

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації
виробництва та інженерної екології
Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Косоголов Іван Борисович

УДК 620.93

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Підвищення експлуатаційної ефективності асинхронних електроприводів
кормоцехів свиноферм

141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Палійчук В.К.

к.т.н., доцент

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Косоголов Іван Борисович. Підвищення експлуатаційної ефективності асинхронних електроприводів кормоцехів свиноферм. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі отримані математичні моделі надійності асинхронних електроприводів кормоприготувальних машин дозволяють розраховувати показники надійності як у стаціонарному, так і перехідному режимах експлуатації. На підставі результатів моделювання визначено оптимальні діапазони періодичності ТО електроприводів робочих машин залежно від поголів'я тварин, що дозволяє підвищити ефективність експлуатації електрообладнання.

Використовуючи розрахункові формули, складено таблицю рекомендованих заходів щодо підвищення ефективності експлуатації електроприводів робочих машин, звідки випливає, що в кормоцехах, які обслуговують понад 1000 голів тварин, необхідно встановлювати пристрої захисту електродвигунів типу УВТЗ, доповнений пристроєм захисту від зниження опору ізоляції. Це дозволить зберегти періодичність ТО електроприводу в рекомендовані терміни. Розроблено пристрій захисту електродвигунів УВТЗ-5 МІ, який контролює опір ізоляції статорної обмотки електродвигуна. Використання цього пристрою дозволяє підвищити коефіцієнт готовності електроприводу на 10-15%.

Ключові слова: електропривід, захист, надійність, асинхронний двигун, кормоцех

ANNOTATION

Kosogolov Ivan Borisovich. Improving the operational efficiency of asynchronous electric drives of pig farms.. – Qualiification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for a master's degree in the specialty 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". - Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

In the master's work the received mathematical models of reliability of asynchronous electric drives of forage machines allow to calculate indicators of reliability both in stationary, and transient modes of operation. Based on the simulation results, the optimal ranges of periodicity of maintenance of electric drives of working machines depending on the number of animals are determined, which allows to increase the efficiency of electrical equipment operation.

Using the calculation formulas, a table of recommended measures to improve the efficiency of electric drives of working machines, which shows that in feed shops serving more than 1,000 animals, it is necessary to install protection devices for electric motors type YBT3, supplemented by protection against insulation resistance. This will maintain the frequency of maintenance of the electric drive in the recommended time. The device of protection of YBT3-5 MI, MI electric motors which controls resistance of isolation of a stator winding of the electric motor is developed. The use of this device allows you to increase the readiness of the electric drive by 10-15%.

Keywords: electric drive, protection, reliability, asynchronous motor, feed shop.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ У КОРМОПРИГОТУВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....	9
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	19
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ І ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ.....	22
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	31

ВСТУП

Актуальність теми. Останнім часом питома вага енергоресурсів у структурі затрат на виробництво с/г продукції зросла до 10% і спостерігається тенденція до подальшого зростання. Майже п'ятикратний диспаритет цін на промислову та сільськогосподарську продукцію призвів до різкого зниження купівельної спроможності та рентабельності виробництва. Сільськогосподарське машинобудування різко зменшило обсяги випускаємої техніки для АПК. Наявність необхідного обладнання тваринницьких ферм становила 30...40%, а його знос досяг 85%. У цих умовах пред'являються підвищені вимоги до функціонування електрифікованих робочих машин. Якість продукції, економія енергоресурсів, безаварійна робота електрообладнання тісно взаємопов'язані. Очевидно, що досягти високого значення цих показників можна шляхом удосконалення технічної експлуатації та запровадження досконалішого обладнання.

Зниження ефективності існуючих рекомендацій з експлуатації електроприводу обумовлено впровадженням нового модифікованого електроприводу, впровадженню нових методів і засобів діагностики, застосування іноваційних пристроїв захисту від аварійних режимів роботи. Для прикладу, із випуском електродвигунів серій 4А, АИ, АИР 5А виникла потреба забезпечити вищу точність контролю теплового стану обмоток статора електричних машин в аварійних режимах. За наявними даними, через значний потік аварій та низьку якість захисту термін служби електродвигунів серії 4А становить 3-5 років при загальному напрацюванні до відмови 500-2000 годин. Отже, поряд із підвищенням надійності електродвигуна необхідно приділяти увагу і захисним пристроям. У зв'язку з цим є необхідність розробки таких пристроїв захисту, які б забезпечили контроль своєї справності і мали достатній термін служби. Такий підхід забезпечить різкіше зростання коефіцієнта готовності всього електроприводу. Саме тому перспективним є виявлення

несправностей на ранніх стадіях їх появи. Тим паче, що для цього є досить значні наукові передумови теоретичного та практичного характерів: у теоретичних дослідженнях з надійності електродвигунів виникають стани прихованої відмови; розробляються математичні моделі старіння ізоляції та прогноуються терміни служби електрообладнання; створюються технічні засоби діагностики та захисту електродвигунів; розробляються методи оцінки надійності електрообладнання з урахуванням залежних відмов за умов сільськогосподарського виробництва. Виходячи з вище сказаного, висувається наступна робоча гіпотеза: за допомогою математичних моделей надійності, що враховують приховані відмови, можна запропонувати раціональні терміни технічного обслуговування та конкретні пристрої захисту електродвигунів.

На підставі вищевикладеного було сформульовано мету роботи та поставлено відповідні завдання.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є забезпечення підвищеної експлуатаційної ефективності асинхронних електроприводів цехів з приготування кормів свинокомплексів шляхом аналізу ймовірнісних моделей надійності з обґрунтуванням раціональних термінів технічних обслуговувань та засобів захисту електродвигунів від аварійних режимів роботи.

Завдання дослідження:

1. Аналіз експлуатаційних особливостей роботи електроприводу у кормоприготувальному виробництві;
2. Визначити основні показники надійності електроприводу кормоцехів свиноферм.
3. Провести аналіз ймовірнісних моделей надійності з обґрунтуванням раціональних термінів технічних обслуговувань та засобів захисту електродвигунів від аварійних режимів роботи.

Об'єкт дослідження: асинхронний електропривод робочих машин кормоцехів та пристосувань для захисту їх від можливих аварійних режимів.

Предмет дослідження: матмоделі надійності роботи електричних приводів та їх ймовірнісні характеристики.

Методи дослідження. У роботі застосовувалися загальнонаукові та спеціальні методи пізнання. Перевірка адекватності отриманих результатів здійснювалася експериментальними методами із застосуванням сучасних засобів вимірювальної техніки. В експериментальних дослідженнях використовувалися стандартні методики досліджень і обробки результатів.

Перелік публікацій за темою роботи:

2. Палійчук В.К., Кравчук О.М., Шадура В.П., Косоголов І.Б., Сібірук В.А. Вивчення електромагнітних процесів приводу с/г машин зворотно-поступального руху на основі лінійного асинхронного двигуна. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 30-31 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 208-210.

2. Палійчук В.К., Кравчук О.М., Шадура В.П., Косоголов І.Б., Сібірук В.А. Тенденція розвитку електроприводів зворотно-поступального руху сільськогосподарського призначення. Збірник тез VII-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 183-184.

3. Палійчук В.К., Кравчук О.М., Шадура В.П., Косоголов І.Б., Сібірук В.А. Особливості вибору трифазного генератора для енергетичної установки при використанні відновлюваних джерел енергії малих річок. IV Всеукраїнська науково-практична інтернет конференція *«Сучасні технології в енергетиці, електромеханіці, системах управління та машинобудуванні»* (м. Бахмут, 25-26 листопада 2021 р.), Бахмут : ННПП «УПА». С. 53-54

Практичне значення одержаних результатів. Отримано рекомендації щодо проведення заходів, що підвищують експлуатаційну ефективність

асинхронного електроприводу, які можна застосувати і на інших типах електроприводів в підприємствах АПК.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 32 сторінки комп'ютерного тексту, містить 3 таблиці і 4 рисунки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ У КОРМОПРИГОТУВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Електричні двигуни сільськогосподарських машин на відміну від тих, що працюють в промисловості, знаходяться у більш складніших умовах. До специфіки роботи необхідно віднести: навантаження, що суттєво перевищує номінальні данні електродвигуна, занижена якість електричної енергії, обмежена пропускна спроможність сільських електричних мереж, недостатня потужність трансформаторів, порівнянна з потужністю великих електродвигунів, різкі коливання температури, висока вологість та наявність пилу у навколишньому середовищі, низька кваліфікація персоналу, неякісне обладнання. Усі перераховані чинники впливають одночасно. При комплексному впливі важко проводити їх контроль та вчасно реагувати необхідним чином. Це призводить до зниження експлуатаційної надійності електродвигунів та інших елементів електроприводу.

Умови експлуатації електроприводів основних технологічних процесів представлені у таблиці 1.1 [1-8]. З таблиці 1.1 можемо бачити, що до техпроцесів, які мають найбільш шкідливі режими роботи, відноситься приготування кормів. Це можна бачити за такими характеристиками, як температура навколишнього середовища – максимальна з приведених технологічних процесів і вологість повітря (80...85%). Такі умови роботи електричних приводів сільськогосподарських машин сприяють підвищеному нагріванню окремих елементів та зниженню опору ізоляції. Приготування кормів проводиться у окремих приміщеннях – кормоцехах.

Таблиця 1.1 – Умови роботи електроприводів с.г. виробництва

Технологічні процеси	Режим роботи			Параметри оточуючого середовища					
	Кіл. годин використання, в		Число микання в год.	Весняно-літній			Осінньо-зимовий		
	доба	рік		Темпера тура °С	Вологість %	Вміст аміаку, г/м ³	Темпера тура °С	Вологість %	Вміст аміаку, г/м ³
Кормороздавання - на фермах ВРХ	2,1	500	2,1	22	45	0,03	8	79	0,05
- на свино комплексах	2,6	350	1,3	20	85	0,04	16	84	0,12
- на птахо комплексах	0,4	200	52,0	22	68	0,018	13	64	0,02
Прибирання гною на фермах: ВРХ	4,1	1100	1,1	22	45	0,03	8	79	0,05
Свино-	2,1	600	2,1	20	85	0,04	15	84	0,12
Птахо-	0,3	55	11,0	22	68	0,018	14	64	0,03
Електромеханічне доїння	6,2	2200	1,1	20	72	-	8	82	-
Приготування кормів	3,1	1000	0,7	26	83	-	18	87	-
Забезпечення водою	6,1	2500	1,2	20	83	-	14	87	-
Мікроклімат	8,2	3000	0,2	20	74	-	8	67	-
Очистка зерна	8,2	1200	1,2	20	73	-	-	-	-

Особливістю об'єктів тваринницьких комплексів є наявність додаткового негативного фактора – високої запиленості приміщень. Це погіршує охолодження електродвигунів та забруднює рухомі частини комутаційних апаратів.

Автоматизація процесу приготування кормів дозволяє значно скоротити витрати на одиницю сільськогосподарської продукції. Аналіз існуючих робочих машин виробництва кормів дозволяє стверджувати, що вони в основному приводяться в дію від асинхронного нерегульованого електроприводу. Найбільший час при ремонті електроприводу витрачається на заміну електродвигуна. Максимальна трудомісткість заміни припадає на електродвигуни підвищеної потужності. Розглянемо найхарактерніші електрифіковані механізми енергоємних технологій виробництва кормів. До таких техпроцесів вможна віднести змішування, подрібнення, гранулювання. Найенергоємнішим процесом у кормоприготувальних цехах є подрібнення сировини.

У технології приготування грубих кормів для вигодовування першою необхідною операцією є подрібнення. Цей процес дозволяє в подальшому проводити змішування дрібних кормів з різними компонентами та забезпечити в подальшому їх транспортування та технологічну переробку. В результаті покращується засвоюваність продуктів тваринами та зменшується трудомісткість процесу годівлі. Найбільш поширені подрібнювачі: ІГК-ЗОБ, АПК-10, "Волгар-5", ІКМ-5 та ін. Характер навантаження подрібнювачів та дробарок – різко-змінний. Цеповязано з тим, що вологість і фізико-механічні властивості сировини різні. Звідси стає ясною одна з причин виходу електродвигунів з ладу – тривале технологічне навантаження. Крім того, з подрібнюючим продуктом іноді надходять сторонні предмети, що призводить до поломки механізму та заклинювання валу електродвигуна.

Завершальною операцією є змішування компонентів. Із цим процесом кормоприготування пов'язана ефективність роботи всього підприємства.

Максимальні потужності приводних електродвигунів мають змішувачі-дробарки типу ДСВ, змішувачі-подрібнювачі ІБК, навантаження яких залежить від ступеня подрібнення корму та періодичності очищення лопатевих мішалок. Надійність роботи змішувачів здебільшого знижується від виходу з ладу електродвигунів лопатевих мішалок. Здебільшого це відбувається внаслідок потрапляння в ємність штучних предметів.

У АПК споруджується велика кількість різних цехів для приготування кормів, що суттєво відрізняються за своїм призначенням, видом виробленого корму, обсягом продукції і т.д. Усі кормоприготувальні цехи умовно можна поділити на дві групи. До першої групи належать підприємства з виробництва сухих кормів у розсипному, гранульованому чи брикетованому вигляді, придатних для тривалого зберігання. Кормоцехи другої групи – господарські та міжгосподарські спеціалізовані підприємства, що випускають комбікорми-концентрати, які довго зберігати не можна. Їх готують безпосередньо перед згодовуванням тварин. Сушіння трави та приготування трав'яного борошна виконують на агрегатах типу АВМ, загальна потужність електродвигунів яких перевищує 100 кВт. Випускаються також спеціалізовані комплекти – для свинокомплексів та свиноферм. Основна частина робочих машин цих комплектів забезпечена також нерегульованим асинхронним електроприводом. Залежно від призначення кормоцеху до нього можуть входити кілька комплектів технологічних машин, що призводить до збільшення встановленої потужності електроприводу. Так, наприклад універсальний цех сухих та вологих кормосумішей конструкції продуктивністю 6-54 т/зміну має 37 електродвигунів із загальною встановленою потужністю 234 кВт; універсальний цех для приготування кормосумішей "Зерноград" при продуктивності 10 т/зміну має 579 кВт встановленої потужності та 57 електродвигунів [3].

Слід зазначити, що низька якість електроенергії несприятливо відбивається на працездатності окремих елементів електроприводу. Через довгі

лінії електропередач і недостатній переріз їх проводів відхилення напруги нерідко виходять за межі встановлені державним стандартом. Зменшення напруги мережі призводить до різкого зменшення моменту, що розвивається електродвигуном і призводить до аварійного перегріву обмотки статора. Для апаратури комутації, зокрема для магнітних пускачів, наднормативні зниження напруги мережі також шкідливі, тому що з'являються підвищені вібрації та перегрів котушок управління. Електронні пристрої захисту, працюючи при знижених напругах живлення, змінюють пороги спрацьовування, що веде до порушення їх захисних функцій. Негативно позначається на температурному режимі електродвигунів також несиметрія напруги живлення, що може виникати із-за вмикання потужніших однофазних споживачів. За результатами обробки статистичних даних встановлено [9], що середньоарифметичний показник коефіцієнта зворотної послідовності становить 7,4% при середньому квадратичному відхиленні 2,2%.

В даний час, як приводні електродвигуни для більшості технологічних машин використовують асинхронні короткозамкнуті електродвигуни серій АО, АО2, 4А, 4АМ, АИР, 5А, Зусиллями ННЦ «ІМЕСГ» проведено численні дослідження умов експлуатації електродвигунів та отримано статистичний матеріал про їх відмови. На основі методу експертних оцінок встановлено рівень аварійності електродвигунів у Київській області та Житомирській областях. В результаті встановлено, що середній термін служби електродвигунів становить 2 роки, а аварійність становить 23%. Також виявилось, що причини відмов залежить від галузі сільськогосподарського виробництва та технологічного процесу. Дослідження, що проводяться нами, добре узгоджуються з відомими із літературних джерел.

Для аналізу надійності електроприводу слід класифікувати причини аварій електродвигунів. Статистика показує, що основними аварійними режимами електродвигунів є: заклинювання ротора, обрив фази мережі, тривалі технологічні навантаження, зниження опору ізоляції, погіршення умов

охолодження, вихід із ладу підшипникового вузла, наявність заводських дефектів.

Завдання, пов'язані з підвищенням надійності, передбачають знання законів розподілу терміну служби об'єкта. На жаль, проведені дослідження неможливо однозначно встановити тип розподілу терміну служби електродвигунів. Частина авторів вважають, що ці розподіли підпорядковуються законам Вейбулла, Релея, інша – експонентному. Ймовірно, закони розподілу напруження на відмову в окремих аварійних режимах різні, наприклад, обрив фази і заклинювання підпорядковуються експоненційному закону розподілу, а зменшення опору ізоляції, її пробій, внаслідок технологічних навантажень і зношування підшипників підпорядковуються закону Вейбулла або нормальному. У зв'язку з цим можна стверджувати, що композиція цих законів відповідатиме експоненційному розподілу [8]. Крім того, доведено, що при своєчасному проведенні технічних обслуговувань закон розподілу терміну служби прагне до експоненціального [4, 6]. Це справедливіше, якщо розглядати процес експлуатації після періоду прирацювання.

Апаратура управління електроприводу відрізняється великою різноманітністю. Основне призначення цих пристроїв: - здійснювати процеси пуску, гальмування, зміни швидкості електродвигуна робочої машини. Аналіз розглядаємих робочих машин показав, що основне поширення має асинхронний нерегульований електропривод. У зв'язку з цим більше застосовуються наступні апарати: автоматичні вимикачі, рубильники, магнітні пускачі, реле, кнопки управління, кінцеві вимикачі, перемикачі, тумблери, різні датчики рівнів, терморегулятори, прилади та пристрої автоматики. Вся апаратура управління разом із захисними пристроями розміщується в окремій шафі. Експлуатація показала, що термін служби всіх цих апаратів нижчий за паспортне значення. Проаналізуємо відмови апаратури управління та захисту. При експлуатації магнітних пускачів виникають такі види відмов: перегорання

котушок, зношування контактів, дефекти механічної частини. Перегорання котушок електромагнітної системи може відбуватися через неякісне намотування, заклинювання магнітної системи в розімкнутому стані, знижену напругу мережі, збільшення зазору між магнітними системами, внаслідок забруднення, появи вібрацій магнітної системи через пошкодження короткозамкнутого витка на магнітодроті. Зношування контактів відбувається через проходження підвищених струмів, збільшення часу горіння електричної дуги в момент розмикання, збільшення частоти включення, застосування неякісних матеріалів для виготовлення контактів, частих коротких замикань в ланцюзі електродвигуна. Дослідженнями [9] встановлено, що 40% відмов магнітних пускачів відбувається від впливу агресивного середовища, 35% – через низький рівень обслуговування, 25% – через неправильний вибір по навантаженню. Статистичні дані [13] показують, що 60% всіх відмов пов'язано з пошкодженням контактів і катушки електромагнітної системи (44% – контакти, 16% – катушка). Інші аварії припадають на несправності механічної частини. До явних відмов слід віднести відмови катушки, більшу частину відмов контактів.

У сільському господарстві застосовуються автоматичні вимикачі майже всіх типів, що випускаються промисловістю. Відмова елементів автоматичних вимикачів, представлені в порядку зменшення частоти появи, такі: обгорання та окислення контактів, корозія металевих частин, пошкодження теплового та електромагнітного розчіплювача, порушення цілісності дугогасних камер, руйнування корпусних деталей [10]. Найчастіше виникають відмови, пов'язані із виконанням функції комутації. Оскільки більшу частину часу автоматичні вимикачі перебувають у включеному стані (не комутуються), важко виявити їх приховані відмови між черговими ТО. Встановлено, що 50% відмов пов'язано з контактами.

До основних несправностей кнопок управління, перемикачів, рубильників, кінцевих вимикачів та іншої аналогічної комутаційної апаратури

відносяться: обгорання, забруднення та окиснення контактів, поломка механічної частини. Так як ці пристрої в процесі роботи безперервно комутуються, їх несправності призводять до явних відмов.

Математичні очікування та середньо-квадратичні відхилення термінів служби (у роках) деяких апаратів управління мають такі значення: автоматичні вимикачі – 4,84 та 1,63; магнітні пускачі – 4,55 та 1,79; пакетні вимикачі ПВМ, ПВ-2, П-3, ПЛМ – 2,9 та 0,3; кнопки управління типу КУ – 3,8 та 0,7; рубильники – 3,5 та 0,8; запобіжники НПН, ПРС, ПР-2 – 1,6 та 0,4; запобіжники ПР, ПН, НПР – 4,7 та 0,4 [10].

Надійність апаратів управління, виконаних на основі напівпровідникових елементів, дещо вища, їх термін служби становить 5-6 років. Основні причини виходу з ладу - аварійні режими роботи, невідповідність виконання по оточуючому середовищу, раптові відмови окремих елементів.

Окреме місце у апаратурі управління займають пристрої захисту електродвигунів від аварійних режимів роботи. Ці елементи електроприводу мають особливе значення, так як від їх стану та захисних якостей залежить термін служби основної частини електроприводу – електродвигуна [2, 8, 9, 12, 13,]. Крім того, ці пристрої дозволяють виявляти приховані відмови елементів електроприводу, що істотно знижує можливі збитки від відмов. Найширше застосування як апаратів захисту електродвигунів мають теплові реле та теплові розчіплювачі автоматичних вимикачів. Це найбільш прості пристрої по конструкції, а при правильному регулюванні та експлуатації, досить надійно захищають електродвигуни від основних аварійних режимів. Застосування нових теплових реле серій РТЛ, РТТ ще більше підвищило надійність захисту електричної машини від неповнофазних режимів. Однак, за своїм принципом дії теплові реле не можуть захистити електродвигун, що працює з порушенням охолодження та має знижений опір ізоляції. Відмови теплових реле в залежності від частоти появи розташовуються наступним чином: вигорання та короблення нагрівальних елементів, порушення роботи важеля повернення

реле, пошкодження екранів та корпусу, зміна властивостей нагрівальних елементів та біметалевих пластин [10]. Всі ці відмови виявляються лише при виникненні аварійного режиму електродвигуна та невиконання захисних функцій.

Велике поширення у нас і за кордоном набули електронні засоби захисту. Вважається, що надійність та функціонально – захисні характеристики електронних пристроїв вищі ніж у механічних. Проте, їх надійність оцінюється конструктивно за важливою електричною схемою, тобто під час проектування. Фактично загальні показники надійності виявляються нижчими за розрахункові. Основними факторами, що впливають на виробничу надійність, є:

- складність електричної схеми, що призводить до збільшення кількості елементів і точок пайок;
- кількість плат і сполучних проводів, що збільшують ймовірність обриву при вібрації;
- технологія виготовлення плат (метод паяння, товщина провідників на платі, спосіб нанесення малюнка та травлення та ін.);
- кваліфікація монтажників та щільність розміщення деталей на платі (з'являються відмови при виробництві та експлуатації).

На експлуатаційну надійність впливає якість напруги живлення, захищеність корпусу від впливу навколишнього середовища, кількість з'єднувальних проводів з іншими апаратами електроприводу, кваліфікація обслуговуючого персоналу. Всі ці фактори знижують розрахункову надійність апарату. Так, наприклад, розрахункова можливість безвідмовної роботи УВТЗ-5 становить 0,98 за 1000 годин роботи, що відповідає 10-12 років безвідмовної роботи [12]. Однак протягом трьох років експлуатації спостерігалися численні відмови цих пристроїв. Крім того, їхнє серійне виробництво виявило високу трудомісткість виготовлення, велику кількість виробничого браку, появу поломок при транспортуванні. Таким чином, виникла необхідність розробки

модернізованого пристрою, позбавленого зазначених недоліків та з'явився пристрій УВТЗ-5М.

Висновки по розділу

Робота підприємств у сучасних ринкових умовах змушує шукати способи підвищення експлуатаційної ефективності окремих систем. Найактуальнішими є завдання підвищення економічних показників експлуатаційної ефективності. Процес функціонування тісно пов'язаний із надійністю технологічних систем. Кормоприготувальні підприємства свинарських ферм широко автоматизовані та електрифіковані, однак надійність електроприводів робочих машин дуже низька. Електропривод технологічних машин є нерегульованим асинхронним.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ

Дослідження надійності необхідно розпочинати з встановлення поняття відмови конкретної системи [5]. Це пов'язано з тим, що з деяких об'єктів відмовою вважатиметься як повна втрата працездатності, а й таке відхилення параметрів функціонування, у якому його подальша експлуатація неможлива з міркувань безпеки чи недоцільна за економічними ознаками. Електропривод аналізованих виробництв є відповідальною складовою системи отримання продукції і на час його включення жорстко регламентовано за часом доби.

У процесі досліджень оперують поняттями експлуатаційної та номінальної надійності [9]. Номінальна надійність характеризує здатність пристроїв функціонувати у номінальних режимах, обумовлених у технічних умовах нормативно-технічної документації. І тут розрахункові показники надійності визначаються стадії проектування елементів електропривода. Експлуатаційна надійність характеризує здатність елементів функціонувати у конкретних умовах експлуатації, що визначаються реальними режимами роботи, впливом довкілля, системою обслуговування та ремонту, кваліфікацією персоналу, який обслуговує обладнання. Визначення загальних показників експлуатаційної надійності провадиться на основі статистичних даних.

До загальновідомих показників надійності, які можна описати розподілом напрацювання до певної відмови невідновлюваних елементів слід віднести: функція надійності $P(t)$; щільність розподілу напрацювання повністю $f(t)$; інтенсивність відмов $X(t)$. Електропривод складається з кількох елементів, відмови яких незалежні. Відмови певних елементів системи має свої закони розподілу, суми їх потоків ординарні, а після періоду приробітку стають ординарними та стаціонарними [9]. Потік відмов усієї системи дорівнює сумі кількох незалежних ординарних, стаціонарних потоків відмов елементів і буде

приближатися до простішого. При зростанні кількості елементів системи загальний закон розподілу ще більше приблизиться до простішого. Електропривод виробництв, що розглядаються в даній роботі, як правило, містить кількість елементів, що значно перевищують мінімальний набір.

У процесі експлуатації електропривод, крім режиму функціонування, може бути у режимі відновлення. Обидві ці події багаторазові і є випадковими.

Для даної системи велике значення має властивість готовності під якою розуміють можливість перебувати значний проміжок часу у працездатному та готовому до застосування стані. Зазначене властивість характеризується функцією готовності $\Gamma(t)$ [8].

Функція готовності в своїй межі прагне свого стаціонарного значення:

$$\lim \Gamma(t) = \frac{m_t}{m_t + m_e} = k_2, \quad (2.1)$$

де m_t , m_e – математичне очікування, відповідно часу напрацювання на відмову та час відновлення;

k_2 – коефіцієнт готовності.

Коефіцієнт готовності є ймовірність того, що об'єкт буде знаходитися в працездатному стані в будь який момент часу, крім планованого періоду часу, протягом якого використання даного об'єкта за прямим його призначенням не передбачено [4, 5]. Відповідно до отриманої формули (2.1), коефіцієнт готовності є відношенням часу, протягом якого об'єкт працездатний, до загального часу експлуатації об'єкта. Для практичних розрахунків використовується його середнє значення за термін служби та при показових законах розподілу часу на відмову та часу відновлення можна використовувати таку формулу:

$$k_2 = \frac{T_o}{T_o + T_e} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{\mu}}, \quad (2.2)$$

де T_o , T_e – середній час, відповідно, напрацювання на відмову та відновлення;

μ – інтенсивність відновлення.

Крім розглянутого коефіцієнта готовності до комплексних показників надійності відносяться:

- коефіцієнт оперативної готовності;
- коефіцієнт вимушеного простою;
- коефіцієнт технічного використання [6].

Висновки по розділу

В другому розділі магістерської роботи розглянуто основні показники надійності електропривода, які впливають на експлуатаційну ефективність та запропонована формула для визначення коефіцієнта готовності.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ І ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Відомо, що якість функціонування будь-якого пристрою залежить від ступеня набуття надійності на етапах розробки, виготовлення та експлуатації. Втрата надійності на якомусь із цих етапів може в певній мірі компенсована на наступних. Тому для отримання надійного елемента або системи потрібна комплексна робота конструкторів та експлуатаційників.

Перший, що найбільш легко досяжний і не потребує модернізації електроприводу, шлях підвищення показників надійності – зміна періодичності ТО. Інтервал оптимальних коефіцієнтів готовності електроприводів можна підтримувати шляхом проведення технічного обслуговування у строки, зазначені у таблиці 3.1.

З таблиці 3.1 випливає, що рекомендована періодичність технічних обслуговувань збігається з оптимальною для більшості електроприводів, що працюють у цехах для приготування кормів, які готують на 300-600 голів ВРХ або свиней. ТО електричних приводів сільськогосподарських машин, які пов'язані з підготуванням кормів на 100 гол., можна проводити в два рази рідше в порівнянні з рекомендованими.

Одним із способів, що суттєво впливає на показники надійності, є збільшення терміну служби апаратури управління та захисту, що має кілька різних варіантів реалізації: покриття апаратури та шаф управління спеціальними захисними розчинами – леткими інгібіторами (роботи зі створення таких розчинів ведуться у Поліському національному університеті); герметизація шафи керування, заміна діючих апаратів на більш надійні аналогові, а за необхідності – на безконтактні. Найбільш прийнятний варіант можна вибрати лише у конкретних господарських умовах. Проте, можна провести попередню оцінку впливу цих заходів, визначивши підвищення

коефіцієнта готовності електроприводу зі збільшенням терміну служби апаратури управління.

Таблиця 3.1 – Оптимальна періодичність ТО електроприводів технологічних машин

Найменування машини	Діапазон зміни періодичності ТО		Кількість голів, штук
	$t_{\text{го.опт}}$, ГОД	$t_{\text{го.опт}}$, ДНІВ	
1	2	3	4
1. Кормоподрібнювач "Волгарь-5"	76- 63	25-21	200 св.
	25-19	8-6	2000 св.
2. Подрібнювач грубих кормів ИГК-30Б	32-24	11-8	2000 св.
3. Подрібнювач корене-плодів ИКС-5М	197-122	66-41	100 св.м.
	72-53	24-18	2000 св.
4. Подрібнювач каменевловлювач ИКМ-5	71-52	24-17	400 св.
	33-25	11-8	2000 св.
5. Транспортер корене-плодів ТК-5	47-34	16-11	400 св.
	25-19	8-6	2000 св.
	98- 78	33-28	100 св.м.
6. Транспортер ТС-40М	22 -18	7-6	1000 св.
	64- 53	21 - 18	100 св.м.
7. Дробарка ДКУ	45-31	15-10	800 св.
	89-76	30-25	200 св.
	25-21	8-7	2000 св.
8. Дробарка ДБ-5	30-21	10-7	800 св.
	18-15	6-5	2000 св.
9. Змішувач С-7	31 -24	10-8	800 св.
	20-15	7-5	2000 св.
10. Змішувач С-12	103 - 80	34-27	200 св.м.
	30-23	10-8	2000 св.
11. Запарник ЗПК-4	25-18	8-6	2000 св.
12. Варильний котел ВК-1	78-60	26-20	200 св.м.
	22-17	7-6	2000 св.
13. Варильний котел ВКС-3М	71-51	24-17	200 св.м.
	21-15	7-5	2000 св.

Примітка: у стовпці вказано час, через який необхідно проводити чергове ТО, у годинах фактичного напрацювання; св. – свині, св.м. – свиноматки.

Модернізувати електропривод можна також заміною існуючого пристрою захисту на більш надійний або більш відповідний конкретним умовам експлуатації за функціонально-захисними характеристиками. Методикам

вибору пристроїв захисту присвячено багато наукових праць, у тому числі дисертації Данилова В.М., Ґрундуліса А.О., Оськіна С. В. При використанні необхідно враховувати наступне:

1) надійність пристрів для захисту сутево впливає на надійність всього електричного приводу, саме це може сприяти виникненню ситуації, коли поява додаткового апарату для захисту підвищує термін служби електродвигуна, але знижує коефіцієнт готовності всього електроприводу;

2) при наявності однотипних пристрої для захисту, найефективніше використовувати такі які забезпечують самоконтроль справності та високою власною конструктивною та виробничою надійністю.

У роботі вибрано оптимальні засоби та заходи, що підвищують надійність електроприводу робочих машин сільськогосподарського виробництва (табл. 3.2). У таблиці запропоновані заходи щодо модернізації та терміни проведення ТО електроприводів тільки для зазначеного поголів'я. У 3-й колонці таблиці 3.2 зазначений розрахунковий термін служби електродвигуна при правильному та своєчасному налаштуванні пристрою захисту. Природно, у конкретних господарствах, рекомендовані способи підвищення надійності відрізнятимуться від оптимальних. Тим не менш, можна рекомендувати загальну стратегію підвищення якості функціонування, використовуючи отримані в дисертації таблиці - визначити її найбільш вигідний варіант.

Таблиця 3.2 – Розроблені строки проведення ТО для забезпечення підвищеної надійності електричних приводів машин цехів для приготування кормів

Найменування машини	k_e	Строк служби ел. двигуна, год.	Кількість голів	Періодичність ТО, неділь	Рекомендована модернізація по пристосуванню захисту
1. Кормоподрібнювач "Волгарь-5"	0,960	5,5	100	8	ні
	0,975	5,5	200	4	У В ТЗ
	0,986	9	1000	3	
2. Подрібнювач грубих кормів ИГК-30Б	0,976	6,0	300	4	ні
	0,988	9,0	3000	3	УВТЗ + зах. П
3. Подрібнювач коренеплодів ИКС-5М	0,878	6,1	200	11	
	0,979	8	3000	5	УВТЗ + зах. П
4. Подрібнювач каменевловлювач ИКМ-5	0,949	4,1	400	5	ні
	0,969	4,1	800	3	ні
	0,979	9,1	3000	3	УВТЗ + зах. П
5. Транспортёр коренеплодів ТК-5	0,978	9,0	800	4	УВТЗ
	0,979	7,6	800	3	ні
	0,949	7,6	200	7	ні
6. Транспортёр ТС-40	0,989	9,0	1000	3	У В Т З + зах. П
	0,969	4,4	300	4	-
	0,959	4,4	200	5	ні
7. ДКУ	0,979	7,1	1000	4	ні
	0,968	7,1	300	5	ні
	0,971	9,0	300	6	УВТЗ
	0,989	10,3	3000	4	УВТЗ + зах. П
8. ДБ-5	0,892	12,5	1000	5	УВТЗ
9. С-7	0,949	11,9	1000	5	УВТЗ + защ. П
	0,944	10,9	1000	5	У В Т З
10. Змішувач С-12	0,9439	5,6	300	9	ні
	0,919	5,6	200	13	ні
	0,989	10,1	3000	4	УВ ТЗ + зах. П
11. Запарювальник ЗПК-4	0,984	4,4	3000	2	ні
	0,983	9,0	3000	4	У В Т З
12. Котел для варки ВК-1	0,942	5,7	300	4	ні
	0,984	9,0	3000	3	У В Т З
	0,947	11,0	300	6	УВ ТЗ + зах.П
13. Котел для варки ВКС-3М	0,985	5,7	300	3	ні
	0,988	10,8	3000	3	УВТЗ + защ. П

Примітка: УВТЗ + зах. П -рекомендується встановити пристрій вбудованого температурного захисту та захист від зниження опору ізоляції електродвигуна

Для електроприводів робочих машин, що працюють у кормоцехах, рекомендується встановлення пристроїв вбудованого температурного захисту. Слід зазначити, що ефективним способом отримання високої надійності електричного приводу є використання безвідмовного захисту з високими функціонально-захисними характеристиками. За пристроями захисту АЧИМСХ було виконано дослідження від розробки схем до організації серійного виробництва та експлуатації промислових виробів у реальних умовах. З 1990 року промисловість випускає сільського господарства пристрій захисту УВТЗ-5М, схема якого наведено рис. 3.1.

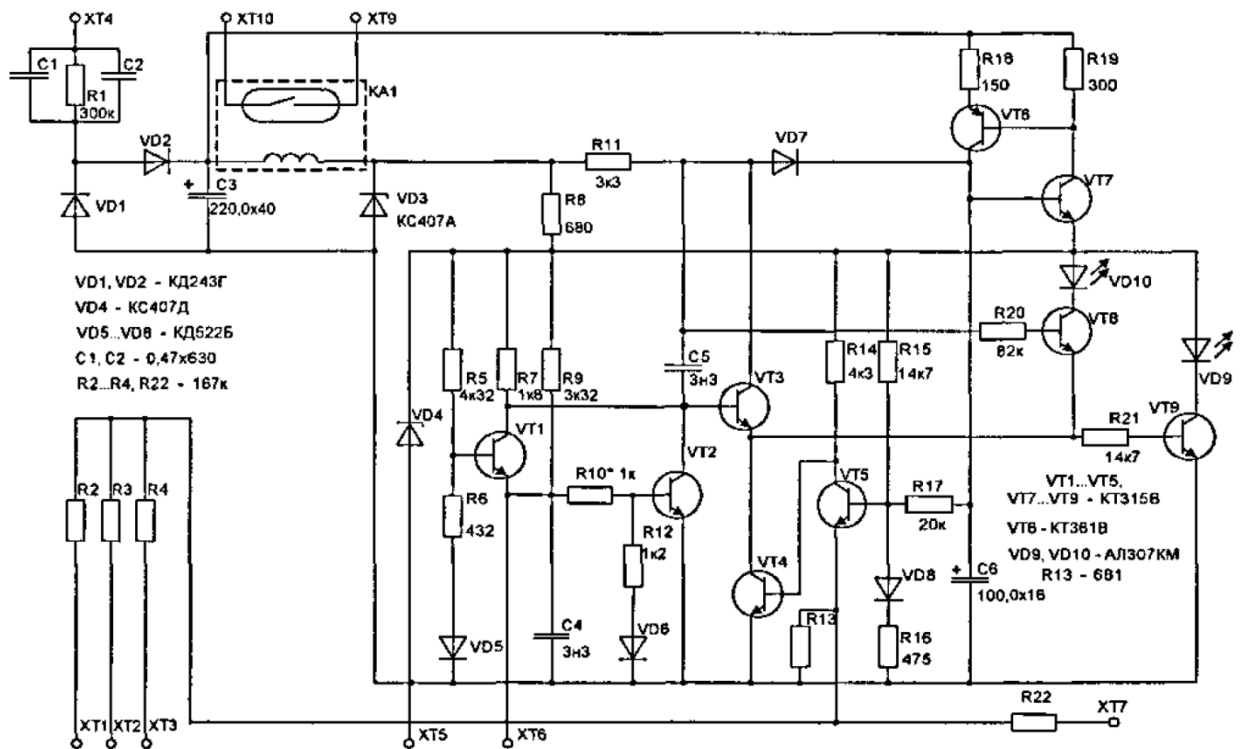


Рис. 3.1. Схема стандартного пристрою для захисту

Сутево повисити коефіцієнт готовності електричного приводу і термін служби електричного двигуна можна додавши даний пристрій, що контролює опір ізоляції обмоток статора. Однак, введення додаткового елемента може призвести до зменшення загальної надійності. Враховуючи вище сказане був

розроблений пристрій УВТЗ-5МІ, який доповнений елементами, що не знижують загальну надійність пристрою (рис. 3.2).

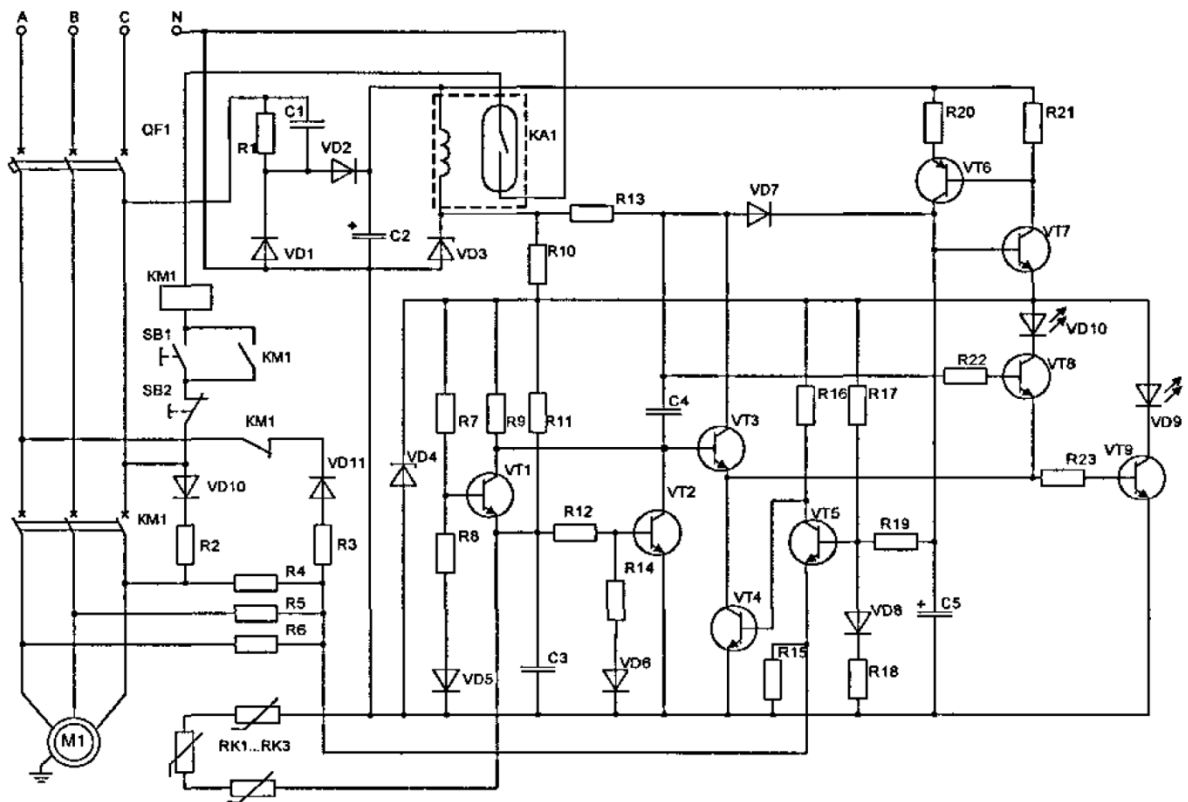


Рис. 3.2. Схема пристрою захисту УВТЗ-5МІ

Пристрій працює в такий спосіб. При відключеному електричному двигуні від мережі точку резисторів R4 - R6 подається негативна напівхвиля напруги з фази через контакт розмикання пускача (магнітного) KM 1 і діод (VD 11). У дану точку також подається напівхвиля напруги (позитивна) з фази через діод (VD10) та резистори R2 і R4. Якщо опір ізоляції нормальний – більше 0,5 МОм, то у загальній точці форма напруги має вигляд представлений на рис. 3.3. Позитивна напівхвиля не впливає на роботу пристрою, а негативна дуже мала і не спричинить спрацювання пристрою. Якщо опір ізоляції знизиться нижче допустимого, то частина струму з фази піде через обмотки статора на заземлюючий провід. Це призведе до того, що негативної напруги стане більше ніж позитивної і форма напруги набуде вигляду, представленого на рис. 3.4. Тоді негативні напівхвилі почнуть відкривати транзистор VT5, що призведе, зрештою, до спрацювання пристрою та загоряння світлової

сигналізації VD9. Після цього електричний двигун неможна включити, не усунувши аварію. Після усунення аварії необхідно вимкнути і ввімкнути автоматичний вимикач QF1.

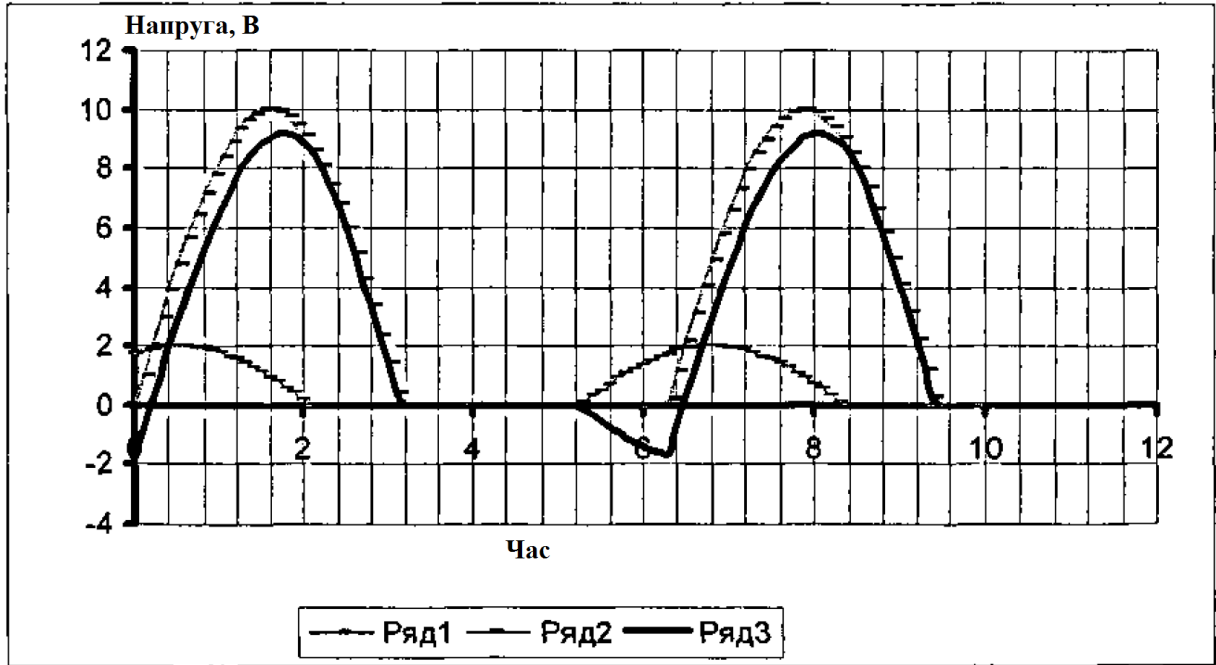


Рис. 3.3. Форма напруги у загальній точці резисторів (R 4 – R 6) при опорі ізоляції, яка знаходиться в нормальному стані.

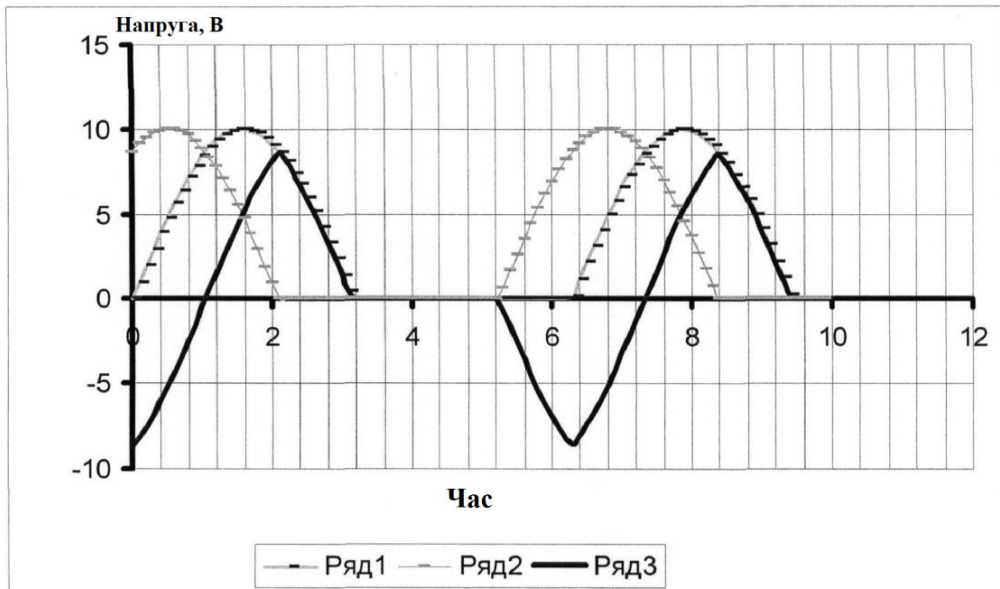


Рис. 3.4. Напруга в загальній точці резисторів (R 4 – R 6) при опорі ізоляції, яка знаходиться в нормальному стані.

Висновки по розділу

1. На підставі розроблених існуючих діаграм та отриманих результатів моделювання визначено оптимальні діапазони періодичності ТО електроприводів робочих машин залежно від поголів'я тварин, що дозволяє підвищити якість функціонування даного типу електрообладнання.

2. Складено таблицю рекомендованих заходів щодо підвищення експлуатаційної ефективності електроприводів робочих машин, що дає можливість для конкретного об'єкта вибрати найбільш прийнятний варіант. З таблиці також можна зробити висновок, що у електроприводах робочих машин кормоцехів, які обслуговують тварин понад 1000 голів необхідно встановлювати пристрої захисту електродвигунів типу УВТЗ, доповнене пристроєм захисту від зниження опору ізоляції. Це дозволить зберегти періодичність ТО електроприводу в рекомендовані терміни.

3. Використання пристрою вбудованого температурного захисту типу УВТЗ-5МІ в електроприводах робочих машин дозволяє підвищити коефіцієнт готовності на 10-15%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Отримані математичні моделі надійності асинхронних електроприводів кормоприготувальних машин дозволяють розраховувати показники надійності як у стаціонарному, так і перехідному режимах експлуатації.

2. На підставі результатів моделювання визначено оптимальні діапазони періодичності ТО електроприводів робочих машин залежно від поголів'я тварин, що дозволяє підвищити ефективність експлуатації електрообладнання.

3. Використовуючи розрахункові формули, складено таблицю рекомендованих заходів щодо підвищення показників ефективності експлуатації електричних приводів сільськогосподарських машин, в результаті чого можна зробити висновок, що в цехах з приготування кормів, які обслуговують понад 1000 голів тварин, необхідно встановлювати пристрої захисту електродвигунів типу УВТЗ, доповнений пристроєм захисту від зниження опору ізоляції. Це дозволить зберегти періодичність ТО електроприводу в рекомендовані терміни.

4. Розроблено пристрій захисту електродвигунів УВТЗ-5 МІ, який контролює опір ізоляції статорної обмотки електродвигуна. Використання цього пристрою дозволяє підвищити коефіцієнт готовності електроприводу на 10-15%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жулай Є.Л., Зайцев Б.В. та ін. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній. Підручник. Київ: Вища освіта, 2001. 288 с.
2. Александровская А.Н., Гванцеладзе И.А. Организация технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования. Москва : Издательский центр «Академия», 2016. 336 с.
3. Галкин А.Г., Ковалев А.А. Техническая диагностика устройств электроснабжения. Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения, 2021. 126 с.
4. Мандыч Н.К. Ремонт электродвигателей. Киев: Техника, 1989. 152 с.
5. Сейчанова Д.Г., Пархоменко М.Н., Енкенов Б.Б., Сыздыков Б.А. Автоматизация и защита систем автоматизированных приводов. Нур-Султан: НАО Холдинг Кэсіпқор, 2019. 149 с.
6. Зимин Е.Н. Защита асинхронных электродвигателей напряжением до 500 В. Москва : Госэнергоиздат, 1962. 56 с.
7. Кузнецов Б.В., Сацукевич М.Ф. Асинхронные электродвигатели и аппараты управления. Минск : Беларусь, 1982. 222 с.
8. Савицкас Р.К., Картавцев В.В. Электротехнологии в животноводстве и растениеводстве. Воронеж, 2008. 66 стр.
9. Кудрявцев И.Ф. Электрооборудование животноводческих предприятий и автоматизация производственных процессов в животноводстве. Москва : Колос, 1979. 368 с.
10. Воробьев В.А., Калинин В.В., Колчинский Ю.Л. и др. Механизация и автоматизация сельскохозяйственного производства. Москва : Колос, 2004. 541 с.

11. Recalde R.I.G. Induction Motors: Applications, Control and Fault Diagnostics. AvE4EvA, 2015. 381 p.
12. Thomson W., Culbert I. Current Signature Analysis for Condition Monitoring of Cage Induction Motors: Industrial Application and Case Histories. Wiley-IEEE Press, 2017. 427 p.
13. Gomis-Bellmunt O., Campanile F. Design Rules for Actuators in Active Mechanical Systems. Springer, 2009. 205 p.
14. Herman S. Electric Motor Control. 9th Edition. Cengage Learning, 2009. 473 p.