрій 4, блок фільтрації інформативного сигналу 5, демодулятор (детектор) 6, блок корекції температури і вологості 7, блок обчислень 8, аналого-цифровий перетворювач 9, блок індикації 10, часовий блок 11, порівнюючий пристрій 12, задавальний пристрій 13, блок вимірювання температури і вологості 14, блок керування електродвигуном 15, блок живлення 16.

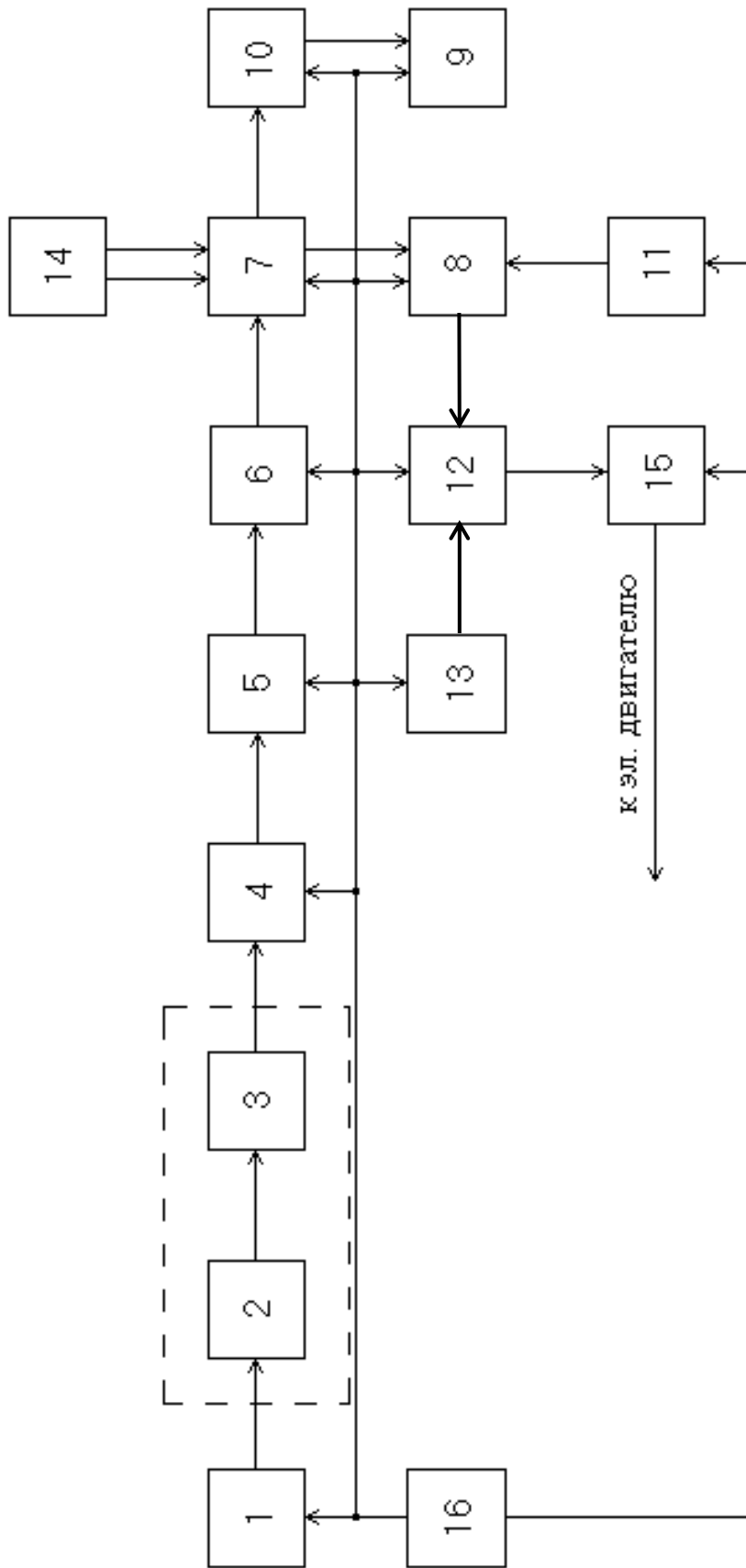


Рисунок 1. Структурна схема електроакустичного пристрою контролю витрати компонентів кормових сумішей

Пристрій працює таким чином: електричні коливання генератора синусоїдальних коливань 1 збуджують випромінювач 2. Пружні коливання, які їм випромінюються, при проходженні через потік контрольованого матеріалу зазнають амплітудне послаблення, пропорційне його кількості. Пружні коливання сприймаються приймачем 3, де перетворюються в електричний сигнал. Отриманий сигнал є джерелом інформації про миттєву витрату матеріалу в потоці. Він посилюється підсилювальним пристроєм 4, подається на блок фільтрації інформативного сигналу 5, де відбувається виділення корисної складової сигналу і поступає на демодулятор (детектор) 6. З останнього сигнал подається на блок корекції вологості і температури 7, туди також поступають сигнали, що несуть інформацію про температуру і вологість контрольованого матеріалу з блоку вимірювання 14.

Відкоригований з урахуванням вологості і температури інформативний сигнал далі подається на блок обчислень, де відбувається його усереднювання за період, що перевищує тривалість окремих флуктуацій витрати. Час, за який робиться усереднювання сигналу, задається часовим блоком 11. Потім сигнал одночасно поступає на аналого-цифровий перетворювач 9 і виводиться на індикаційний пристрій 10, де відображається інформація про витрату матеріалу, і подається на порівнюючий пристрій 12, де відбувається його порівняння із заданою величиною витрати. Задана величина витрати встановлюється задавальним пристроєм 13. Далі сигнал подається на вхід блоку керування 15 електродвигуном. Залежно від рівня вихідного сигналу електродвигун, змінюючи свої обороти, підтримує задану величину витрати матеріалу, що дозується. У схемі також передбачений блок живлення 16, який має на виході стабілізовану напругу +5 В, -5 В, +15 В, -15 В.

Висновок. Розроблений електроакустичний пристрій контролю витрати дозволяє за значеннями коефіцієнта поглинання пружних хвиль, з урахуванням поправки на температуру і вологість корму, що вводиться автоматично, поправки на вигляд і ступінь подрібнення дозованого матеріалу, визначати витрату компонентів кормових сумішей в безперервному потоці. Розроблений пристрій дозволяє отримувати на його виході кінцеву інформацію про поточне значення витрати у вигляді напруги $U_{КЕР} = 0...6$ В, що дає можливість використовувати пристрій у складі електрообладнання для системи дозування технологічних ліній приготування кормових сумішей.

Список використаних джерел

1. Кукта Г. М. Машины и оборудование для приготовления кормов. Москва: Агропромиздат, 1987. 303 с.
2. Квітка С. О., Нестерчук Д. М., Квітка О. С. Електроакустична система дозування компонентів кормових сумішей. *Галузеве машинобудування, автоматизація*. Кіровоград: КНТУ, 2016. Вип. 29. С. 33-39.
3. Квітка С. О. Дослідження впливу витрати та фізико-механічних властивостей матеріалу, що дозується, на вихідні характеристики електроакустичного пристрою контролю витрати матеріалів в потоці. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь, 2002. Вип. 6. С. 64-67.
4. Квітка С. О., Яковлев В. Ф., Нікітіна О. В. Електроніка та мікросхемотехніка: навчальний посібник / за ред. В. Ф. Яковлева. Київ: Аграрна освіта, 2010. 329 с.
5. Квітка С. О. Електроніка та мікросхемотехніка: підручник. Мелітополь: Люкс, 2019. 223 с.

УДК 681.2.08: 664.76

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ЗЕРНА

Чепіжний А. В., к.т.н.

Цирлін В. М., магістрант

vitaliktsirlin@gmail.com

Сумський національний аграрний університет, м. Суми

Актуальність та постановка проблеми. Серед різних показників якості зібраного зерна вологість одна із найважливіших. Причина полягає в тому, що вода впливає на інтенсивність життєдіяльності мікроорганізмів, тому цю характеристику визначають відразу ж під час приймання зернової маси.

Від рівня вологості залежить скільки у зерні міститься поживних речовин, а також наскільки воно підходить для переробки чи зберігання. Чим цей показник вищий, тим більше в ньому води та менше корисних компонентів і тим гірше воно зберігатиметься та перероблятиметься. Надмірна наявність вологи є каталізатором, що активує фізіологічні та фізико-хімічні процеси, такі як проростання, дихання, набухання, активізація ферментів, розщеплення біополімерів [1].

Якщо зерно прибрано з поля з підвищеною вологістю, мікроорганізми на його поверхні розвиваються прискореними темпами. У загальному обсязі такої зернової маси значно зростає кількість кліщів та різних шкідників із класу комах. Це теж негативно впливає на якість крупи та насіння, збільшує ймовірність їх псування при зберіганні.

Ще один важливий фактор полягає в тому, що у вологого зерна змінюються на гірший бік фізичні властивості. Знижується натура (тобто вага будь-якого обсягу, наприклад, 1 т зерна, на відміну від поширеного показника ваги 1000 шт зерен) та опір роздавлюванню, погіршується сипкість. Оболонки стають гладкими та еластичнішими. В результаті на механічне дроблення доводиться витратити більше енергії, ніж для сухого матеріалу. Буває і так, що переробка виявляється просто неможливою [2].

У період збирання різних зернових культур, вологість урожаю коливається у значному діапазоні – від 10% до 30% і більше. З зазначених вище причин визначення даного параметра є важливим етапом виробничого процесу. Залежно від його результатів приймається рішення про необхідність підвищення якості за допомогою сушіння.

На даний момент ринок приладобудування пропонує десятки вимірювальних приладів та методів реалізації виміру вологості зерна. Але всі вони мають ряд недоліків серед яких: значні габарити, відсутність мобільності, значна вартість, тривалість вимірювального процесу. Отже, розробка та створення вологомірів з більш практичними характеристиками є досить актуальною проблемою.

Основні матеріали дослідження. Усі методи визначення вологості зерна можна розділити на три групи [3]:

- вимірювання зміни маси;
- вимірювання зміни електричних параметрів;
- поглинання різних видів енергії.

Метод вимірювання зміни маси при висушуванні найпоширеніший на підприємствах нашої країни завдяки високій точності та простоті апаратурного виконання. Заснований на тому, що зразок продукту, заздалегідь зважений з максимальною точністю, висушують у спеціальній сушильній шафі або спеціальному пристрої до настання рівноваги з навколишнім середовищем (тобто коли подальше сушіння не призводить до зміни маси). Далі вологість визначають порівнянням маси до сушіння з масою продукту згідно з формулою [4]:

$$\omega = \frac{M_1 - M_0}{M_1}, \quad (1)$$

де M_1 – маса вологого зерна, кг;

M_0 – маса абсолютно сухого продукту, кг.

Основним недоліком даного методу є значна тривалість процесу визначення вологості.

Метод вимірювання зміни електричних параметрів буває двох типів: кондуктометричний та діелькометричний.

Кондуктометричний заснований на залежності між вологістю речовини та її електричним опором, що у загальному випадку виражається за формулою [5].

$$R_x = \frac{A}{\omega^k}, \quad (2)$$

де A , x – позитивні величини, що залежать від природи аналізованого матеріалу та умов вимірювання.

Таким вологомірам властива значна залежність показань від температури.

Вологість зерна в цих вологомірах найчастіше визначається за спеціальними приводними таблицями, де на підставі показання вимірювального приладу визначається відповідне значення вологості з урахуванням температурного виправлення.

Діелькометричний метод будується на залежності діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат від вологості матеріалу [6]. Так, як первинний вимірювальний перетворювач використовуються плоскі або циліндричні конденсатори.

Оскільки відносна діелектрична проникність води дорівнює 81, а для більшості сухих речовин (у тому числі й зерна) вона лежить у межах від 2 до 10, то навіть незначна зміна вологості продукту викликає зміну діелектричної проникності. В результаті змінюється ємність конденсатора.

У вологомірах, заснованих на вимірюванні поглинання електромагнітної або акустичної енергії, досліджувану речовину поміщають між джерелом коливань (магнітних або акустичних) – випромінювачем та приймачем, а вимірювальна установка реєструє зміну рівня енергії, викликану проходженням випромінювання через речовину. В акустичних апаратах джерело коливань – акустичний випромінювач, приймач – акустичний перетворювач. До того ж класу відносять радіоактивний метод ослаблення бета- та гамма-випромінювання, а також нейтронний метод. Останній, найпоширеніший, будується на використанні властивостей ядер водню значно уповільнювати швидкі нейтрони, перетворюючи їх на теплові. Таким чином, вимір вологості зводиться до вимірювання числа теплових нейтронів.

Порівняно недавно був відкритий і абсолютно новий метод – оптичний. Полягає він в аналізі спектра відбитого від поверхні зерен видимого випромінювання, а також ближнього і середнього інфрачервоного діапазону спектра. Вода має характерні вікна поглинання. Порівнюючи коефіцієнти поглинання проби сухого зерна (еталона) та проби, представленою для аналізу, можна визначити вологість.

Серед усіх перерахованих вище методів на нашу думку найбільш оптимальним є діелькометричний, так як засновані на ньому ємнісні датчики, мають ряд переваг у порівнянні з іншими. До їх переваг відносяться:

- мале споживання енергії;
- простота виготовлення;
- використання дешевих матеріалів;

- відсутність контактів (у деяких окремих випадках - один струмознімання за допомогою кільця та щітки);
- висока точність та стабільність роботи систем з ємнісними датчиками;
- можливість широкого регулювання приладів із деякими типами ємнісних датчиків.

До недоліків ємнісних вологомірів можна віднести високий внутрішній опір, що досягає десятків і навіть сотень МОм, високі вимоги до опору ізолюючих кріпильних деталей та необхідність роботи на підвищеній (порівняно з 50 Гц) частоті. Але зміна ємності вимірювального перетворювача відбувається також в результаті впливу щільності укладання матеріалу, його температури, електропровідності, зміни складу тощо. Тому при конструюванні ємнісних вологомірів вживають спеціальних заходів щодо компенсації цих впливів на точність вимірювання.

Висновок. Для вирішення завдань оптимального проектування вологомірів необхідно розробити методику оцінки якості. В основу оцінки повинен бути покладений комплексний критерій ефективності, що включає домінуючі одиничні показники: точність, надійність і вартість.

Список використаних джерел

1. Вобликов Е. М., Буханцов В. А., Маратов Б. К., Прокопец А. С. Послеуборочная обработка и хранение зерна. Ростов на Дону: МарТ, 2001. 240 с.
2. Ефремова Е. Н., Карпачева Е. А. Хранение и переработка продукции растениеводства: учебное пособие. Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2015. 148 с.
3. Савосин С. И., Солдатов В. В. Выбор методов для втоматизированного контроля влажности сельскохозяйственных объектов. *Вестник РГАЗУ*. 2014. С. 15–16.
4. ГОСТ 13586.5-93. Зерно. Метод определения влажности. [Дата введения 1995-01-01]. Минск: Издательство стандартов, 1994. 8 с.
5. А. с. 1260303 СССР. Устройство для измерения влажности сыпучих материалов / С. С. Галушкин, А. Ф. Авдеева, Е. С. Кричевский, А. Н. Чабан. Опубл. 30.09.86. Бюл. № 36.
6. Галушкин С. С. Диэлькометрический измеритель влажности сыпучих сред. *Записки горного института СПГУ*. 2008. Т. 178. С. 130–134.

УДК 697.34

ШЛЯХИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Постол Ю. О., к.т.н.

yuliapostol111@gmail.com

Стручаєв М. І., к.т.н.

mykola.struchaiev@tsatu.edu.ua

Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. З метою часткової декарбонізації при генерації теплової енергії можна застосовувати компенсацію частини споживаних енергоресурсів за рахунок використання відновлюваних джерел енергії та застосування теплових насосів. [1,2,3,4,6].

Основні матеріали дослідження. Переваги теплопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії, в порівнянні з традиційними аналогами, пов'язані не тільки зі значними скороченнями витрат енергії в системах життєзабезпечення, а й з їх екологічною чистотою, а також з новими можливостями для підвищення ступеня автономності роботи цих систем [1,2,3,4].

На півдні зимою буває температура близькою до + 8 °С, коли недоцільно подавати мережеву 70...90 °С. Можна подавати воду нагріту до 40...50 °С, що викликає зменшення перепаду температур між зовнішнім середовищем та теплоносієм і приводить до економії пального та зменшення викидів CO₂.

Нами отримано патенти на використання теплонасосних установок для підвищення температури теплоносія безпосередньо у споживачів за рахунок нагріву в конденсаторі теплового насоса [5,6]. Ця технологія може доповнювати існуюче централізоване теплопостачання та покращувати комфортні умови для споживача.

Щоб визначити оптимальне зниження втрати теплоти на одиницю довжини мережевого трубопроводу визначимо коефіцієнт теплопередачі:

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}). \quad (1)$$

Тоді втрати теплоти на одиницю довжини мережевого трубопроводу будуть:

$$q_l = k_l \cdot \pi (t_{cm1} - t_{cm2}), \text{ Вт}/\text{м}. \quad (2)$$

Проаналізуємо втрати теплоти мережевого трубопроводу для умов коли: внутрішній діаметр теплотраси $d_1 = 0,150$ мм, зовнішній $d_2 = 0,162$ мм, зовнішній діаметр теплоізоляції $d_3 = 0,362$ мм, температура води в трубі t_{c1} від 90 до 30 °С, при температурі навколишнього повітря $t_{c2} = 7$ °С, коефіцієнт тепловіддачі від води до стінки $\alpha_1 = 1200$ Вт/(м² К), коефіцієнт тепловіддачі стінка - повітря $\alpha_2 = 10$ Вт/(м² К).

Графічна залежність показує, що найвигідніше транспортування в цих умовах буде при температурі близько 40 °С з подальшим підігрівом у тепловому насосі.

Практика показує, що в таких умовах цілком комфортно в оселях буде при підігріві води у споживача до 43...45 °С, на відміну від більш високої температури, коли вимушені відкривати вікна взимку.

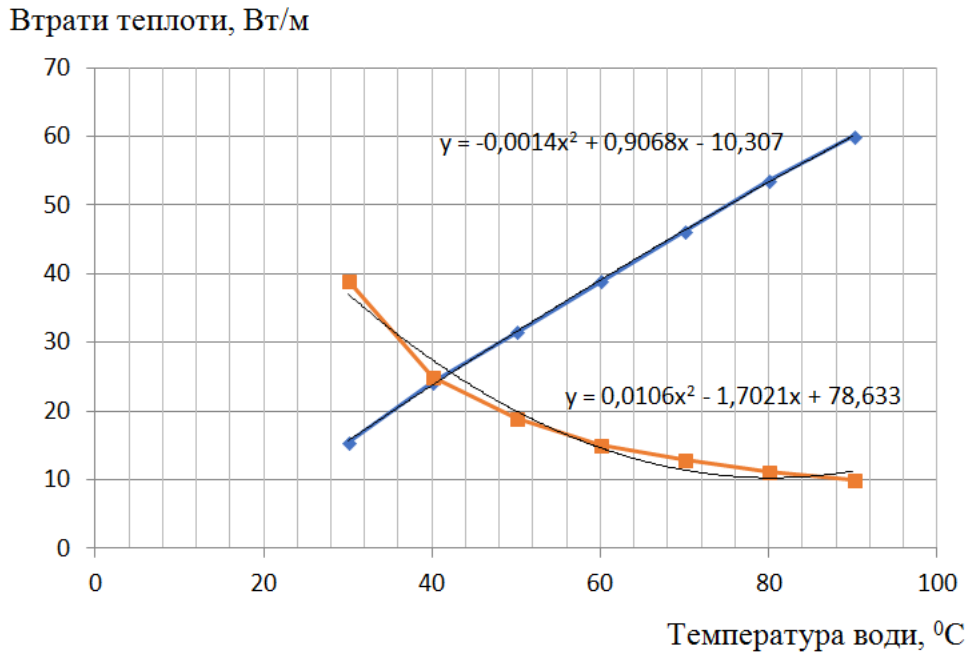


Рисунок 1. Залежність втрати теплоти на одиницю довжини мережевого трубопроводу від температури теплоносія

Висновки. Використовуючи воду в системі опалення в якості низькопотенційного джерела, можна забезпечувати теплопостачання від централізованого джерела теплоти при незначних витратах пального, що сприяє частковій декарбонізації при генерації теплової енергії. Це відбувається за рахунок зниження температури теплоносія в теплових мережах, зменшення втрати палива та втрат в оточуюче середовище.

Список використаних джерел

1. Щербаков С. В., Стручаєв М. І., Постол Ю. О. Енергоефективність в системах теплопостачання. *Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії: матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конференції*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 6-8.
2. Постол Ю. О., Стручаєв М. І. Підвищення енергоефективності та енергозбереження використання низькопотенційних джерел енергії в органічному циклі Ренкіна. *Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії: матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конференції*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 74-77.
3. Дідур В. А., Стручаєв М. І. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві: навч. посібник / за ред. В. А. Дідюра. Київ: Аграрна освіта, 2008. 233 с.
4. Стручаєв М. І., Постол Ю. О. Аналіз термодинамічних процесів у потоці повітря. *Вісник ХНТУСГ*. Харків, 2017. Вип. 187. С. 28-29.
5. Каскадний опалювальний пристрій: пат. 134287 Україна: МПК (2006): F01K 17/02 (2006.01), E03B 7/00 / М. І. Стручаєв, В. О. Петров, Ю. О. Постол; № у 2018 12285; заявл. 11.12.2018; опубл. 10.05.2019. Бюл. № 9/2019.
6. Мультиплотрубний опалювальний пристрій: пат. 134180 Україна: МПК (2006): F24H 4/00 / М. І. Стручаєв, К. О. Самойчук, Н. О. Паляничка, Ю. О. Постол; № у 2018 10945; заявл. 06.11.2018; опубл. 10.05.2019. Бюл. № 9/2019.

УДК 621.313.333.2

АЛГОРИТМ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ОРІЄНТУВАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ СОНЯЧНИХ ІНСОЛЯЦІЙ

Миронець С. Д., викладач вищої категорії, методист mironetsSD@gmail.com
*Відокремлений структурний підрозділ «Мелітопольський фаховий коледж
Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра
Моторного», м. Мелітополь*

Ковальов О. В., к.т.н. alekstdaty1979@gmail.com
*Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь*

Актуальність та постановка проблеми. Переважна більшість встановлених на сьогоднішній день сонячних електростанцій – це стаціонарні системи, які встановлені на спеціальних підставках або на даху будівлі. Така система не передбачає регулювання положення сонячних панелей по відношенню до сонця. Сонце змінює своє положення в небі протягом доби і у залежності від пори року. Відповідно протягом світлового дня потужність стаціонарної сонячної системи буде змінюватися і буде залежати від кута сонячних інсталяцій на панелі.

Збільшення середньої добової потужності сонячної електростанції на сьогоднішній день в основному досягають встановленням додаткових панелей, що мають відмінну від основної системи орієнтацію у просторі (схід, південний схід, південний захід, захід). У даній варіації системи використання частини сонячних панелей буде протягом доби не ефективним.

Основні матеріали дослідження. Автоматичне регулювання положення сонячних панелей по відношенню до сонця дозволить значно підвищити ефективність їх використання. Але є певні труднощі з організацією роботи такої системи регулювання у автоматичному режимі.

Для створення алгоритму автоматичного регулювання положення сонячних панелей необхідно визначити усі особливості роботи сонячної електростанції на протязі доби і року.

Позначимо всі фактори, що будуть впливати на параметри системи автоматичного регулювання:

- Сонце змінює своє положення у небі протягом доби;
- Сонце змінює своє положення у небі у залежності від пори року;
- Сонце змінює кількість інсталяцій на панелі залежно від наявності хмар.

Протягом доби змінення положення Сонця у небі буде змінювати сонячні інсталяції на панелі і відповідно впливати на потужність сонячної станції. Цей фактор вимагає зміни кута повороту панелей навколо осі по відношенню до сонця протягом доби.

Окрім цього слід враховувати що протягом світлового дня Сонце рухається не лінійно, а також значення сонячної радіації протягом дня теж не однакове [1]. Цей фактор вимагає не лише зміни кута повороту панелей навколо осі по відношенню до сонця, а і зміни кута повороту панелей по вертикалі протягом доби.

Протягом року Сонце змінює кут сонячних інсталяцій по відношенню до сонячних панелей, що теж суттєво впливає на потужність сонячної станції. Цей фактор вимагає корегування кута нахилу панелей по відношенню до сонця протягом року. Влітку оптимальний кут нахилу складе 30-40 градусів, а взимку - більше 70, і ще його значення буде залежати від широти місцевості [2].

Протягом короткого часу кількість сонячних інсталяцій на панелі може суттєво змінюватись у залежності від наявності хмар на небі і швидкості їх руху. Цей фактор вимагає певних вимог до чутливості елементів системи автоматичного регулювання положення і до швидкості відгуку цих елементів у системі.

Алгоритм регулювання електроприводу орієнтування сонячних панелей для отримання оптимальних сонячних інсоляцій повинен враховувати усі перелічені фактори. Алгоритм регулювання буде мати вигляд приведений на рис. 1.



Рисунок 1. Алгоритм регулювання електроприводу орієнтування сонячних панелей

Важливими факторами роботи такої системи будуть такі параметри як чутливість до зміни контрольованого параметру і час відклику. Їх правильне налаштування дозволить уникнути проблеми розбалансування системи.

Висновок. Теоретичне обґрунтування застосування такої системи не несе великої точності і потребує експериментального дослідження, яке дозволить отримати більш точні результати і викрити приховані фактори при роботі реальної системи.

Список використаних джерел

1. Скільки енергії генерують сонячні батареї? URL: <https://ukrinnoteh.com.ua/ua/a181223-skolko-energii-generiruyut.html> (дата звернення: 13.10.2021).
2. Определяем оптимальный угол наклона солнечных батарей. URL: https://avtonom.com.ua/stati/towari_alternativnoy_energetiki/solnechnie_batarei/opredeljaem-optimalnyj-ugol-naklona-solnechnyh-batarej (дата звернення: 13.10.2021).
3. Угол наклона и направление солнечных батарей. URL: <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/techtilt.htm> (дата звернення: 14.10.2021).

УДК 621.182

ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ CO₂ ВОДОГРІЙНИМИ КОТЛАМИ

Стручаєв М. І., к.т.н.

mykola.struchaiev@tsatu.edu.ua

Постол Ю. О., к.т.н.

yuliapostol111@gmail.com

Глазирін І. М., магістрант

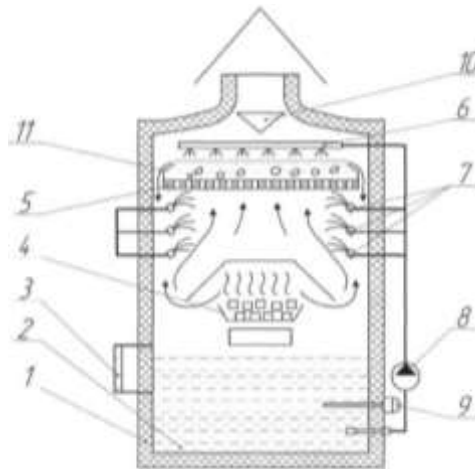
glazirinivan@ukr.net

Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. Останнім часом набувають популярності технології зменшення викидів CO₂. Перехід на відновлювані види палива такі, як: солома, лузга, брикети, пілети тільки математично підтримує нульовий баланс викидів CO₂. Насправді викидів від спалювання цих «екологічно чистих» видів значно більше, ніж при спалюванні природного газу. Найбільш часто, використовують фільтри різних типів [1,2,3,4]. Кожен з них має певні переваги та недоліки.

В даній роботі поставлена задача удосконалення водогрійного конденсаційного котла для спалювання лузги шляхом введення в систему нових конструктивних елементів, які дозволяють знизити обсяг шкідливих викидів в атмосферу підвищити коефіцієнт корисної дії, зменшити теплову інерційність, усунути нерівномірність нагрівання системи.

Основні матеріали дослідження. Нами отримано патент на конденсаційний котел для спалювання лузги [5], який дозволяє за рахунок конденсації водяної пари та пропуску димових газів через переливну решітку з постійним рівнем води видаляти з димових газів CO₂ золу та інші шкідливі домішки та підвищити К.К.Д. котла (рис.1).



- 1 - теплоізолювана ємність, 2 - накопичувач гарячої води, 3 - рівнемір,
4 - топковий пристрій, 5 - переливна решітка з постійним рівнем води
для конденсації водяної пари, очищення димових газів та утилізації теплоти,
6 - зрошувач, 7 - розпилювальні форсунки, 8 - циркуляційний насос, 9- термометр,
10 - патрубок випуску димових газів з відбивним конусом, 11 - водяна завіса

Рисунок 1. Схема конденсаційного котла для спалювання лузги:

Котел працює таким чином. При включенні лузга потрапляє в топковий пристрій, туди ж подається повітря і починається горіння лузги з перетворенням хімічної енергії горіння в теплову енергію, яка передається теплоносію і далі споживачам. Конденсат нагрівається за рахунок утилізації частини теплової енергії димових газів. Димові газу, які утворюються при спалюванні лузги і містять значний обсяг шкідливих викидів CO₂

в атмосферу, подають для очищення під переливну решітку. Вони проходять через отвори в решітці і, барботуючи крізь шар води, очищуються за рахунок осадження твердих частинок на поверхні газових бульбашок. Зрошувач постійно розпилює воду з верхньої частини накопичувача - відстійника, за допомогою насоса зрошувача, над переливною решіткою, утворюючи на ній шар води, повертаючи краплі води та конденсуючи водяну пару, яка утворюється під час горіння палива, утилізуючи таким чином частину теплової енергії димових газів та конденсації водяної пари. В нижній частині накопичувача - відстійника накопичується шлам, який періодично зливається через штуцер для зливу шламу. Також ефективні при декарбонізації викидів наші розробки: каскадний опалювальний пристрій [6] та мультитеплотрубний опалювальний пристрій [7].

Висновки. Введення в систему переливної решітки з постійним рівнем води для конденсації водяної пари, очищення димових газів та утилізації теплоти, а також зрошувача і розпилювальних форсунок, накопичувача - відстійника, штуцера для зливу шламу, дозволяє знизити обсяг викидів в атмосферу CO₂ та інших шкідливих компонентів, які утворюються при спалюванні лузги, а економайзер - завдяки попередньому нагріванню живильної води за рахунок утилізації частини теплової енергії димових газів та утилізації теплової енергії конденсації водяної пари, яка утворюється під час горіння палива, дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії. Це сприяє частковій декарбонізації при генерації теплової енергії.

Список використаних джерел

1. Щербаков С. В., Стручаєв М. І., Постол Ю. О. Енергоефективність в системах теплопостачання. *Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії: матеріали II Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 6-8.
2. Постол Ю. О., Стручаєв М. І. Підвищення енергоефективності та енергозбереження використання низькопотенційних джерел енергії в органічному циклу Ренкіна. *Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії: матеріали II Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 74-77.
3. Дідур В. А., Стручаєв М. І. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві: навч. посібник / за ред. В. А. Дідюра. Київ: Аграрна освіта, 2008. 233 с.
4. Стручаєв М. І., Постол Ю. О. Аналіз термодинамічних процесів у потоці повітря. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. Харків, 2017. Вип. 187. С. 28-29.
5. Конденсаційний котел для спалювання лузги: пат. 131219 Україна: МПК (2006): F23G 7/00 / М. І. Стручаєв, І. В. Борохов, Ю. О. Постол; № у 2018 07063; заявл. 23.06.2018; опубл. 10.01.2019. Бюл. № 1.
6. Каскадний опалювальний пристрій: пат. 134287 Україна: МПК (2006): F01K 17/02 (2006.01), E03B 7/00 / М. І. Стручаєв, В. О. Петров, Ю. О. Постол. № у 2018 12285; заявл. 11.12.2018; опубл. 10.05.2019. Бюл. № 9.
7. Мультитеплотрубний опалювальний пристрій: пат. 134180 Україна: МПК (2006): F24H 4/00 / М. І. Стручаєв, К. О. Самойчук, Н. О. Паляничка, Ю. О. Постол. № у 2018 10945; заявл. 06.11.2018; опубл. 10.05.2019. Бюл. № 9.

УДК 664.854+621.365.3

ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ НАГРІВАННЯ ВИСУШУВАНОЇ СИРОВИНИ ПРЯМИМ ЕЛЕКТРОНАГРІВОМ

Савойський О. Ю., інженер

o.savoiskyi@gmail.com

Сумський національний аграрний університет, м. Суми

Актуальність та постановка проблеми. Сушильні установки розрізняються між собою способами підведення теплоти до об'єктів зневоднення: конвективним, кондуктивним, за допомогою інфрачервоних променів, струмами високої, надвисокої частоти та ультразвуком [1–4]. Більш інноваційним способом сушіння плодоовочевої продукції є сублимаційний метод [5]. Всі перераховані способи сушіння базуються на використанні чистого виду енергії – електричної.

Основним підходом до вирішення проблеми підвищення коефіцієнту використання високопотенціальної електроенергії та економічності виробництва є інтенсифікація процесу сушіння. Найбільший ефект досягається при використанні комбінованих способів сушіння.

Основні матеріали дослідження. В запропонованому [6] способі сушіння прискорення процесу видалення вологи полягає у введенні необхідної кількості електричної енергії, для наступного перетворення в теплову, по всьому об'єму вологого тіла із мінімальною кількістю перетворень. Бажаний результат досягається використанням прямого електричного нагріву в процесі конвективного сушіння високовологої сировини.

Отримання готової продукції високої якості з максимальним збереженням корисних вітамінів та мінералів визначається тривалістю прямого електронагріву та температурою сировини в процесі сушіння.

Схема підводу теплової енергії до висушуваного об'єкту при прямому електричному нагріві за температури навколишнього середовища (коли температура тіла вище температури повітря) показана на рис. 1 [7].

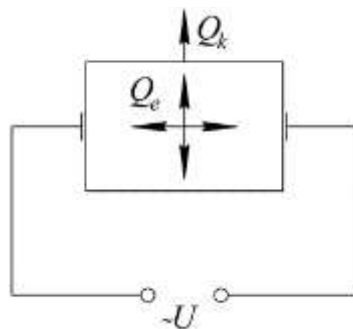


Рис. 1. Схема подачі енергії до висушуваного об'єкту:
 Q_k – втрати тепла з поверхні тіла за рахунок конвективної тепловіддачі;
 Q_e – тепловий потік від прямого електричного нагріву

Якщо через об'єкт, температура якого дорівнює температурі навколишнього середовища, проходить електричний струм, то температура тіла T_e поступово підвищується, оскільки вся енергія втрат при проходженні струму переходить в тепло Q_e . Частина виділеного тепла витрачається на нагрів тіла та підвищення його температури, а інша частина Q_k віддається з поверхні тіла в навколишнє середовище за рахунок тепловіддачі.

Кількість теплової енергії, що необхідна для нагріву тіла до рівноважної температури:

$$Q_s = C_s m (T_2 - T_1), \quad (1)$$

де Q_s – кількість теплової енергії, що необхідна для нагріву тіла, Дж;

C_s – теплоємність зразка, Дж/кг·°С;

m – маса зразка, кг;

T_1, T_2 – відповідно початкова та кінцева температура тіла, °С.

Рівняння теплового балансу при прямому електричному нагріві:

$$dQ_e = dQ_s + dQ_k, \quad (2)$$

де Q_e – тепла енергія, що виділяється в об'єкті при проходженні через нього електричного струму, Дж;

Q_k – тепла енергія, що втрачається з поверхні тіла за рахунок конвективної тепловіддачі, Дж.

Кількість тепла, що виділяється при проходженні електричного струму за проміжок часу

$$dQ_e = \frac{U^2}{R} d\tau_e, \quad (3)$$

де U – напруга прямого електронагріву, В

R – активний електричний опір зразка, Ом;

τ_e – тривалість прямого електричного нагріву, с.

Енергія, що втрачається з поверхні тіла за рахунок конвективної тепловіддачі:

$$dQ_k = \alpha F (T - \theta_0) d\tau_e, \quad (4)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·°С);

F – площа поверхні теплообміну тіла, м²;

T – поточна температура тіла,

θ_0 – температура повітря навколишнього середовища, °С.

Прийнявши $\theta_0 = T_1$, із врахуванням (1), (3) та (4) рівняння теплового балансу (2) при прямому електронагріві матиме вигляд:

$$\frac{U^2}{R} d\tau_e = C_s m \cdot d(T - T_1) + \alpha F (T - T_1) d\tau_e. \quad (5)$$

Розв'язавши рівняння (5) відносно τ_e маємо вираз для визначення тривалості нагріву тіла до кінцевої температури T_2 при прямому електронагріві:

$$\tau_e = \frac{C_s m \cdot \ln \left(1 - \frac{(T_2 - T_1) \alpha F R}{U^2} \right)}{\alpha F}. \quad (6)$$

Ефективність процесу нагрівання прямим електронагрівом визначається коефіцієнтом корисної дії:

$$\eta_e = \frac{Q_s}{Q_e}. \quad (7)$$

Висновок. Отримані в роботі рівняння можуть стати складовою частиною повного математичного опису комбінованого процесу сушіння сировини, що дає можливість визначати технологічні та енергетичні показники роботи сушильного апарату.

Список використаних джерел

1. Sabarez H. Advanced Drying Technologies of Relevance in the Food Industry. *Innovative Food Processing Technologies*. 2021. P. 64-81. DOI: 10.1016/b978-0-08-100596-5.23042-4.
2. Benmeziane F. Drying of Fruits: A Mini-Review. *Novel Techniques in Nutrition & Food Science*. 2019. Vol. 3, № 5. DOI: 10.31031/ntnf.2019.03.000572.
3. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review / M. C. Karam et al. *Journal of Food Engineering*. 2016. Vol. 188. P. 32-49. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.05.001.
4. Хмелев В. Н., Шалунов А. В., Нестеров В. А., Неверов А. В. Исследования процесса ультразвуковой сушки. *Южно-сибирский научный вестник*. 2020. № 1 (29). С. 69-75. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42555024> (дата звернення: 02.10.2021).
5. Семенов Г. В., Булкин М. С., Кузенков А. В. Современные направления научных исследований и технические решения по интенсификации процесса сублимационной сушки в пищевой промышленности, фармпроизводствах и прикладной биотехнологии Ч. 1. *Научный журнал Национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств*. 2015. № 1. С. 187-202. URL: <http://processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/11539.pdf> (дата звернення: 02.10.2021).
6. Спосіб комбінованого сушіння біологічних об'єктів: пат. 127324 Україна: МПК F26B 7/00, F26B 5/02 (2006.01) / В. Ф. Яковлев, О. Ю. Савойський, В. Ф. Сіренко. № u 201802036; заявл. 27.02.2018; опубл. 25.07.2018, Бюл. № 14.
7. Savoiskyi O., Yakovliev V., Sirenko V. Comparative analysis of methods supplies thermal energy in high-water biological objects during drying. *ScienceRise*. 2021. Vol. 1. P. 3-10. DOI: 10.21303/2313-8416.2021.001667.

УДК 621.3.082.64

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В СИСТЕМАХ ЖИВЛЕННЯ РЕЗ

Курашкін С. Ф., к.т.н.

serge.kuras@gmail.com

Іванова Д. В., магістрант

malt96matt@gmail.com

Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. На сьогоднішній день великий інтерес викликає розвиток технологій бездротових систем [1] та потреба у нових ефективних способах електричного живлення малопотужних радіоелектронних засобів (РЕЗ). Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є застосування енергії електромагнітного випромінювання джерел радіочастотної енергії у навколишньому середовищі – альтернативного живлення малопотужних електронних схем [2]. Це дозволить застосовувати джерела енергії там, де взагалі відсутня електрична мережа.

Основні матеріали дослідження. Отримання електричної енергії у відсутності традиційних джерел електропостачання можливо різними способами – фотоелектричним, термоелектричним, механічним тощо. Одним з подібних способів є використання енергії електромагнітного випромінювання. в основі методу лежить явище електромагнітної індукції (ЕМІ). Отримують електричну енергію з навколишнього середовища за допомогою антени, в якій наводяться е.р.с. від електромагнітних коливань, що випромінюються різними джерелами – радіостанціями, базовими станціями мобільних операторів, потужними електроприймачами тощо. Таку антену в системі живлення РЕЗ, що працює в широкому спектрі електромагнітного випромінювання називають ректеною (від англ. **rectifying antenna**) [3].

Ректена являє собою пристрій, призначений для перетворення радіочастотної енергії в частотній смузі від 3 кГц до 300 ГГц в енергію постійного струму з необхідними параметрами (напруга, струм, потужність). Найпростіша ректена являє собою один елемент – дипольну антену з високочастотним діодом, який випрямляє змінний струм, наведений мікрохвилями в антені та живить навантаження (рис. 1). Звісно потужність такого джерела енергії буде незначна через малу е.р.с., що наводиться в диполі. Для збільшення поглинаючої потужності застосовують багатoelementні ректени.

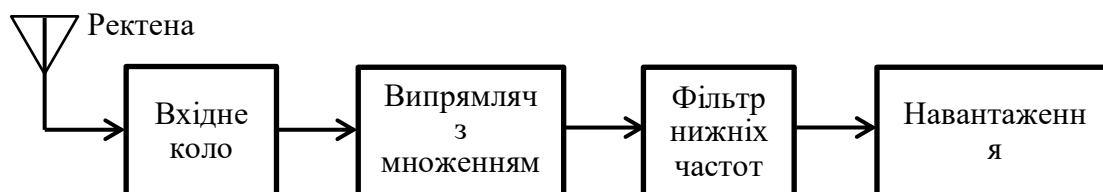


Рисунок 1. Блок-схема джерела живлення за допомогою ректени

Ефективність перетворення електромагнітного випромінювання визначається рівнянням:

$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{RF}}, \quad (1)$$

де P_{DC} – вихідна потужність постійного струму ректени, Вт;

P_{RF} – потужність індукованої в ректені височастотної енергії, Вт.

З аналізу (1) можна побачити, що високої ефективності перетворення можна досягти, використовуючи два варіанти. Перший – вдосконалювати схеми РЕЗ з метою зменшення енергоспоживання, але зазвичай застосовується другий варіант, який передбачає поглинання максимальної потужності ЕМІ. Для цього підвищують ефективність антени – її коефіцієнт підсилення. Однак це не дуже зручно, оскільки передбачає застосування багатоелементних антенних решіток, що потребує значних габаритів. Оскільки більшу амплітуду мають електромагнітні коливання низьких частот, в конструкції ректени застосовують фільтр нижніх частот (рисунок 1), який пропускає частотний спектр сигналу нижче деякої частоти (частоти зрізу) і пригнічує частоти сигналу вище за цю частоту.

Залежно від щільності електромагнітного потоку випромінювання в конкретній точці споживання електричної енергії застосовуються ректени з різними технічними характеристиками.

Ректени застосовують, наприклад, для бездротової зарядки акумуляторів у складі «розумного» будинку, у конструкціях імплантованих медичних пристроїв, у додатках мобільного призначення тощо. Також доцільним є використання ректен у комбінованих системах електропостачання разом з сонячними панелями, вітрогенераторами.

Дослідження з ректенами тривають, метою є доповнення або навіть витіснення сонячних панелей, адже технологічно ректени мають нижчу вартість, крім того не залежать від освітленості, що важливо у відсутності сонячного світла, наприклад, вночі.

Висновок. Електромагнітне випромінювання різних частот пронизує навколишнє середовище в кожній його точці, і завдяки цьому можна жити різні схеми РЕЗ. Однак, щільність частот занадто невелика, тому підключати поки що можливо не габаритні схеми. Визначальну роль у ректені відіграє її складова частина – антена. Від неї залежать такі характеристики, як ефективність, коефіцієнт підсилення та діаграма спрямованості тощо. Отже основний шлях подальших досліджень має бути в її вдосконаленні.

Список використаних джерел

1. Курашкин С. Ф. Система дистанционного диагностирования режимов работы электродвигателей погружных насосов. *Праці Таврійського державного агротехнічного університету*. Мелітополь, 2012. Вип. 12, т. 2. С. 106-110.
2. Курашкин С. Ф., Овчаров В. В. Пути повышения надежности электроснабжения и качества электрической энергии в АПК. *Праці Таврійського державного агротехнічного університету*. Мелітополь, 2013. Вип. 13, т. 5. С. 182-186.
3. Schemmel D. Wireless energy harvesting system with beamforming capabilities, A. Ph.D. Thesis, Colorado School of Mines, Golden, CO, USA, 12 June 2017.

УДК 631.371:637.3

ПОБУДОВА СТРУКТУРИ І ФУНКЦІЙНИХ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ ДІЛЯНКИ СКВАШУВАННЯ МОЛОКА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТВЕРДОГО СИРУ

Іванов М. В., магістрант

ivanov.maksus@gmail.com

Щербаков С. В., магістрант

sherbak16032000@gmail.com

Попова І. О., доцент

irirnapopova54@gmail.com

*Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь*

Актуальність та постановка проблеми. Сироваріння ставить особливі вимоги до якості молока - здатність до зсідання під дією сичужного ферменту. Об'єктами керування на ділянці підготовки молока до сквашування є: мішалка накопичувального резервуару молока, насос перекачування молока з накопичувального резервуару, сепаратор-молокоочисник, мішалка ємності збору вершків, відцентровий насос перекачування вершків, мішалка ємності з нормалізованим молоком, відцентровий насос перекачування нормалізованого молока, пастеризатор роторного типу [1].

Основні матеріали дослідження. До системи керування силовим електрообладнанням ділянки підготовки молока до сквашування висувуються наступні вимоги [2]:

- евакуація молока із накопичувального резервуару при досягненні верхнього рівня;
- контроль верхнього і нижнього рівнів молока в пастеризаторі роторного типу;
- контроль нижнього і верхнього рівнів в накопичувальному резервуарі молока для відключення електродвигунів мішалки у накопичувальному резервуарі і насосу перекачування молока;
- контроль нижнього рівня ємності збору вершків для включення електродвигуна відцентрового насосу перекачування вершків;
- контроль витрати вершків на нормалізацію молока;
- контроль верхнього рівня у ємності для нормалізації молока для відключення відцентрового насосу подачі молока у пастеризатор роторного типу;
- контроль нижнього рівня у ємності для нормалізації молока для включення або відключення електродвигуна мішалки у ємності для нормалізації молока;
- витримку в часі 20 хвилин при пастеризації молока у роторному пастеризаторі;
- світлову сигналізацію роботи електродвигунів приводу робочих машин;
- попереджувальну звукову сигналізацію про початок роботи обладнання ділянки підготовки молока до сквашування впродовж 15-20 секунд;
- електромагнітну заслінку для евакуації пастеризованого і охолодженого молока у ванну для сквашування і самопресування.

При виконанні технологічних операцій необхідно забезпечити контроль параметрів: верхнього рівня в ємності збору вершків – 0,90 м; нижнього рівня в ємності збору вершків – 0 м; верхнього рівня молока в накопичуваному резервуарі – 2,5 м; нижнього рівня молока в накопичуваному резервуарі – 0 м; витримку в часі при пастеризації молока у пастеризаторі – 20 хвилин; верхнього рівня молока в сепараторі-молокоочиснику – 1,5 м; контроль витрати вершків при нормалізації молока згідно рецептури; верхнього рівня у ємності для нормалізації молока – 2,5 м; нижнього рівня у ємності для нормалізації молока – 0 м; верхнього рівня молока у пастеризаторі – 2,0 м; нижнього рівня молока у пастеризаторі – 0 м; сигналізацію світлову про включення і

нормальну роботу електродвигунів; попереджувальна, для працівників звукова сигналізація впродовж 15-20 секунд [3].

На функційній схемі (рис. 1) схематично показані робочі машини, що задіяні на ділянці, асинхронні електродвигуни, засоби автоматизації, виміррювальні перетворювачі і виконавчі пристрої.

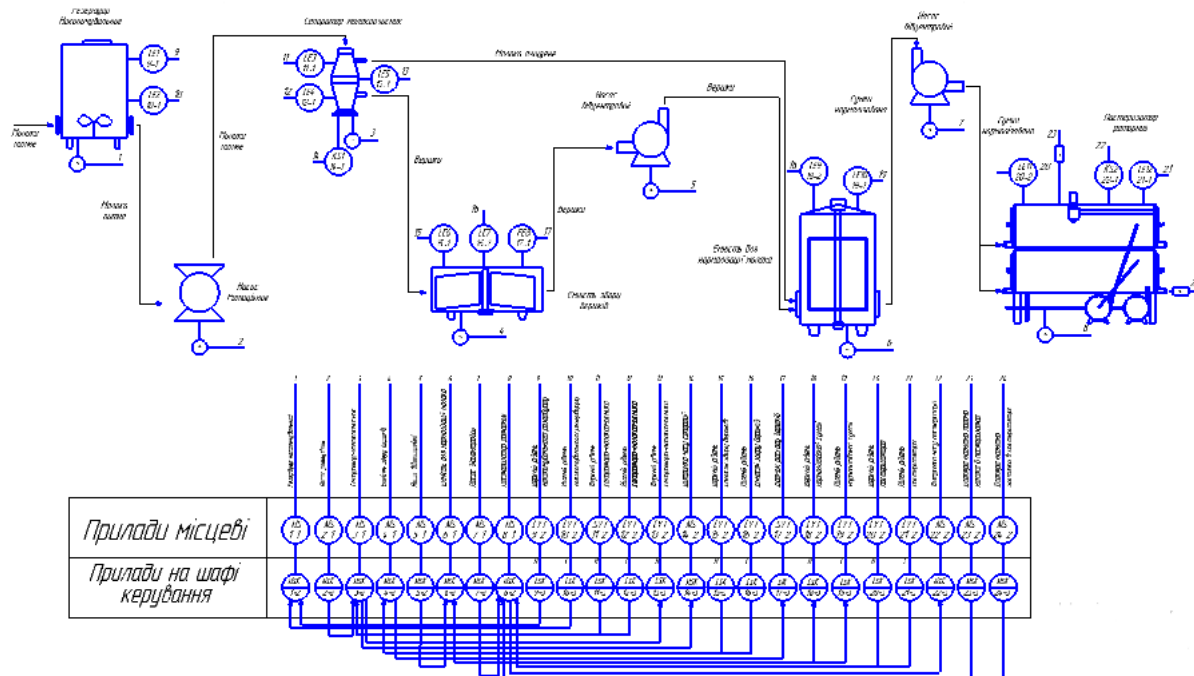


Рисунок 1 - Функційна схема керування асинхронними двигунами ділянки сквашування

Висновки. Автоматизація процесу підготовки молока до сквашування дозволить ретельніше витримати технологічні вимоги до цього процесу і покращити якість твердого сиру.

Список використаних джерел

1. Іванов М. В., Попова І. О. Обґрунтування електричної потужності асинхронного двигуна сепаратора-молокоочисника. *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації*: матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Переяслав, 26 лютого 2021 р.). Переяслав, 2021. Вип. 68. С. 326-329.
2. Іванов М. В., Попова І. О. Вибір раціональної потужності приводного електродвигуна сепаратора-вершковідділювача. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*: зб. тез доп. III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. пам'яті В.В. Овчарова. Мелітополь, 2021. С. 93-94.
3. Іванов М. В., Щербаков С. В., Попова І. О. Розробка системи керування силовим електрообладнанням ділянки підготовки молока до сквашування цеху з виробництва твердого сиру. *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації*: матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Переяслав, 30 вересня 2021 р.). Переяслав, 2021. Вип. 75. С. 331-334.

Секція 4. Електропостачання та електроенергетичні системи

УДК 621.316.925.1

АНАЛІЗ ВИДІВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

Лобода В. Б., к.ф.-м.н.

Калуга В. В., магістрант

vladcaluga@gmail.com

Сумський національний аграрний університет, м. Суми

Актуальність та постановка проблеми. Як відомо, релейний захист призначений для швидкого автоматичного відключення несправних або пошкоджених елементів електричної системи та своєчасної сигналізації про відхилення від нормального режиму роботи тих ланок, що не вимагають негайного відключення [1, 2]. У зв'язку з цим виникає необхідність у створенні і застосуванні ефективних автоматичних пристроїв, що виконують певні операції і захищають електричні мережі та їхні елементи від небезпечних наслідків пошкоджень і ненормальних режимів.

Основні матеріали дослідження. Всі функції релейного захисту виконуються наступними органами [1]:

- реле контролю і захисту. Пускові органи ведуть постійний моніторинг стану та режиму роботи ділянки електричної мережі і спрацьовують при виникненні коротких замикань і ненормальних режимів роботи. В електричних схемах реалізуються у вигляді струмових реле, реле струму, напруги, потужності та ін.

- завданням вимірювальних органів є виявлення місця, характеру пошкоджень і своєчасного прийняття рішення про необхідність дії захисту. В електричних схемах реалізуються у вигляді струмових реле, реле струму, напруги, потужності та ін.

- логічна частина являє собою схему, яка запускається в роботу пусковими органами, проводить аналіз дій вимірювальних органів і, на основі отриманих даних виконує передбачені протоколом дії. В електричних схемах реалізуються у вигляді таймерів, логічних елементів, проміжних і вказівних реле.

Для попередження перевищення величини струму на ділянці електричної мережі використовується струмовий захист. Це один з варіантів релейного захисту, що спрацьовує при перевищенні величини струму на ділянці мережі, по відношенню до струму спрацьовування або уставці. Прийнято розрізняти максимальний струмовий захист і струмову відсічку.

Максимальний струмовий захист (МСЗ) виконується таким чином, що б його величина струму спрацьовування перевищувала максимальний робочий струм не менше ніж 1,2-2 рази (з урахуванням коефіцієнтів надійності, повернення і самозапуску реле) [1]. Це дозволить виключити можливість помилкового спрацьовування релейного захисту в умовах нормальної роботи мережі.

Величина уставки за часом спрацьовування релейного захисту відрізняється від попередньої і наступної на величину ступеня селективності - 0,2-1 секунд [1]. Таке налаштування дозволяє першим спрацювати релейному захисту, який найближче розташований до місця КЗ. А в разі відмови першого, спрацює попередній, але через проміжок часу, що дорівнює порогу селективності.

Важливою характеристикою МТЗ прийнято вважати її коефіцієнт чутливості. Його визначають як відношення величини струму міжфазного КЗ до величини фактичного струму спрацьовування захисту. ПУЕ визначає цю величину не менше 1,5 [3].

Струмова відсічка (СВ) – це варіант швидкодіючого релейного захисту, що спрацьовує без затримок часу, робота якого спрямована на вимкнення найбільш важких варіантів КЗ. Коефіцієнт надійності застосовуваних реле визначає величину кратності струму спрацьовування в 1,1 та 1,2 по відношенню до величини розрахункового струму трифазного КЗ [4]. Отже, зона впевненої дії струмової відсічки покриває лише 20 % всієї лінії, що захищається.

Така обмеженість зони дії є істотним недоліком роботи. Такий стан справ призвів до того, що СВ застосовується тільки спільно з МТЗ в якості другого ступеня.

Робота захисту мінімальної напруги (ЗМН) заснована на контролі величини напруги між фазами. При виході з ладу хоча б однієї фази рівність напруг між фазами порушується спрацьовує механізм відключення і як наслідок відключається напруга живлення.

Газовий захист встановлюється з метою захисту маслонаповнених трансформаторів від внутрішніх пошкоджень [3]. При виникненні КЗ усередині трансформатора закипає масло і починається посилене виділення газів, що веде до підвищення тиску, що в кінцевому підсумку може призвести до виходу трансформатора з ладу. Гази направляються через реле, і під їх тиском повертається чутливий елемент, що веде до замикання контактів. Далі вступає в роботу типова схема на відключення трансформатора.

Диференціальний захист прийнято вважати основною автоматизацією релейного захисту трансформаторів і автотрансформаторів. Вона характеризується абсолютною селективністю і швидкодією.

Висновок. Таким чином, види та органи релейного захисту дозволяють визначити місце виникнення КЗ і інших позаштатних станів електричної мережі, своєчасно локалізувати пошкоджену ділянку і виключити її з роботи. Щоб КЗ не викликало великого збитку, пошкоджене електрообладнання необхідно якомога швидше відключити, що і являє собою основне призначення релейного захисту.

Список використаних джерел

1. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем: підручник. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2013. 533 с.
2. Яндульський О. С., Дмитренко О. О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем: навч. посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 102 с.
3. Правила улаштування електроустановок. Харків: Форт, 2017. 760 с.
4. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник. Москва: Высшая школа, 1991. 496 с.

УДК 620.92

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКИХ БУДИНКІВ

Лобода В. Б., к.ф.-м.н.

Хом'як О. В., магістрант

nikolas2343@gmail.com

Сумський національний аграрний університет, м. Суми

Актуальність та постановка проблеми. Нетрадиційні джерела енергії набувають популярності [1–3]. Станції, що використовують альтернативну енергію, для створення електричної енергії, є більш екологічними з точки зору безпеки навколишнього середовища, від них менше відходів, та менші техногенні втрати [4, 5]. Метою дослідження є визначення ефективності використання нетрадиційних джерел енергії в системі електропостачання сільських будинків, в частоті станцій, що для отримання електричної енергії застосовують енергію вітру.

Основні матеріали дослідження. Основним недоліком вітрових станцій, на відмінну наприклад від сонячної електростанції є значний рівень шуму, що з'являється під час обертання лопатей вітряка. Тому встановити таку станцію біля села, буде недосить зручно. Якщо село має невелику кількість населення, доцільним є встановлення вітряка окремо для кожного будинку. Ціна питання гальмує розвиток реалізації даного напрямлення, оскільки не кожен має фінансову можливість встановити обладнання. До того ж встановлення має сенс в тих територіях, де є постійні вітри, зі значною силою.

Підбираючи обладнання для приватного будинку, або дачі площею 80-120 кв.м, автономне електропостачання при постійних вітрах, може забезпечити вітрогенератор з номінальною потужністю 2,3 кВт [6]. Часто такий генератор купують як резервний, з сонячними колекторами.

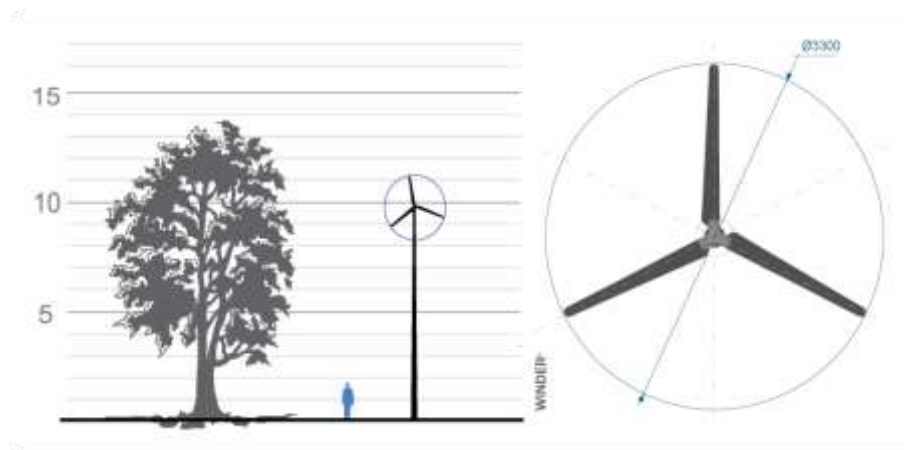


Рисунок 1. Вітрогенератор 2,3 кВт (Т23)

Генератор: трифазний синхронний PMG; генератор на постійних магнітах NdFeB; розрахункова (номінальна) потужність: 2,3 кВт; максимальна потужність: 2,6 кВт; номінальна напруга: 48 В; маса генератора: 100 кг.

Вітроколесо: діаметр ротора: 3,3 метра; довжина лопаті: 1,5 метра; площа ротора: 8,5 кв. метра; кількість лопатей: 3 шт.; матеріал лопатей: склопластик (композит); TSR (Speed Tip Ratio): 7.

Діапазон швидкостей: стартова швидкість: 2,5 м/с; номінальна швидкість: 10 м/с; робочий діапазон: 2,5-30 м/с; витримує вітер до: 45 м/с; номінальна швидкість обертання: 350 об./хв

Захист: тип охолодження: IC0041; рівень герметичності: IP54; температурний режим: від -40 до +60 С; захист від вітру: управляється хвостом.

Висновок. Застосування вітрових станцій для електропостачання сільських будинків на сьогоднішній день досить нова та екзотична технологія для масового використання жителями сіл України. Екологічність, відсутність відходів від діяльності, автономність, енергетична незалежність в сумі з нераціональністю встановлення в межах невеликого населеного пункту, залежність від умов регіону, клімату, цінове питання робить питання встановлення вітрових станцій не доречними в багатьох регіонах нашої країни.

Список використаних джерел

1. Адаменко О. М. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії: монографія. Івано-Франківськ: ІМЕ, 2010. 432 с.
2. Дероган Д. В., Щокін А. Р. Перспективи використання енергії та палива в Україні з нетрадиційних та відновлюваних джерел. *Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії*. 2009. № 2. С. 30–38.
3. Шидловський А. К. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії. Київ: Українські енциклопедичні знання, 2007. 560 с.
4. Прокіп А. В., Дудюк В. С., Колісник Р. Б. Організаційні та еколого-економічні засади використання відновлюваних енергоресурсів: монографія. Львів: ЗУКЦ, 2015. 337 с.
5. Адаменко Я. О., Архипова Л. М., Москальчук Н. М. Методика екологічної оцінки використання відновлюваних джерел енергії. *Екологічна безпека*. 2015. № 2(20). С. 37-42.
6. Вітрогенератор 2,3 кВт (Т23). URL: <http://winder.ua/uk/vetrogenerator-winder/vetrogenerator-2-3-kw-t23.html> (дата звернення: 13.10.2021).

УДК 621.31:504.05

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ НА ЕКОЛОГІЮ

Лисенко О. В., д.т.н

helga_vl@ukr.net

Ветцель О. М., магістрант

boriusmoon@gmail.com

*Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь*

Актуальність та постановка проблеми. Сучасна електроенергетика зазнає низку проблем, пов'язаних головним чином з дефіцитом електроенергії при одночасному збільшенні обсягів споживаного електрики сучасними підприємствами, містами, мегаполісами. Багато видів отримання електричної енергії не здатні до збільшення потужності установок та отримання великих обсягів електрики (гідроелектростанції, вітряні електростанції, приливні електростанції). Щодо інших джерел енергії, то в більшості випадків це електростанції, що мають прямий чи опосередкований вплив на екологію міст та довкілля. До таких джерел електроенергії належать: теплова електроенергія (ТЕС), атомна електроенергетика (АЕС), сонячна електроенергетика (СЕС), а також слід додати в цю групу гідроенергетику (ГЕС). Перелічені типи електростанцій виробляють сумарно понад 95% електроенергії практично у всіх країнах світу.

Основні матеріали дослідження. Вирішити проблему впливу на навколишнє середовище, ймовірно, здатний розвиток альтернативних видів енергетики, що особливо базуються на використанні відновлюваних джерел. Однак шляхи реалізації цього напряму поки що не очевидні. Поки відновлювані джерела дають трохи більше 20% загальносвітового споживання енергії. Основний внесок у ці 20% дають використання біомаси та гідроенергетика.

Зараз і на майбутні десятиліття найбільш екологічно чистим джерелом енергії видаються ядерні, а потім, можливо, і термоядерні реактори. З їх допомогою людина і рухатиметься ступенями технічного прогресу. Рухатиметься доти, доки не відкриє і не освоїть будь-яке інше, зручніше джерело енергії. Всі інші джерела енергії базуються на залученні до виробництва електроенергії природних ресурсів (ТЕС) або на кінетичній енергії води, вітру (ГЕС, ВЕС).

Щодо енергії вітру, то це досить дорогі установки, їх застосування обмежене кліматичними умовами. Застосування ГЕС призводить до зміни ландшафту річок, виникнення електромагнітних полів, здатних порушити природний механізм щорічного нересту риби, а також греблі – це бар'єр для судноплавства та багато хто інші техніко-економічні проблеми. Енергія ТЕС – найбільш значуща у сучасній енергетиці, а й найбільш екологічно забруднена, оскільки при спалюванні природного газу, котельного палива, а особливо вугілля в атмосферу виділяється величезна кількість вуглекислого та чадного газу, дрібнодисперсного пилу (сажі), оксидів сірки та азоту. Слід зазначити також, що ресурс вуглеводневої сировини є вичерпним за запасами як нафти, так і природної газу [1].

Енергетикою майбутнього до недавнього часу вважали ядерну енергетику – застосування атомних електростанцій. Нижче наведено графік зростання потужностей електростанцій у світі та виробництва електроенергії за 2006–2020 рр., а також прогнози розвитку на 2020–50 рр. (рис. 1).

Крім розвинених країн (США, Японія, Росія, Китай та ін.), деякі країни, що розвиваються, такі, як Індонезія, Єгипет, Йорданія та В'єтнам заявили про можливість створення АЕС і зробили перші кроки у цьому напрямі [2].

Згідно рис. 1, приріст потужностей АЕС здійснюватиметься як в усьому світі, так

і у межах окремих груп країн. Це визначається тим, що електроенергія, отримана в результаті ядерного перетворення при дотриманні заходів безпеки – є найчистішою та екологічно нешкідливою.

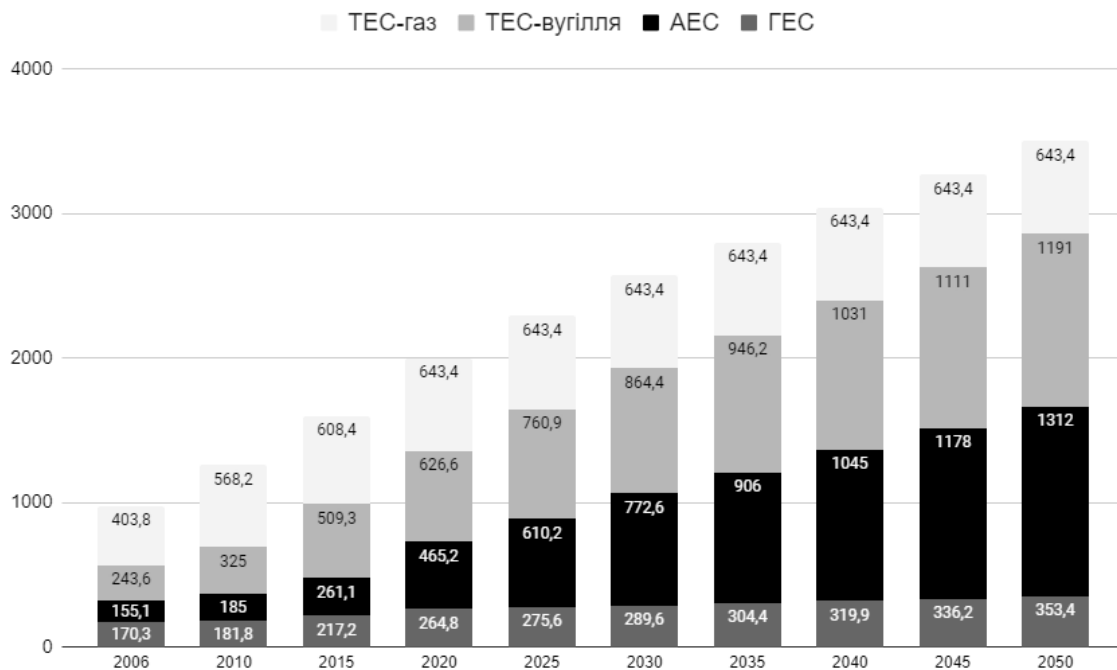


Рисунок 1. Розвиток енергетики з прогнозуванням

На сьогоднішній день багато проектів щодо збільшення обсягів виробництва електроенергії базуються саме на атомній енергії. Цей тип енергетики поряд з екологічною чистотою має значний ряд переваг.

До цих переваг слід віднести малі територіальні витрати (на відміну від сонячних батарей або гідроелектростанцій), малі витрати на транспортування активним елементів (енергоносіїв); високий ККД установок.

Висновки. У найближчі десятиліття основним джерелом енергії залишиться енергія вуглеводневої сировини, оскільки більшість сучасних енергокомплексів базується на спалюванні кам'яного вугілля, нафтової сировини та природного газу. Таке становище, за якого використовується не найекологічніша технологія виробництва енергії, триватиме до тих пір, поки собівартість електроенергії, одержуваної на ТЕС, не стане набагато вищою, ніж при виробництві енергії на ГЕС та АЕС. При швидких темпах споживання вуглеводневої сировини таке становище настане незабаром.

Список використаних джерел

1. Гутников В. А. Экологическая безопасность энергетики экономически развитых стран. *Градостроительство*, 2014. № 5 (33). С. 6–15.
2. Ташлыков О. Л., Щеклеин С. Е. Экологическое прогнозирование в ядерной энергетике. *Альтернативная энергетика и экология*. 2015. № 8-9. С. 50-57. DOI: 10.15518/isjaee.2015.08-09.006.

УДК 621.3.045

DRYING OF INSULATION OF WINDINGS OF ELECTRIC MACHINES

Chebanov A., PhD

Zharikova A., student

Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University, Melitopol

ab-chebanov@yandex.ru

annalife91@gmail.com

Relevance and formulation of the problem. During operation, transportation and storage, the insulation of the windings of electric machines is moistened. Dielectric characteristics deteriorate when exposed to moisture deteriorate, so in order to extend the service life of electric motors, the urgent task is to remove moisture from the windings of electric machines (drying).

The main materials of the research. External heating is used if the active part of the machine has become wet. To do this, the insulation of the windings is dried with a coolant in the form of hot air (Fig. 1), using blowers with heaters, incandescent lamps and heating resistors. The amount of air required when using a blower per minute is equal to one and a half volume of the chamber in which the electric motor is dried. The power of the heating element must be equal to the volume of the chamber in cubic meters. If the volume of the chamber for drying the electric motor is 8 m³, then the volume of hot air required to pass through this chamber should be 12 m³, and the power of the electric heating element - 8 kW.

To remove moisture from the insulation layers of the windings with a short-circuit current (Fig. 2), the windings of the individual phases are short-circuited and a reduced voltage is applied to them. The source of voltage is usually welding transformers.

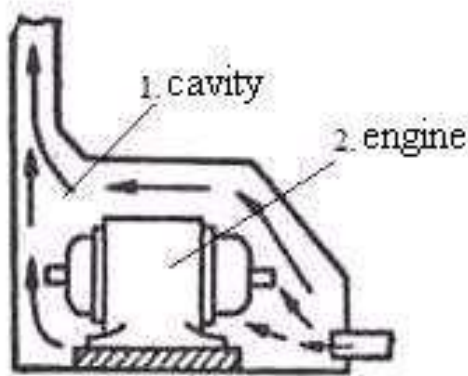


Figure 1 Blowing the insulation of the windings with current

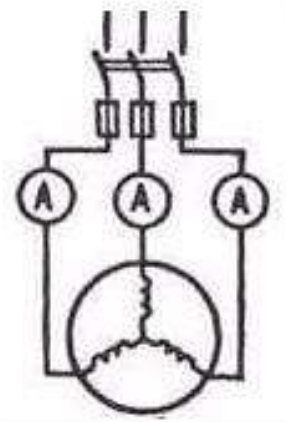


Figure 2 Drying of short-circuit insulation with hot air

The electric motor is covered on top with heat-insulating material. The current in the stator windings is adjusted to 50% of the nominal and maintain it at this level for 2-3 hours. The next three hours (at intervals of twenty to thirty minutes) the current is adjusted to 90% of nominal. In the first 3 - 5 hours the temperature of the windings should be 40 - 50°C, after 8 - 10 hours of drying the temperature of the windings should not exceed - 60 - 70°C. The outgoing air temperature should not exceed 50°C, and the insulation temperature of the winding should not exceed 70°C. Every two hours, check the temperature of the windings with a thermometer and determine the resistance of their insulation with a megohmmeter.

Drying of the electric motor can be considered complete if at a temperature of hot air of 50 - 60°C insulation resistance will remain constant within 3 - 5 hours.

Recently, the best methods of drying electric motors by induction losses in stator steel

have been introduced in stationary machines that are not connected with the passage of current in the windings. With this method of drying, there are two types of losses: losses in the active steel of the stator and losses in the stator housing.

Heating of electric motors is carried out by losses on reversal of magnetization and eddy currents in active steel of a stator of the electric motor of alternating current or inductor of the car of a direct current from the alternating magnetic flux created in cars in a stator core and the car case. Alternating magnetic flux is created by a special magnetized winding, which is wound on the body of the machine on its outer surface with the conduction of conductors under the frame or on the housing and bearing shields, alternating magnetic flux is also possibly created by induction losses in the stator active steel and electric machine housing.

The rotor of the asynchronous or synchronous machine must be removed to allow the windings to be wound on the stator to be magnetized. The magnetizing winding is made with an insulated wire, the cross section and the number of turns is determined by the appropriate calculation. In the process of drying, the insulation resistance of the windings of electric machines in the first period of drying decreases, then increases and, reaching a certain value, becomes constant. At the beginning of drying, the insulation resistance is measured every 30 minutes, and when a constant temperature is reached - every hour.

The results are entered in the drying log and at the same time the curves of the dependence of the insulation resistance and the temperature of the windings on the drying duration are crossed out. Measurements of insulation resistance, winding temperature and environment are continued until the electric machine is completely cooled. The removal of moisture from the windings of the electric machine is stopped after the insulation resistance is constant at a constant temperature for 3 - 5 hours.

Conclusions. The most common methods of drying motor windings, which will be able to provide the normative resistance of the insulation of the stator windings.

References

1. Energy, equipment, documentation. Access mode:
http://forca.ru/info/spravka/maslyanye-vyklyuchateli_5.html.
2. Fedorov A. A. (Ed.). Handbook of power supply and electrical equipment: 2 vols. (Vol. 2.). Moscow: Energoatomizdat. 1987.
3. Electromechanics. Access mode:
<http://www.electromechanics.ru/articles/overview/558-drying-methods-of-synchronous-generators-and-compensators.html>.

УДК 620.92

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ «ЗЕЛЕНОЇ» ЕНЕРГЕТИКИ

Адамова С. В., інженер

adamova_sv@ukr.net

Косяченко А. В., студент

anastasia.kosyachenko2016@gmail.com

Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного, м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. Відновлювані джерела енергії починають переважати в енергетичній галузі. Проекти зеленої енергетики пропонують порівняти за цінами альтернативи з більшою екологічною вигодою. Технологічний процес у галузі знижує ціни на проектування та видобуток відновлюваних джерел енергії. Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA) в одному зі своїх звітів зазначає, що вартість відновлюваних джерел енергії падає з такою швидкістю, що вони стануть надійно дешевшим джерелом енергії, ніж традиційні види палива, лише через кілька років.

Основні матеріали дослідження. Кінцева глобальна кліматична мета полягатиме у досягненні нульового рівня викидів. У цій перспективі також розглядаються способи скорочення викидів CO₂ після 2050 року до нуля. Водневе та синтетичне паливо, пряма електрифікація, сучасне біопаливо та заходи щодо скорочення викидів вуглекислого газу матимуть вирішальне значення поряд з інноваційними бізнес-моделями, структурними змінами та поведінковою адаптацією [1].

Це передбачає стійку, екологічно чисту та безпечну для клімату основу для стабільного довгострокового економічного розвитку. Це дає перспективи появи нових робочих місць, вищого економічного зростання, якісніших умов життя та значного підвищення рівня добробуту. Ця амбітна перспектива також скоротить світові викиди вуглекислого газу, пов'язані з виробництвом енергії, на 70% до 2050 року. Більше 90% цього скорочення буде досягнуто за рахунок відновлюваних джерел енергії та заходів щодо підвищення енергетичної ефективності.

Перехід до альтернативних джерел енергії може стимулювати широкий соціально-економічний розвиток, що супроводжується комплексною політикою, що сприяє перетворювальним процесам, спрямованим на зниження викидів вуглекислого газу в різних країнах.

До основних альтернативних джерел енергії належать: енергія сонця; енергія вітру; біоенергетичні установки (установки на біопаливі); малі ГЕС; енергія хвиль; енергія припливів/відливів; геотермальна енергія; установки на паливних елементах; воднева енергія; термоядерна енергія або енергія керованого термоядерного синтезу, засновану на реакції синтезу, тобто створенні більш важких ядер з легших (на відміну атомної, заснованої на реакціях розпаду, тобто, поділу більш важких ядер на більш легкі).

У 2020 році у світі інвестовано безпрецедентні \$501,3 млрд. у низьковуглецеві активи, з них \$303,5 млрд. – у нові потужності ВДЕ з рекордними встановленими потужностями сонячних (132 ГВт) та вітряних (73 ГВт) електростанцій.

І це лише початок глобального переходу від корисних копалин на ВДЕ. Необхідне зниження зростання середньої світової температури вимагатиме величезних інвестицій – від \$78 трлн до \$130 трлн до 2050 року.

2050 року вітряна та сонячна енергія забезпечуватимуть 56% світового енергетичного балансу. Країни-лідери досягнуть показників до 80%.

Після підписання Угоди про асоціацію між Європейським Союзом та Україною у 2014 році та ратифікації Паризької угоди про клімат у 2016 році Україна взяла на себе

зобов'язання щодо приведення енергетичної системи до стандартів ЄС. Цей курс відображено в Енергетичній стратегії України (ЕСУ) до 2035 року, згідно з якою частка ВДЕ в енергетичному балансі України має збільшитися з 11% на поточний момент до 25% до 2035 року (рис.1) [2].



Рисунок 1. Динаміка сегменту альтернативної енергетики

Висновок. Відновлювані джерела енергії стають дедалі рентабельнішими, навіть у разі конкуренції з галуззю викопного палива, яка користується значними субсидіями. Дедалі більше корпорацій входить у галузь відновлюваної енергетики. Ще одна перевага зростання галузі відновлюваних джерел енергії полягає в тому, що нині у світовій галузі зайнято понад 10 мільйонів людей. Протягом наступного десятиліття понад 75% наземних вітряних електростанцій та 80% сонячних фотоелектричних потужностей, які будуть введені в експлуатацію, зможуть виробляти енергію за нижчими цінами, ніж найдешевші нові варіанти вугілля, нафти чи природного газу.

Список використаних джерел

- Лисенко О. В., Адамова С. В. Аналіз світового досвіду використання відновлюваних джерел енергії. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 1. С. 326-333.
- Білявський М. Орієнтири розвитку альтернативної енергетики України до 2030 р. Разумков центр. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/orientyry-rozvytku-alternatyvnoi-energetyky-ukrainy-do-2030r> (дата звернення: 15.11.2021).

УДК 621.315.615.2

РЕГЕНЕРАЦІЯ ОЛІЇ В ТРАНСФОРМАТОРАХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГАЗОПОДІБНОГО АМІАКУ

Чебанов А. Б., к.т.н.

ab-chebanov@yandex.ru

Жарікова А. О., магістрант

annalife91@gmail.com

Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. Підвищити ефективність відновлення олії в діючих трансформаторах можна, застосовуючи газоподібний аміак для активації адсорбентів, зокрема силікагелю. При цьому не тільки знижується витрата адсорбенту, а й скорочується тривалість процесу відновлення олії, що зрештою призводить до значного здешевлення регенерації. Такі методи відновлення трансформаторної олії є актуальними і потребують подальшого дослідження.

Основні матеріали дослідження. Відновлення олії в трансформаторах адсорбентом, активованим аміаком, проводиться без зливу олії з працюючого обладнання за схемою трансформатор - адсорбер - фільтрпрес - розширювач трансформатора. Силовий трансформатор № 1 напругою 110/6,3 кв (кількість олії 21 т) забезпечений термосифонним фільтром, експлуатується на відкритій підстанції, де атмосфера сильно насичена агресивними газами та парами. У цьому трансформаторі за допомогою термосифонного фільтра протягом семи років підтримувалася нормальна якість олії.

Після закінчення зазначеного терміну, олію не вдавалося відновити за допомогою силікагелю (12%). Силовий трансформатор № 2 напругою 110/6,6 кв (кількість олії 27 т) у ньому олія не задовольняла нормам вже через 15 місяців роботи. Дані щодо регенерації цієї олії наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати регенерації олії у трансформаторах силікагелем, активованим газоподібним аміаком

Показники	Трансформатор 1			Трансформатор 2	
	До регенерації	Після регенерації	Після 8000 годин роботи	До регенерації	Після регенерації
Кислотне число, мг КОН/г	0,2	0 056	0,06	0,17	0,07
Натрова проба, бали	4	3	2	4	3
Реакція водяної витяжки	Кисла	Нейтральна	Нейтральна	Кисла	Нейтральна
Зміст шлама	Сліди	Немає	Немає	Сліди	Відсутня

Після регенерації олії до трансформатора № 1 був приєднаний термосифонний фільтр із силікагелем, активованим аміаком, а до трансформатора № 2 - термосифонний фільтр із неактивованим силікагелем.

Відібрані з трансформаторів через 8000 год роботи проби олії показали, що в трансформаторі № 1 масло практично залишилося без зміни, а в трансформаторі № 2,

хоча й задовольняло експлуатаційним нормам, але мало гірші показники, особливо за тангенсом кута діелектричних втрат.

Позитивні результати були отримані при регенерації цієї олії силікагелем активованим газоподібним аміаком. До цього трансформатора був потім приєднаний термосифонний фільтр із силікагелем, активованим газоподібним аміаком.

Були проведені також досліді щодо регенерації трансформаторних олій з підвищеним кислотним числом (0,18-0,22 мг КОН/г) на двох діючих трансформаторах (№ 1 і № 2) силікагелем, активованим аміаком.

Трансформаторні олії після регенерації відповідали нормам ДСТУ свіжої малосірчастої олії без присадки, а по tg - вимогам правил технічної експлуатації. Через 8800 год роботи регенованих олій до трансформаторів № 1 і № 2 були підключені термосифонні фільтри із силікагелем.

До підключення фільтрів кислотне число регенованих трансформаторних олій трохи підвищилося (на 0,01-0,02 мг КОН/г по відношенню до початкового) при нейтральній реакції водної витяжки. Усі інші основні показники перебували у межах ДСТУ як свіжа олія, а tg δ- у межах норм на експлуатаційну олію. Через три місяці після регенерації олій, трансформатори були розкриті та оглянуті. Корозії металевих частин та інших змін виявлено не було.

Висновок. Встановлено, що масла, регеновані адсорбентами, активованими аміаком, стабільніші за олії, відновлених неактивованими адсорбентами, та термін служби їх більший (майже у 2 рази). Позитивний досвід застосування газоподібного аміаку при регенерації трансформаторних масел дає підставу рекомендувати цей метод для широкого впровадження олійних господарствах енергосистем (в основному для масел, злитих з енергетичного обладнання).

Список використаних джерел

1. Gockenbach E., Borsi H. Condition monitoring and diagnosis of power transformers. *2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*. 2008. P. 894-897. DOI: 10.1109/CMD.2008.4580427.
2. Конограй С. П. Применение модели старения твердой изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов для их диагностики в режиме эксплуатации. *Електротехніка і електромеханіка*. 2010. № 1. С. 43–45.
3. Смекалов В. В., Долин А. П., Першина Н. Ф. SIGRE2002. Оценка состояния и продление срока службы силовых трансформаторов. 2011. 10 с. URL: www.ts-electro.ru/publication.php?k=2 (дата звернення: 14.10.2021).

УДК 621.316.96

МЕТОДИ БОРОТЬБИ З ОЖЕЛЕДІЮ НА ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ ЗМІННИМ СТРУМОМ

Адамова С. В., інженер

adamova_sv@ukr.net

Кривцов Д. О., магістрант

dentshik2102@gmail.com

*Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь*

Актуальність та постановка проблеми. Наявність ожеледі на проводах і тросах повітряних ліній електропередачі (ЛЕП) викликає додаткові механічні навантаження на всі конструктивні елементи повітряної лінії. Великі відкладення можуть призводити до обриву проводів і тросів, руйнування арматури, деформації і падіння опор лінії. Оскільки відкладення ожеледі по фазним проводам звичайно відбувається нерівномірно, то стріли провису стають неоднаковими, що призводить до додаткових механічних навантажень і часто викликає схлистання проводів і тросів, особливо під час опадання ожеледі [1].

Основні матеріали дослідження. На даний час відомо багато різних за задумом схем плавлення ожеледно-паморозевих утворень на проводах повітряних ліній електропостачання (ПЛ). Всі вони зводяться до створення схем, які забезпечують збільшення струмів, що протікають по лінії, до необхідних значень. Із цією метою створюють спеціальні схеми шляхом виконання перемикань у мережі із додатковим включенням стандартних або спеціальних елементів.

Як правило, плавлення ожеледі в електричних мережах 110 кВ та вище здійснюється з використанням напруги, зниженої проти номінальної, а в мережах до 35 кВ – за номінальної напруги.

В розподільчих мережах до 10 кВ найбільш поширені способи плавлення ожеледі створенням штучних коротких замикань і зустрічним вмиканням джерел струму.

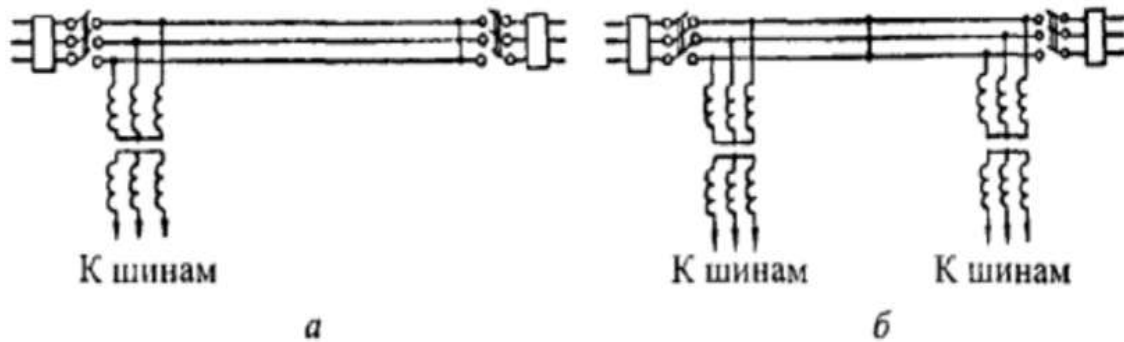
У електричних мережах напругою до 220 В за техніко-економічними показниками найбільш ефективно застосовувати схеми плавлення змінним струмом.

Якщо взяти до уваги плавлення ожеледі на проводах ПЛ саме змінним струмом, то такий процес може здійснюватися:

- змінним струмом на ПЛ, що перебуває в роботі (з продовженням живлення споживачів, які підключені до ПЛ);
- змінним струмом на ПЛ, що залишаються під робочою напругою, але потребують відключення споживачів;
- змінним струмом на виведеній з роботи ПЛ.

Плавлення ожеледі змінним струмом на виведених з роботи ПЛ здійснюється переважно методом короткого замикання або способом зустрічного увімкнення джерел з взаємним фазовим зсувом напруг, більш ніж 60 електричних градусів. Для оплавлення ожеледі штучно створюють такі види замикань: трифазне коротке замикання (рис.1); двофазне коротке замикання; «змійка» - однофазне коротке замикання з послідовним сполученням проводів усіх фаз (рис.2).

Метод трифазного короткого замикання є одночасно простим і зручним, оскільки плавлення ожеледі відбувається на всіх фазах одночасно. Застосування методу двофазного короткого замикання застосовують спочатку на фазах, а потім на третій в поєднанні з одним з тих що вже звільнили від ожеледі. Схему «змійка» слід застосовувати на коротких ПЛ, коли наявні напруги надто великі для плавлення трифазним коротким замиканням [2].



а – в кінці лінії, б – в середині лінії

Рисунок 1. Схема плавлення ожеледі з замиканням трьох фаз

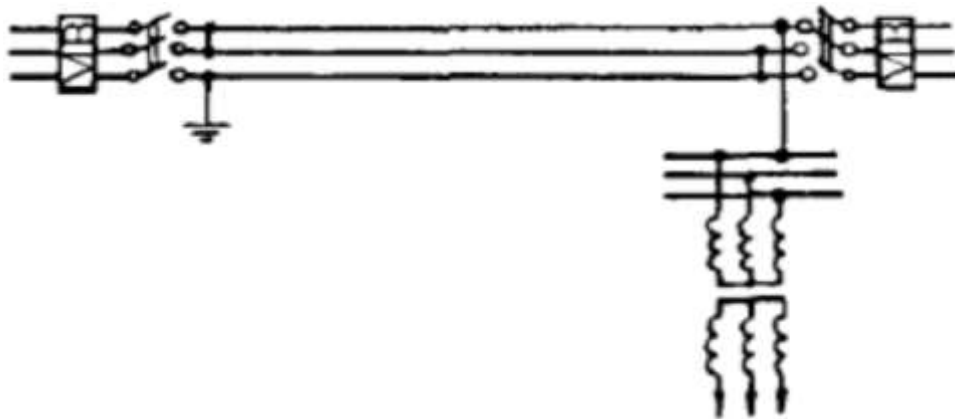


Рисунок 2. Схема плавлення ожеледі з послідовним з'єднанням проводів фаз

Висновок. Враховуючи тяжкий характер вітрово-ожеледних аварій та великі збитки через недовідпуск електроенергії, а також дуже значні витрати на відновлення зруйнованих ліній, необхідно вживати комплексні заходи для попередження аварій. Одним з найбільш ефективних способів боротьби з даною проблемою є плавлення ожеледі електричним струмом, а саме змінним струмом. Це дозволить зменшити кількість аварійних ситуацій, викликаних намерзанням атмосферних опадів на проводах ПЛ.

Список використаних джерел

1. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи: монография / Е. В. Горохов и др. Донецк, 2005. 348 с.
2. Рудакова Р. М., Вавилова И. В., Голубков И. Е. Методы борьбы с гололедом в электрических сетях энергосистем. Уфа, 2005. 187 с.

Секція 5. Комп'ютерно-інтегровані технології та технічні інформаційні системи

УДК 004.457

НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ

Шаров С. В., к.пед.н., доцент

sergii.sharov@tsatu.edu.ua

Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. На сьогодні інформаційно-комунікаційні технології є одним із вагомих факторів розвитку виробництва, економіки, суспільства тощо. Поряд із появою сучасного апаратного забезпечення та цифрових гаджетів відбувається процес розробки та застосування різноманітного програмного забезпечення, зокрема комп'ютеризованих систем. Їх використання для діагностування стану вузлів та агрегатів, систем різного типу дозволяє зменшити суб'єктивний чинник, вчасно здійснити відповідні корективи та підвищити строк експлуатації. Актуальним є виявлення напрямків використання комп'ютеризованих систем для діагностування стану об'єктів та їх показників.

Основні матеріали дослідження. Застосування інформаційно-комунікаційних технологій є відносно недорогим способом підвищити надійність функціонування електроенергетичних систем та об'єктів. Це завдання забезпечується системою моніторингу та діагностування, що дозволяє вчасно виявити та уникнути аварійних ситуацій, провести ремонтні роботи тощо [1].

Зазвичай діагностуючі програмні комплекси є прикладним програмним забезпеченням, яке розраховано на певну наочну область та має специфічні функціональні можливості. Це залежить від вузлів, які будуть діагностовані, їх складності та технологічності, а також алгоритмів, які покладені в основу діагностування. Розглянемо декілька прикладів застосування таких систем.

У напрямку підвищення конкурентоспроможності електромеханічних систем корисним будуть комп'ютеризовані системи, призначені для діагностування їх енергоефективності. У роботі [2, с. 103] зазначається, що застосування такого програмного забезпечення для діагностування електромеханічної системи з асинхронним двигуном дозволяє визначити технічний та енергетичний стан системи, визначити її залишковий ресурс, зекономити біля 10% електроенергії за середньостатистичний термін експлуатації. Розроблене програмне забезпечення містить три функціональних блоки. Перший модуль містить еталонну модель асинхронного двигуна. Другий програмний модуль відповідає за формування протоколу діагностування параметрів двигуна у відповідності до еталонної моделі. Третій модуль формує графіки зношеності електромеханічної системи, обчислює прогнозований та номінальний залишковий ресурс з урахуванням сукупності експлуатаційних характеристик, що впливають на електромеханічну систему. Таким чином вдається реалізувати методологію енергоменеджменту електромеханічних систем [2, с. 103].

Комп'ютерні системи використовуються також для автоматичної діагностики головного двигуна судна, який повинен володіти гарантованою працездатністю. У роботі [3, с. 267] зазначається, що поєднання сучасних комп'ютеризованих та штатних

систем у процесі діагностування зношених двигунів дозволить підвищити їх надійність та строк експлуатації. Запропонована система складається з контрольно-вимірювальних пристроїв, головного модулю, в основі якого лежить програмований логічний контролер, панелі оператора. У випадку виявлення нештатних ситуацій відповідна інформація відображається на панелі оператора та супроводжується звуковим сигналом. Зазначене поєднання способів доставки інформації надає можливість вчасно зреагувати на виниклу нештатну ситуацію та зменшити ризик аварійної ситуації. Отримана інформація зберігається у базі даних, що дозволяє у подальшому проаналізувати роботу енергетичної установки та внести відповідні корективи [3, с. 267].

Комп'ютеризовані, зокрема експертні [5, с. 95], системи знайшли своє застосування для діагностування несправностей транспортних засобів. Сучасний автомобіль характеризується складністю комплектації, ремонт якої іноді викликає певні проблеми. Особливо це стосується високотехнологічних транспортних засобів, зокрема електромобілей та гібридних варіантів. У роботі [4, с.18] описано структуру у вигляді відповідних моделей, функціональні можливості експертної системи для виявлення несправностей транспортних засобів. Даний програмний продукт на основі вхідних даних, отриманих через зовнішній візуальний огляд, формує діагностичну інформацію та рекомендації щодо усунення несправностей. Алгоритм роботи експертної роботи складається з декількох кроків: вибір конкретного транспортного засобу, вибір однієї або декількох несправностей, які були виявлені під час зовнішнього огляду, формування рекомендації для технічного обслуговування автомобіля, збереження отриманих рекомендацій у файл. Слід зазначити, що початкові дані, а також сформовані результати зберігаються у базі знань, що дозволяє у подальшому використовувати їх для формування інших експертних рішень.

Висновок. Отже, сучасні комп'ютеризовані системи можуть використовуватися у різних напрямках, зокрема для діагностування несправностей електромеханічних систем, двигунів, транспортних засобів та ін. Це досягається за рахунок вбудованих у програмні комплекси сукупності методів та алгоритмів обробки інформації, потужних обчислювальних ресурсів комп'ютерної техніки та засобів вимірювання. Більшість програмних засобів не тільки фіксують поточний стан агрегатів та вузлів, а й зберігають отримані дані в базі даних або базі знань з метою подальшого аналізу та обчислення залишкового ресурсу.

Список використаних джерел

1. Гончарова Л. Л. Комп'ютерні методи організації мікропроцесорних систем контролю і прогнозу залишкового ресурсу енергетичних об'єктів. *Моделювання та інформаційні технології*. Київ, 2009. Вип. 53.
URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/29651> (дата звернення: 10.10.2021).
2. Закладний О. О., Закладний О. М. Програмне забезпечення функціонального діагностування енергоефективності електромеханічних систем з асинхронними двигунами. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2011. № 2. С. 102–108.
3. Кондратенко Ю. П., Коробко О. В. Комп'ютерна система автоматичної діагностики суднових енергетичних установок. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2010. № 6. С. 266–272.
4. Лубко Д. В., Зінов'єва О. Г., Шаров С. В. Проектування та розробка експертної системи діагностування несправностей транспортних засобів. *Системи обробки інформації*. Харків, 2019. № 1 (156). С. 15–21.
5. Шаров С. В., Лубко Д. В., Осадчий В. В. Інтелектуальні інформаційні системи: навч. посібник. Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2015. 144 с.

УДК 004.891.26636.52/58

КРОСПЛАТФОРМЕНА ІНФОРМАЦІЙНО-ДОВІДКОВА ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ДЛЯ ПТАХІВНИЦТВА

Лубко Д. В., к.т.н.

dmytro.lubko@tsatu.edu.ua

Зінов'єва О. Г., інженер

olha.zinovieva@tsatu.edu.ua

*Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь*

Актуальність та постановка проблеми. Експертна система (ЕС) - це методологія адаптації алгоритму успішних рішень однієї сфери науково-практичної діяльності в іншу [1]. З поширенням комп'ютерних технологій – ця інтелектуальна комп'ютерна програма, що містить знання та аналітичні здібності одного чи кількох експертів в деякій галузі застосування і здатна робити логічні висновки на основі цих знань, тим самим забезпечуючи вирішення специфічних завдань (консультування, навчання, діагностування, тестування, проектування, тощо) без участі експерта (фахівця в проблемній галузі). ЕС визначається також як система, яка використовує базу знань для вирішення завдань (рекомендацій) у певній предметній галузі. Під ЕС часто розуміють набір програм, що виконують функції експерта при рішенні задач з деякої наочної області. ЕС видають ради, проводять аналіз, дають консультації, ставлять діагноз. Однією з основних характеристик експертної системи є її швидкодія, тобто швидкість отримання результату та його достовірність (надійність). Експертна система повинна мати можливість пояснити, чому запропоновано саме цей розв'язок і довести його обґрунтованість. Користувач повинен отримати всю інформацію, необхідну йому для того, аби переконатись в обґрунтованості запропонованого розв'язку. ЕС створюється за допомогою двох груп людей: інженерів, які розробляють ядро ЕС і програмістів, які знають організацію бази знань [4, 5]. Заповнюють її за допомогою: експертів (експерта) за фахом.

Аналіз подібних систем показав, що вони часто використовуються як локальні системи у великих господарствах [2, 3]. ЕС майже не розробляються для окремої людини, співробітника або окремого господарства. А це наразі дуже актуально. Тому що при розробці ЕС, будуть враховуватися специфічні та особливі дані самого цього господарства, що значно підвищить точність прогнозів та рекомендацій. Саме тому, для отримання великої продуктивності м'ясних порід курей працівникам галузі треба завчасно та кваліфіковано отримати наукові знання з технології та кваліфіковану наукову підтримку. А це можна зробити саме завдяки новій спроектованій системі.

Як показав аналіз існуючих систем схожого напрямку, схожих аналогів таких систем виявлено не було, тому тема роботи дуже актуальна.

Основні матеріали дослідження. Проектування кросплатформеної інформаційно-довідкової експертної системи (КІДЕС) будемо проводити на прикладі створення програми для технології вирощування м'ясних порід курей для господарств країни. У результаті проведеної ретельного аналізу та виконаній роботі була здійснена програмна реалізація КІДЕС. Розроблена система використовує технологію продукційної моделі, базу знань, а у якості програмного середовища пакет – IntelliJ IDEA та програмне забезпечення Java Development Kit 7 (JDK). КІДЕС має дворівневу структуру, а саме - вибір вхідних критеріїв, а також модуль обробки та виведення рекомендацій по технології вирощування м'ясних порід курей. Наведемо дані, які є вхідними критеріями вибору технології вирощування м'ясних порід курей наступні:

а) М'ясна продуктивність (об'єм закупки, площа для утримання, кількість кормів та ін.), розмірність – кг/місяць.

- а) Відносна яйце продуктивність: низька (80-110 яєць у рік); середня (110-150 яєць у рік); висока (150 і більше яєць у рік);
- б) Гатунок м'яса: 1 (вищого гатунку); 2 (середнього гатунку);
- в) Період вирощування: річне утримання;
- г) Вирощування на протязі одного повного року.
- д) Рекомендації щодо зимового утримання птиці: весна-осінь; довгочасне;
- е) Вибір необхідної породи курей (рекомендації).

Вибір породи здійснюється на другому етапі на основі початкових вхідних параметрів, а саме відносно яйце-продуктивності та гатунку якості м'яса.

Після необхідних обчислень дані, які будуть рекомендаціями з даної технології вирощування м'ясних порід курей виводяться у окреме вікно програми.

Система оброблює та видає вихідні рекомендації спроектованої КІДЕС, а саме: правила ведення господарства; можливі захворювання птахів та їх лікування; інформація за обраною породою курей; раціон; утримання курей; прогнозування отримання м'яса птахів. Розраховані рекомендації можна зберегти як pdf-файл (для друку).

Висновок. Розроблена КІДЕС (на основі мови програмування Java) реалізує усі поставлені задачі, а саме: відповідає вимогам кросплатформеності; має простий, зручний та логічний інтерфейс; на основі створеної бази знань надаються відповідні рекомендації. Використання даної системи дозволить фермерським господарствам зберегти час при пошуку потрібної інформації щодо технології вирощування м'ясних порід курей, що в свою чергу підвищить економічні показники господарств та принесе їм значні прибутки. Створену систему можна розширювати, як функціонально (інтерфейсно), так і програмно (збільшити об'єм бази знань). Як перспектива для розвитку, є можливість написання додаткових модулів у дану КІДЕС, а саме використовувати її як основу (ядро коду) для створення схожих систем, але вже для інших галузей с/г країни.

Список використаних джерел

1. Джарантано Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование: пер. с англ. Москва: Вільямс, 2007. 1152 с.
2. Лубко Д. В., Шаров С. В. Розробка інтелектуальної інформаційної системи для птахівництва. *Системи обробки інформації*. Харків, 2017. Вип. 4 (150). С. 170-174.
3. Лубко Д. В., Зінов'єва О. Г., Шаров С. В. Проектування та розробка експертної системи діагностування несправностей транспортних засобів. *Системи обробки інформації*. Харків, 2019. Вип. 1 (156). С. 15-21.
4. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему. Москва: Энергоатомиздат, 1991. 287 с.
5. Таусенд К., Фохт Д. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ. Москва: Финансы и статистика, 1990. 246 с.

УДК 004.42

ДО ПРОБЛЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Мірошніченко М. Ю., к.т.н.

mykola.miroshnychenko@tsatu.edu.ua

*Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь*

Актуальність та постановка проблеми. Сьогодні інформаційні ресурси набувають важливого значення у розвитку економіки, суспільства, держави тощо. Водночас інформація стала стратегічним ресурсом підприємства, яка впливає на його функціонування та подальший розвиток. Поряд із виробничими та маркетинговими процесами, інформаційне середовище є невід'ємною складовою бізнес-середовища підприємства. Тому підтримка інформаційного середовища в актуальному та працездатному стані є важливим завданням, що повинно вирішуватися на підприємстві.

Зазвичай, обробка та зберігання інформації на підприємстві відбувається за допомогою інформаційних систем, що відрізняються функціональністю, вартістю, іншими характеристиками. Пошкодження або втрата інформації може негативно вплинути на окремі процеси, що відбуваються усередині підприємства. Особливо, якщо це стосується несанкціонованого втручання до інформаційного середовища підприємства з боку злоумисників. Тому актуальним питанням є забезпечення належного захисту інформаційних систем та інформації, що в них зберігається та обробляється.

Основні матеріали дослідження. Сучасні інформаційні системи знайшли своє використання під час управління проектами, бізнес-планування інвестиційних проєктів, прийнятті управлінських рішень. З'являються нові типи інформаційних систем, зокрема інтелектуальні інформаційні системи [5, с. 25], які використовуються елементи штучного інтелекту для прийняття ефективних рішень. Водночас з урахуванням постійного технологічного розвитку очікується поява більш складних, багатовимірних інформаційних систем [4, с. 62].

Залежність підприємств від різного роду систем, у тому числі інформаційних, призвели до підвищення вимог до інформаційної безпеки. Це пояснюється розвитком сучасних апаратно-програмних засобів обробки та передачі інформації, появою нових методів та засобів обробки інформації [2, с. 553], посилення впливу інформації на розвиток підприємства. Порушення режиму безпеки інформаційного середовища може відбуватися через зовнішні або внутрішні джерела, спеціально або ненавмисно, здійснюватися фахівцями або звичайними співробітниками, які мають низький рівень інформаційної культури. Дії злоумисників можуть призвести до крадіжки економічної, виробничої та персональної інформації, втрати даних, збоїв у роботі обладнання та програмного забезпечення [1, с. 250] тощо. У будь-якому випадку, незадовільний рівень інформаційної безпеки, зокрема системи захисту інформаційних систем підприємства, становить загрозу для функціонування підприємства [3, с. 157].

Захищена інформаційна система повинна мати механізми захисту від внутрішніх та зовнішніх загроз, відповідати загальноприйнятим стандартам, що стосуються захисту інформації, забезпечувати безпечну обробку та передачі інформації. Як наслідок, захист інформації на підприємстві, зокрема в інформаційних системах, не повинен зводитися до вибору окремих засобів або методів захисту. Іноді це може призвести до конфліктів між різними програмним забезпеченням і, як наслідок, зниження рівня безпеки та працездатності інформаційної системи [4, с. 64]. Процес захисту інформації повинен бути заснований на системному підході, принципах комплексності

та адаптивності [2, с. 552], здійснюватися упродовж всього життєвого циклу програмного забезпечення.

В даному випадку потрібно комплексно підійти до вирішення проблеми та її уникнення в майбутньому. Слід забезпечити реалізацію низки юридичних, технологічних та організаційно-економічних заходів [3, 158], застосовувати апаратно-програмні засоби для ідентифікації користувачів в системі та розподілу між ними повноважень щодо використання сервісів та ресурсів [2, с. 554], використовувати програмні засоби для захисту від мережових атак з боку зловмисників [6, с. 139]. Також доречно періодично проводити інформування співробітників підприємства щодо важливості інформаційної безпеки.

Слід зазначити, що проектування системи захисту інформаційних систем є складним та комплексним завданням, що передбачає врахування потенційних загроз, характерних для конкретного підприємства, вартості апаратно-програмного забезпечення високий рівень кваліфікації розробників та ін. На думку С. Толюпи та І. Пархоменко, система захисту інформації повинна бути реалізована на п'яти функціональних рівнях: фізичному технологічному, користувацькому, мережевому, управлінському. Використання багаторівневого захисту інформаційних систем дозволить спросити процес проектування системи захисту, формалізувати окремі завдання, розмежувати вимоги до конфіденційності та цілісності інформації [4, с. 65].

Висновок. Отже, інформаційні системи успішно застосовуються на підприємствах та забезпечують ефективну діяльність. В умовах розвитку інформаційного суспільства підвищуються вимоги до безпеки інформації, що циркулює всередині підприємства. Захист інформаційних систем повинен бути заснований на системному підході та передбачати комплексне застосування засобів та методів засобів.

Список використаних джерел

1. Делембовський М., Шабала Є., Терентьев О. Аналіз методів та шляхів вирішення захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах. *Грааль науки*. 2021. № 1. С. 249–254.
2. Рудий Т. В., Томаневич Л. М., Руда О. І. Засади захисту інформації в інформаційних системах підприємств. *Актуальні проблеми економіки*. 2014. № 2. С. 551–557.
3. Северина С. В. Інформаційна безпека та методи захисту інформації. Вісник Запорізького національного університету. *Економічні науки*. 2016. № 1. С. 155–161.
4. Толюпа С. В., Пархоменко І. І. Побудова комплексних систем захисту складних інформаційних систем на основі структурного підходу. *Сучасний захист інформації*. 2015. № 4. С. 62–70.
5. Шаров С. В., Лубко Д. В., Осадчий В. В. Інтелектуальні інформаційні системи: навч. посібник. Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2015. 144 с.
6. Шаров С. В., Лубко Д. В. Розробка та використання сніферу як засобу забезпечення безпеки ТСП з'єднань. *Системи обробки інформації*. Харків, 2017. № 5. С. 138–144.

УДК 004.438

ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО САЙТУ

Лубко Д. В., к.т.н.

dmytro.lubko@tsatu.edu.ua

Нестеренко Є. В., інженер

ye.nesterenko@tsatu.edu.ua

Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного, м. Мелітополь

Актуальність та постановка проблеми. Проведемо проектування інформаційного сайту на прикладі туристичної сфери. Туризм – це галузь, де інформація має властивість швидко застарівати і втрачати актуальність. Тому для туристичного сайту важливі динамічність і гнучкість у всьому, що стосується зміни даних. Сайти туристичних агентств і туроператорів за своєю структурою і контенту відрізняються мало. Їх основною метою є продаж турів. Деякі інформаційні сайти про подорожі мають на меті утримати відвідувачів на своїх сторінках за допомогою цікавої інформації: розповіді від першої особи від бувалих туристів, опис культурних особливостей тих чи інших країн, переліки найвідоміших визначних пам'яток і так далі. На інформаційних порталах часто використовуються елементи соцмережі: користувачі повинні мати можливість самостійно додавати звіти про свої поїздки, фотографії, карти маршрутів і ділитися коментарями, тощо.

На сайті турагенства і туроператора обов'язково повинен бути модуль онлайн-консультації, який дозволить відвідувачу оперативно задати актуальні для нього питання і швидко отримати кваліфіковану відповідь. Інформаційному сайту такий модуль не потрібен, оскільки призначений для користувача серфінг по сторінках і є його метою. На сайтах туроператорів і агентств важливий блок з довідковою інформацією: анкетами для посольств, бланками, зразками договорів.

Програмісти сайтів розробляють зручні CMS (системи управління сайтом), які дозволяють самостійно вносити необхідні зміни. Навіть нефахівці зможуть міняти більшу частину даних, для цього немає необхідності проходити додаткове навчання по роботі з сайтом. При абонентському обслуговуванні сайтів можливе внесення більш серйозних змін, в тому числі і редизайн сайту [1, 2].

При розробці туристичного сайту багато уваги приділяється модулям пошуку і фільтрів інформації. Як правило, відвідувач вже приблизно уявляє, як і де він буде відпочивати. На хорошому і зручному сайті він повинен отримати інформацію за своїм запитом в пару кліків. Іншими словами, для ухвалення рішення відвідувач також необхідно швидко надати корисну інформацію, яка «зачепить» і зацікавить його. Наприклад, для сайтів турагентств і туроператорів обов'язковим є наявність модуля онлайн-бронювання. Кожен бажаючий зможе вибрати тур і забронювати його. Як правило, на таких сайтах встановлюються модулі прийому платежів онлайн. Менеджерам турфірм залишається тільки приймати і обробляти заявки. Бронювання турів онлайн вимагає розробки і установки більш серйозної системи. Користувачу необхідно надати достовірну інформацію про точні дати турів, квоти, додаткові умови та ін. Помилки в роботі такої системи неприпустимі, інакше компанія буде мати проблеми, і клієнти втратять довіру. Наприклад модуль онлайн-бронювання зазвичай вимагає проведення автоматизації процесів на підприємстві.

Саме тому розгляд принципів проектування інформаційного сайту для певного туристичного агентства визначає актуальність роботи, тому що це потребує глибоких знань та вмінь при її реалізації для обраного заказчика.

Основні матеріали дослідження. Після аналізу предметної області та оцінки задачі, для реалізації була вибрана база даних MySQL, в якості мови програмування

обрано PHP [3, 4]. З розвитком технологій функціональність веб-сторінок постійно зростає й наближається до функціональності настільних прикладних програм. Ця зростаюча функціональність реалізується мовою Javascript. Зараз не обов'язково особисто прописувати всі необхідні ефекти, якщо для цього вже написано кілька сотень бібліотек, що дозволяють реалізовувати ці ефекти. І серед безлічі бібліотек найбільш зручна і доступна є бібліотека jQuery, яку ми будемо використовувати.

Проаналізувавши наявні дані, була створена наступна структура сторінок: „Головна” (новини), „Тури” (коротко), „Тури” (докладно), „Контакти” (зворотній зв'язок), „Про компанію”. Сайт має звичну структуру для користувачів мережі. При запуску ми потрапляємо на головну сторінку. Перехід по сторінках здійснюється за допомогою текстового і графічного навігаційного меню, виконаних в єдиному з сайтом стилі. Структура розробленого сайту наступна:

- 1) Меню „Головна” - здійснюється перехід на головну сторінку, на якій знаходиться текстове меню, останні тури, а також новини агентства;
- 2) Меню „Тури” – надання інформації про доступні тури;
- 3) Меню „Контакти” – контактна інформація агентства;
- 4) Меню „Про компанію” – короткий опис надаваних агентством послуг.

Для розміщення сайту в мережі інтернет необхідно вибрати хостінг, з підтримкою PHP та баз даних MySQL. Після аналізу доступних хостінг пропозицій, було обрано безкоштовний хостінг від компанії Hostinger Ukraine. Для реєстрації сайту у пошуковій системі, достатньо заповнити форму реєстрації на сторінці пошукової системи. Для сайту було обрано лічильник від liveinternet.ru. Лічильники від liveinternet користуються великою популярністю, мають велику точність, та дуже добру статистику.

Висновок. Метою роботи була розробка інформаційного сайту (сайту-візитки) туристичного агентства. У підсумку вийшов добрий та працездатний сайт, на якому розташовується інформація про роботу агентства, послуги, що надаються їм і контактна інформація. Даний сайт простий у використанні, має дружній інтерфейс зрозумілий недосвідченому користувачу і просту у використанні систему навігації. Розроблено максимально зручна і доступна робота користувача на сайті. Завдяки даній розробці користувачам можна буде ознайомитися з діяльністю туристичного агентства, знайти цікаву інформацію щодо послуг агентства, а також підібрати і замовити туристичну путівку.

Список використаних джерел

1. Шаров С. В., Хрептус В. С. Загальні принципи створення веб-сайту // *Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення*: зб. тез доповідей Міжнар. наук. Інтернет-конф. (м. Тернопіль, 13 листопада 2018 р.). Тернопіль, 2018. Т. 33. С. 104-106.
2. Лубко Д. В., Литвин Ю. О. Проектування веб-ресурсу для кафедри університету з підсистемою підтримки контролю дистанційного навчання та обліку успішності. *Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі*: матеріали VIII Всеукр. наук.-практ. Web-конференції аспірантів, студентів та молодих вчених. Кривий Ріг: ДВНЗ „Криворізький національний університет”, 2015. С. 54-57.
3. Харрис Э. PHP и MySQL для начинающих. Москва: Вильямс, 2005. 384 с.
4. Кузнецов М. PHP5 в примерах. Санкт Петербург: Питер, 2005. 576 с.

УДК 004.438

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ САЙТІВ

Темніков Г. Є., інженер

henadii.temnikov@tsatu.edu.ua

Смірнов М. Є., магістрант

snab.smirnov@gmail.com

*Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,
м. Мелітополь*

Актуальність та постановка проблеми. Робота з інформаційними сайтами має свою специфіку. Розглянемо приклад особливостей розробки сайтів на прикладі туристичної тематики (сайтів для туристичних агентств). Головна складність полягає в тому, щоб з величезного обсягу інформації надати користувачу саме те, що він шукає. При грамотному підході туристичний сайт може давати більше 60% від загального обсягу продажів. Під поняттям «туристичний сайт» маються: сайти турагентств; сайти туроператорів; інформаційні сайти про подорожі і туризм, тощо. Основне завдання туристичного сайту - продаж турів. Важливо за красивим дизайном не сховати корисну інформацію, яка знадобиться для того, щоб перетворити відвідувача в клієнта. Дизайн відходить на другий план, поступившись місцем таким вимогам, як юзабіліті і простота навігації [1]. Саме тому розгляд особливостей розробки сайтів туристичних агентств є актуальною темою для кожного обраного замовника та вимагає особливого підходу під їх задачі.

Основні матеріали дослідження. Перші два типи сайтів, як правило, мають подібні структури і контент. Основна мета - продаж. Сайти третього типу (веб-системи) спрямовані на те, щоб якомога довше утримати відвідувача на своїх сторінках, пропонуючи йому цікаве і корисне читиво. У зв'язку з цим до сайтів третього типу пред'являються інші вимоги. Наприклад, для сайту туристичного агентства або туроператора важливий модуль онлайн-консультацій. Агенти і звичайні користувачі отримують можливість в режимі реального часу отримати необхідну інформацію, забронювати тур, з'ясувати подробиці майбутньої поїздки. Для інформаційного сайту такий модуль не потрібен, тому що його основне завдання - тривалий «серфінг» користувача по сторінках інформаційного ресурсу.

Історії, статті, звіти про поїздки - ця інформація зазвичай використовується на туристичних порталах. Користувачі самостійно формують контент, створюючи записи, розміщуючи фото і відео з поїздок, залишаючи коментарі. Програмісти часто створюють сайти, де у кожного користувача є можливість швидко і зручно додавати матеріали, брати участь в обговореннях. Більш того, для деяких проектів буде актуальною установка елементів соціальної мережі, в рамках якої зареєстровані учасники могли б обмінюватися повідомленнями, створювати співтовариства, додавати друзів та ін. Для всіх туристичних сайтів важлива наявність розділу з довідковою інформацією. Зазвичай там розміщуються бланки, анкети для посольств, зразки договорів та інші документи, необхідні для туристів.

Заказники сайтів ставлять перед програмістами завдання не просто розробити туристичний сайт, а створити ефективний інструмент, який буде приносити гроші і розвивати їх бізнес [2, 3]. Вони виконують комплекс робіт, необхідних для запуску і ефективного функціонування туристичного сайту.

Розглянемо особливості розробки туристичних сайтів. Вони є зручними інструментами для залучення клієнтів і збільшення продажів - при грамотному підході до 60%. Крім цього, з їх допомогою можна істотно заощадити час, що витрачається на обслуговування клієнтів, зробивши сервіс більш доступним і комфортним. Аперед тим, як приступати до створення такого туристичного сайту (системи), потрібно спочатку

поставити чітку мету, а для цього потрібно визначитися, що розуміється під словами «туристичний сайт»: інформаційний сайт для мандрівників; сайт турагентства; сайт туроператора.

Першою стандартною умовою таких сайтів є гармонійна відповідність дизайну сайту його спрямованості. У більшості випадків це реалізують шляхом додавання різних предметів, що асоціюються з подорожами: глобусів, екзотичних тварин і птахів, фотографій моря або пляжу і так далі. Виділитися серед безлічі аналогічних сайтів дозволить створення дизайну, повністю відповідного туристичного напрямку, і в той же час який відрізняється від інших.

Друга вимога - це простота навігації та зручність користування сайтом. Жоден, навіть самий крутий, дизайн не втримає відвідувача на сайті, якщо за красивою обкладинкою він не зможе максимально швидко знайти те, що йому потрібно і зробити замовлення. В цьому відношенні дизайн стає вторинний у порівнянні з якістю юзабіліті, і це треба враховувати при розробці туристичного сайту. Модулі пошуку і фільтри інформації на туристичному ресурсі стають одними з основних компонентів. Зазвичай відвідувач, заходячи на сторінку, вже хоча б приблизно знає, чого він хоче: відпочинок в південних або в північних країнах, пляжний або активний, в готелі або дикуном, тощо. Також всю потрібну інформацію відвідувач повинен отримати в пару кліків. Ця інформація повинна бути якісною, цікавою, щоб полегшити останній крок до прийняття рішення.

Третій важливий момент стосується актуальності інформації. У туризмі вона важлива як не можна більш, тому сайт повинен дозволяти контент-менеджеру оперативно внести всі зміни, а клієнту - також оперативно з ними ознайомитися.

Четверта особливість таких сайтів, характерна для турагентств і туроператорів - це модуль, що дозволяє забронювати вподобаний тур і одразу оплатити його за допомогою системи онлайн-платежів. Саме за рахунок цього компонента досягається економія часу на обробку замовлень: менеджеру не доводиться витратити час на підбір туру, клієнт зробить це сам, а менеджер лише обробляє надійшли заявки. Тут дуже важливо, щоб програмне забезпечення було розроблено без помилок, інакше клієнти можуть загубити свої гроші або потрапити в халепу через відсутність інформації про точні дати, квоти і інші нюанси подорожі та в результаті втратять довіру до цієї турфірми.

Висновок. Аналіз та розгляд особливостей розробки сайтів туристичних агентств показав, що ця тема є актуальною та для кожного обраного замовника вимагає особливого підходу щоб задовольнити його вимоги.

Список використаних джерел

1. Веллинг Т. Разработка Web-приложений на PHP и MySQL. Санкт Петербург: ДиаСофтЮП, 2003. 672 с.
2. Лубко Д. В., Литвин Ю. О. Проектування веб-ресурсу для кафедри університету з підсистемою підтримки контролю дистанційного навчання та обліку успішності. *Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі: матеріали VIII Всеукр. наук.-практ. Web-конференції аспірантів, студентів та молодих вчених. Кривий Ріг: ДВНЗ „Криворізький національний університет”, 2015. С. 54-57.*
3. Шаров С. В., Хрептус В. С. Загальні принципи створення веб-сайту. *Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення: зб. тез доповідей Міжнар. наук. Інтернет-конф. (м. Тернопіль, 13 листопада 2018 р.). Тернопіль, 2018. Т. 33. С. 104-106.*

Алфавітний покажчик авторів

Chebanov A.	108	Мараховський В. Б.	68
Zharikova A.	108	Миронець С. Д.	91
Адамова С. В.	110, 114	Мірошниченко М. Ю.	120
Вдовін Б. В.	59	Нежурін В. І.	23, 27
Ветцель О. М.	106	Нестеренко Є. В.	122
Вовк О. Ю.	36, 47	Нестерчук Д. М.	50, 68
Волкова І. Д.	63	Носань С. В.	76
Герасименко В. П.	9, 19	Облещенко А. Д.	57
Глазирін І. М.	78, 93	Паламарчук О. О.	25
Гриценко О. В.	23	Петров В. О.	52
Довбань М. О.	29	Попова І. О.	13, 15, 17, 39, 100
Жарікова А. О.	55, 112	Постнікова М. В.	52, 59, 65, 70, 74, 78
Зінов'єва О. Г.	118	Постол Ю. О.	89,93
Іванов В. В.	27	Родін Б. О.	50
Іванов М. В.	15, 100	Савойський О. Ю.	95
Іванова Д. В.	65, 98	Смірнов М. Є.	124
Калуга В. В.	102	Соловей Т. С.	29
Квітка С. О.	33, 41, 57, 61, 83	Стребков О. А.	31
Коваль С. Д.	70	Стручаєв М. І.	89, 93
Ковальов О. В.	9, 31, 44, 76, 91	Стьопкін В. В.	21, 25, 29
Колодій О. С.	11	Темніков Г. Є.	124
Косяченко А. В.	110	Томілко Ю. С.	61
Кривцов Д. О.	50, 114	Уколов К. С.	74
Куваєв В. Ю.	23, 27	Хом'як О. В.	104
Курашкін С. Ф.	55, 63, 98	Цирлін В. М.	86
Курчанов А. А.	17	Чебанов А. Б.	112
Лакосіна А. О.	81	Чепіжний А. В.	86
Лисенко О. В.	106	Шаров С. В.	116
Лобода В. Б.	102, 104	Широкова А. Г.	72, 81
Лубко Д. В.	118, 122	Щербаков С. В.	100
Майбородіна Н. В.	19	Ярошенко Я. Г.	25
Макенов П. С.	15		

ІНФОРМАЦІЙНЕ ВИДАННЯ

ПРОГРАМА

IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції
пам'яті В. В. Овчарова
“Сучасний стан та перспективи розвитку
електротехнічних систем”

04 - 18 листопада 2021 р.

Відповідальний за випуск: Квітка С. О., завідувач кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного
Редактор: Квітка С. О., Нестерчук Д. М.
Дизайн і верстка: Щербина М. О.

Секретар організаційного комітету:

Нестерчук Діна Миколаївна, тел. 097-439-6458

Адреса оргкомітету конференції:

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, факультет енергетики і комп'ютерних технологій, кафедра електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова, ауд. 1.125
пр-т Богдана Хмельницького, 18,
м. Мелітополь, Запорізька область,
72310, Україна
e-mail: dina.nesterchuk@tsatu.edu.ua
Сайт конференції: <http://www.tsatu.edu.ua/etem/internet-konferencija/>