

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.313.333.2

doi: 10.31498/2225-6733.38.2019.181416

© Кривонос В.Є.¹, Федосова І.В.², Василенко С.В.³

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРИСТРОЮ ДІАГНОСТИКИ ТА ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ В УМОВАХ ЗАПИЛЕНОГО СЕРЕДОВИЩА

Асинхронні двигуни (АД) є найбільш поширеними електроспоживачами. Частка АД від всіх електроприймачів, які працюють на напрузі до 1000 В, становить до 70% від загального числа. Основною причиною скорочення терміну служби роботи електричних машин, що працюють в умовах підвищеної запиленості навколишнього середовища, є прискорене старіння ізоляції статорних обмоток. В умовах відмови ряду підприємств України від планово-попереджувальних ремонтів і переходу до профілактики за фактом, своєчасне виявлення аномального режиму роботи АД є запорукою безаварійної роботи підприємства. Товщина шару пилу для двигунів потужністю 50 кВт і вище спостерігається від 2 до 5 сантиметрів, при цьому нижня частина лобової обмотки залишається непокритою пилом. Шар пилу на поверхні ізоляції обмоток АД призводить до зниження тепловіддачі і локального підвищення температури ізоляції під шаром пилу. Розробка способу діагностики причин теплового навантаження ізоляції статорних обмоток ізоляції і температурного захисту АД, визначення умов настання моменту проведення профілактичних робіт, створення алгоритмів і програмного забезпечення для пристроїв температурного захисту АД є актуальним завданням. Відповідно до рівняння теплового балансу АД і з огляду на ослаблення теплового потоку від ізоляції обмотки статора АД до повітря, вважаючи плоско паралельними стінки пилу, отримано вираз визначення критичного покриття ізоляції пилом, що є критерієм визначення початкового моменту профілактичних робіт. Теоретичні та експериментальні дослідження дозволили розробити новий спосіб температурного захисту АД, новизна якого полягає у вимірюванні та порівнянні температур теплових датчиків, встановлених на запилюваній і незапилюваній поверхнях ізоляції обмотки статора АД. Встановлено: термін експлуатації АД, які працюють в умовах запиленості середовища, залежить від локального перегріву ізоляції. Покриття поверхні ізоляції пилом товщиною 3 і вище сантиметрів скорочує термін експлуатації АД в 1,8-2,3 рази. Критерієм визначення початкового моменту проведення профілактичних робіт є різниця температур покритої і непокритої пилом ізоляції, яка не перевищує 5 °С. Однотимчасне перевищення температурою ізоляції в місцях виміру допустимого значення є критерієм визначення пошкодження в АД, приводному механізмі або наявності несиметричних напруг мережі живлення; в цьому випадку АД відключається від мережі.

Ключові слова: асинхронний двигун, температурний захист, локальний перегрів ізоляції, програмне забезпечення.

Кривонос В.Є., Федосова І.В., Василенко С.В. Програмное обеспечение для устройства диагностики и тепловой защиты электродвигателей, эксплуати-

¹ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, yhtverf007@ukr.net

² д-р пед. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, irivasilevna1964@gmail.com

³ інженер, ВАТ «Сателит», м. Маріуполь, yasilenkosergey1983@gmail.com

руемых в условиях запыленной среды. Асинхронные двигатели (АД) являются наиболее распространёнными электропотребителями. Доля АД от всех электроприемников, работающих на напряжении до 1000 В, составляет до 70% от общего числа. Основной причиной сокращения срока службы работы электрических машин, работающих в условиях повышенной запыленности окружающей среды, является ускоренное старение изоляции статорных обмоток. В условиях отказа ряда предприятий Украины от планово-предупредительных ремонтов и переходу к профилактикам по факту своевременное выявление аномального режима работы АД является залогом безаварийной работы предприятия. Толщина пыли для двигателей мощностью 50 кВт и выше наблюдается от 2 до 5 сантиметров, при этом нижняя часть лобовой обмотки остается чистой. Слой пыли на поверхности изоляции обмотки АД приводит к снижению теплоотдачи и локальному повышению температуры изоляции под слоем пыли. Разработка способа диагностики причин тепловой перегрузки изоляции статорных обмоток и температурной защиты АД, определение условий наступления момента проведения профилактических работ, создание алгоритмов и программного обеспечения для устройств температурной защиты АД является актуальной задачей. Согласно уравнению теплового баланса АД и учитывая ослабление теплового потока от изоляции обмотки статора АД к воздуху, считая плоскопараллельными стенки пыли, получено выражение определения критического покрытия изоляции пылью, что является критерием определения начального момента профилактических работ. Теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать новый способ температурной защиты АД, новизна которого состоит в измерении и сравнении температур тепловых датчиков, установленных на запыляемой и незапыляемой поверхностях изоляции статорной обмотки АД. Установлено: срок эксплуатации АД, работающих в условиях запыленности среды, зависит от локального перегрева изоляции. Покрытие поверхности изоляции пылью толщиной 3 и выше сантиметров сокращает срок эксплуатации АД в 1,8-2,3 раза. Критерием определения начального момента проведения профилактических работ является разница температур изоляции покрытой и непокрытой пылью, которая не превышает 5 °С. Одновременное превышение температурой изоляции в местах измерения допустимого значения является критерием определения повреждения в АД, приводном механизме или наличия несимметричных напряжений сети питания; в этом случае АД отключается от сети.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, температурная защита, локальный перегрев изоляции, программное обеспечение.

V.E. Krivonosov, I.V. Fedosova, S.V. Vasilenko. Software for device diagnostics and thermal protection of electric motors under dusty operating conditions. Asynchronous motors (AM) are the most common electrical consumers. The share of AM of all power consumers operating at voltages up to 1000 V is up to 70% of the total number. The main reason for electric machines service life reduction in severe environment pollution with dust is accelerated aging of the insulation of the stator windings. In consequence of the fact that a number of enterprises of Ukraine changed from scheduled preventive maintenance to repairs in case of emergency, the timely detection of abnormal operating conditions of AM is the key to trouble-free operation of the enterprise. The thickness of the dust layer, for engines with the power of 50 kW and more, may vary from 2 to 5 centimeters, while the lower part of the frontal winding remains clean. The dust layer on the surface of the insulation windings AM leads to a decrease in heat transfer and a local increase in the temperature of the insulation under the dust layer. Development of a method for diagnosing the causes of thermal overload of the stator windings insulation and temperature protection of AM, determining the conditions for the onset of maintenance, the creation of algorithms and software for devices for temperature protection of AM is a pressing task. According to the equation of heat balance of AM and taking into account the decrease of heat flow from the insulation of the stator winding to the air, assuming the walls

of dust plane-parallel, the expression for determining the critical coating of insulation with dust has been obtained, which is the criterion for determining the initial moment of preventive work. Theoretical and experimental studies have made it possible for us to develop a new method of AM temperature protection. The novelty of the method consists of measuring and comparing the temperatures of thermal sensors installed on the dusty and non-dusty surfaces of the insulation of the stator winding of the AM. It has been established that the term of AM operation in dusty environments, depends on local overheating of the insulation. 3 cm and more dust layer on the surface of the insulation shortens the life of AM by 1,8-2,3 times. The criterion for determining the initial moment of the maintenance is the temperature difference of the insulation covered and not covered with dust, which does not exceed 50 °C. Simultaneous surpassing of the insulation temperature at the measurement points above the permissible value is a criterion for either the AM damage or the driving gear damage, or the presence of asymmetrical voltage in the mains; in this case the AM must be disconnected from the mains.

Keywords: asynchronous motor, temperature protection, local insulation overheating, software.

Постановка проблеми. Асинхронні двигуни (АД) є найбільш поширеними електроспоживачами. Частка АД від всіх електроприймачів, які працюють на напрузі до 1000 В, становить до 70% від загального числа [1]. Основною причиною скорочення терміну служби роботи АД, що працюють в умовах підвищеної запиленості навколишнього середовища, є прискорене старіння ізоляції статорних обмоток.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Статистичні дослідження [2] показують, що причиною 80-85% виходів з ладу АД, що працюють в умовах чорної металургії, гірничо-переробних комплексів, вугільно перевантажуючих терміналів портів і т. д., є втрата діелектричної властивості ізоляції статорних обмоток АД. В умовах відмови ряду підприємств України від планово-попереджувальних ремонтів і переходу до профілактики за фактом, своєчасне виявлення аномального режиму роботи АД потребує розробки нових методів та пристроїв діагностики, що є запорукою безаварійної роботи підприємств. Проведення спрямованого профілактичного ремонту скорочує чисельність обслуговуючого персоналу і грошово-матеріальні витрати.

Як відомо [3], термін служби ізоляції визначається виразом:

$$T_{\text{ізол}} = A \cdot e^{-y\Theta}, \quad (1)$$

де A і y – коефіцієнти, які залежать від класу ізоляції; Θ – температура.

Для класу ізоляції А при температурі 95°C $T_{\text{ізол}}$ – 16 років; при температурі 110°C $T_{\text{ізол}}$ – 4 роки; при температурі 150°C $T_{\text{ізол}}$ – кілька днів.

Перегрів ізоляції статорних обмоток АД вище допустимого значення навіть на 8-10°C призводить до зниження терміну служби АД в два і більше разів. Тривала експлуатація АД в умовах підвищеної запиленості навколишнього середовища призводить до покриття верхньої лобової частини обмоток статора АД пилом. Товщина пилу для двигунів потужністю 50 кВт і вище спостерігається від 2 до 5 сантиметрів, при цьому нижня частини лобової обмотки залишається не покритою пилом. Шар пилу на поверхні ізоляції обмоток АД призводить до зниження тепловіддачі і локального підвищення температури ізоляції під шаром пилу.

Для виявлення перегріву ізоляції статорних обмоток електричних машин існує ряд методів і пристроїв теплової захисту. Одним з методів є установка комутаційних апаратів з вбудованими тепловими елементами [4]. Недоліком цього способу є неможливість контролювати локальне підвищення температури ділянки ізоляції обмотки статора АД, а низька чутливість апарату призводить до його спрацьовування при значному перегріві ізоляції як від струмового перевантаження АД, так і від запилення ізоляції, і це веде до скорочення строку служби ізоляції.

Відомі способи температурного захисту електричних машин, які реалізовані в пристроях [5-7]. У цих пристроях вимірюють температуру лобової частини обмоток статора АД за допомогою датчика температури, розміщеного на обмотці статора АД. При перевищенні температурою датчика допустимого значення відбувається відключення АД від мережі живлення. Недоліком таких технічних рішень є те, що температура ізоляції вимірюється в одній точці, але пе-

ревищення температури ізоляції може бути нерівномірним, що може статись у випадках виткового замикання в обмотках статора, неповнофазних режимів в мережі живлення і локального запилення поверхні ізоляції обмоток статора АД. Будь-яка причина, яка веде до підвищення температури ізоляції обмоток, призведе до відключення АД від мережі живлення, що не завжди доцільно. Так в разі запилення обмоток статора АД пилом відключати АД від мережі живлення немає необхідності, досить сигналізувати про це і провести своєчасну профілактичну роботу.

Реалізація вище описаних способів і пристроїв не дозволяє однозначно визначити причину перегріву ізоляції обмоток, виключити помилкові відключення електричної машини від мережі, попередити початок розвитку прискореного процесу старіння ізоляції через її надмірне покриття пилом і своєчасно проводити профілактичні роботи. Тому своєчасне виявлення локальних перегрівів ізоляції обмоток АД, встановлення початкового моменту проведення профілактичних робіт є важливим і актуальним.

Мета дослідження – розробка неруйнуючого способу діагностики причин теплового навантаження ізоляції статорних обмоток і температурного захисту АД; визначення умов настання моменту проведення профілактичних робіт; розробка алгоритмів і програмного забезпечення для пристроїв температурного захисту АД.

Виклад основного матеріалу. Розрахункові і експериментальні дані показали, що залежність різниці температур чистої і запиленої ізоляції від товщини пилу є лінійною і залежить від теплопровідності пилу [8].

Тривала експлуатація АД в умовах підвищеної запиленості навколишнього середовища призводить до покриття верхньої лобової частини обмоток статора пилом.

Відповідно до рівняння теплового балансу АД:

$$dQ = \Delta P dt = c m d\Theta + k_{mo} s_n \Theta dt, \quad (2)$$

де dQ – втрати теплової енергії, виділені в АД при протіканні робочого струму; c – питома теплопровідність АД; m – маса АД; s_n – площа охолодження АД; k_{mo} – коефіцієнт тепловіддачі; Θ – перевищення температури АД над температурою навколишнього середовища.

І з огляду на ослаблення теплового потоку q від ізоляції обмотки статора до повітря, вважаючи плоско паралельними стінки пилу, що визначається виразом:

$$q = -\alpha \frac{d\Theta}{dx}, \quad (3)$$

де q – тепловий потік; α – коефіцієнт теплопровідності пилу; Θ – температура зміни потоку уздовж осі x .

Перетворимо рівняння (2) і (3), отримуємо залежність товщини покриття пилу H від різниці температур ізоляції покритої і непокритої пилом $\Delta\Theta_{yc}$ в встановленому тепловому режимі АД:

$$H = \frac{\alpha \cdot \Delta\Theta_{yc}}{\frac{\Delta P}{s_n} - \Delta\Theta_{yc} k_{mo}}, \quad (4)$$

де $\Delta\Theta_{yc} = \Delta\Theta_{yc2} - \Delta\Theta_{yc1}$; $\Delta\Theta_{yc1}$ – температура ізоляції, непокритої пилом; $\Delta\Theta_{yc2}$ – температура ізоляції під пилом завтовшки H .

Вираз (4) показує, що перевищення температури ізоляції залежить від товщини пилу і її теплопровідності. Таким чином, порівнюючи температури ізоляції покритої пилом і непокритої пилом, можна судити про товщину шару пилу на поверхні ізоляції. Результати проведених експериментальних досліджень залежності температури ізоляції обмоток АД від товщини пилового покриття і складу пилу наведені на рис. 1.

Теоретичні та експериментальні дослідження дозволили розробити новий спосіб температурного захисту АД [9]. На рис. 2 представлена схема розміщення температурних датчиків на поверхні статорних обмоток АД.

Для АД, що працюють в описаних вище умовах, розроблено спосіб та пристрій [8] температурного захисту АД та визначення товщини шару пилу на поверхні ізоляції, блок-схема якого наведена на рис. 3.

Новизною розробленого пристрою є те, що діагностика струмового перевантаження і визначення товщини пилового покриття здійснюється за двома значеннями температур та швидкості їх зміни.

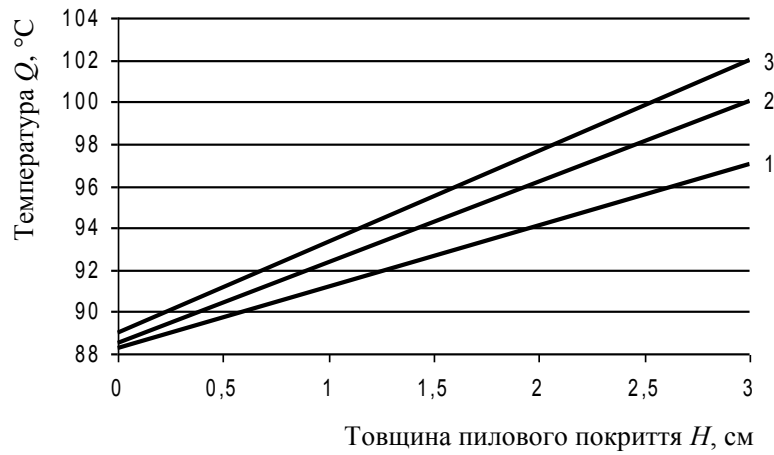


Рис. 1 – Залежність температури ізоляції обмоток АД від товщини пилового покриття і складу пилу: 1 – окалина прокатного стану; 2 – графітова пил; 3 – гіпсова будівельна суміш

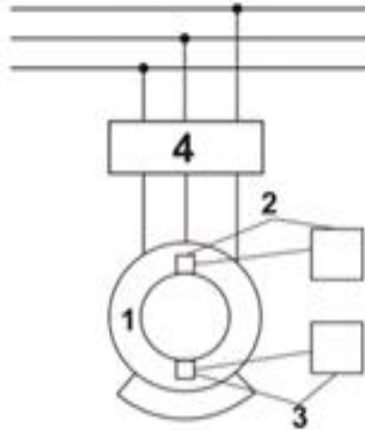


Рис. 2 – Схема розташування температурних давачів на поверхні обмоток статора АД: 1 – АД, 2 і 3 – температурні датчики с АЦП та показниками температур, 4 – комутаційний блок



Рис. 3 – Блок-схема пристрою діагностики теплового навантаження та температурного захисту АД

Для виконання умов діагностики температурного перевантаження ізоляції треба виконати умови: 1) на поверхні обмоток АД, схильних і несхильних до запилення, встановлюються температурні датчі; 2) за значеннями температур датчів визначається струмове перевантаження, граничне локальне запилення ізоляції, товщина пилового покриття обмотки.

Виявлення граничного запилення визначає момент проведення профілактичних заходів.

На рис. 4 приведена логічна схема проходження інформаційних сигналів, сигналів виміру контрольованих величин, командних сигналів, що управляють.

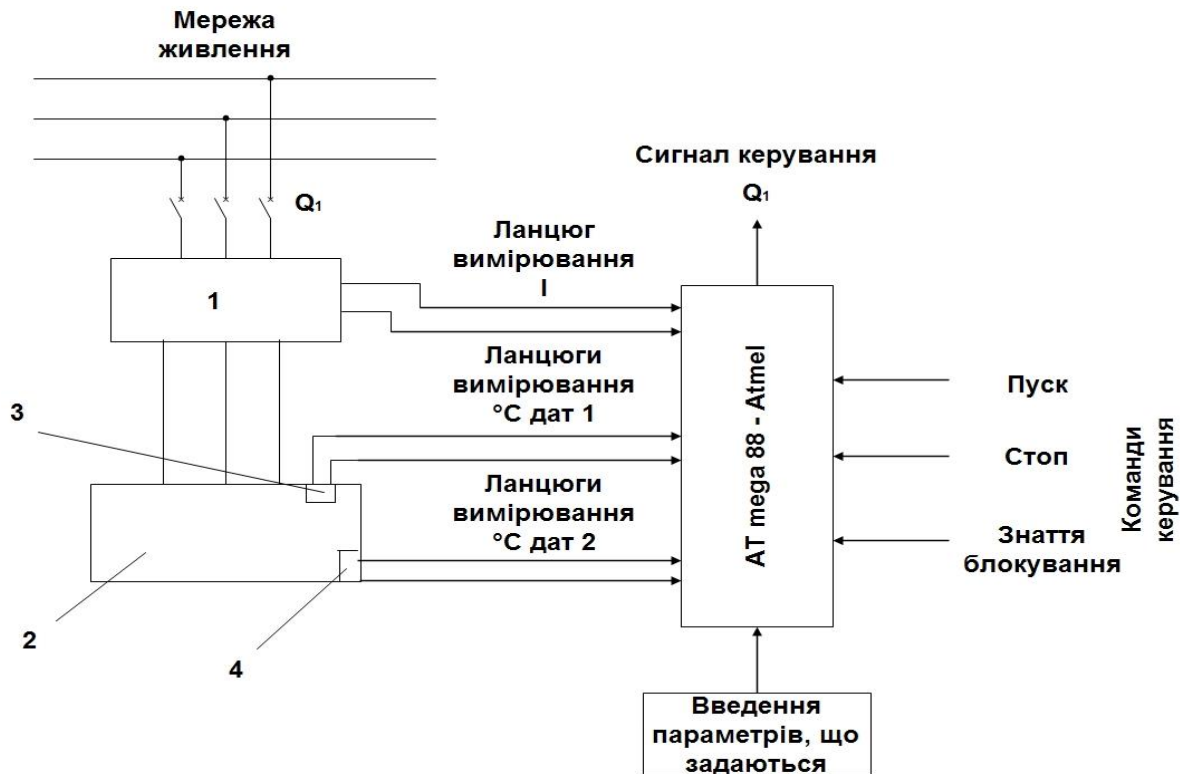


Рис. 4 – Логічна схема проходження інформаційних сигналів, сигналів виміру контрольованих величин, командних сигналів, що управляють: 1 – блок трансформаторів струму; 2 – електроспоживач; 3 – перший датчик виміру температури ізоляції; 4 – другий датчик виміру температури ізоляції, Q_1 – пускач (вимикач) для включення і відключення електроспоживача

Для роботи мікроконтролера розроблено алгоритм та програму діагностики причин теплового навантаження і температурного захисту АД [10], що представлено на рис. 5.

Програма працює таким чином. Встановлюють датчики температури на запилених і незапилених ділянках поверхні ізоляції. Вступ команди «Пуск», що управляє, призводить до перевірки наявності команди «Блокування». За відсутності «Блокування» виконується підключення електроустаткування до живильної мережі. В період роботи електроустаткування вимірюють величини температур першого і другого датчиків. При відсутності струмового перевантаження і запилювання поверхні ізоляції температурні показники датчиків однакові. Температурні свідчення поступають на вхід мікроконтролера і обробляються. На дисплеї відображаються температурні значення датчиків і величина струму. Збільшення струмового навантаження, що відбувається з причин зміни режимів мережі або виникнення внутрішніх поломок електроустаткування, призводить до одночасного підвищення температурних значень обох датчиків. Ця інформація поступає в мікроконтролер, обробляється, і при досягненні температур датчиків допустимої величини, наприклад, 95°C, на виході мікроконтролера сформується сигнал, який поступить у блок управління і сигналізації; включається сигналізація, яка сповіщає, що відбулось струмове перевантаження. При досягненні температурою датчиків критичного значення, на-

приклад, 105°C , пускач Q_1 відключить від мережі електроустаткування, включить команду «Блокування» і сигналізацію про струмове перевантаження. В процесі роботи відбувається запилювання поверхні ізоляції нерівномірним шаром. Температурне значення датчика, встановленого на запиленій частині ізоляції, буде вище за температурне значення другого датчика. Температурна інформація поступає на вхід мікроконтролера і обробляється. За виразом (3) визначають товщину пилового покриву, включається сигналізація про необхідність заміни фільтру або проведення профілактичних робіт. Діагностування причин температурного перевантаження електроустаткування дозволяє однозначно визначити причину температурного перевантаження і своєчасно захистити електроустаткування від перегрівання, тим сам підвищити термін його експлуатації.

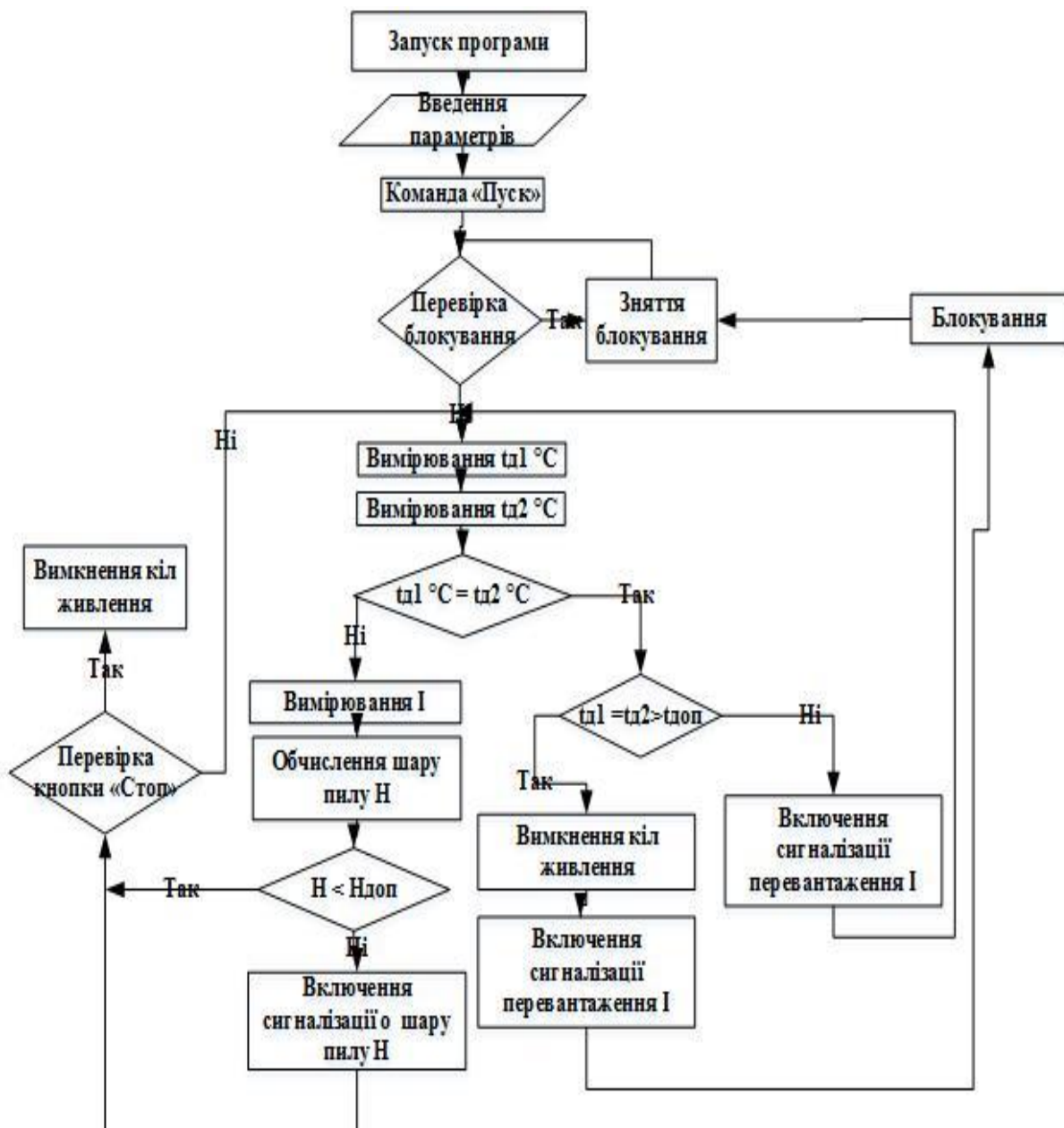


Рис. 5 – Алгоритм роботи пристрою діагностики причин теплового навантаження і температурного захисту ЕО: $t_{д1}$ – температура першого давача, $t_{д2}$ – температура другого давача, $t_{доп}$ – допустима температура нагріву ізоляції, H – товщина шару пилу, $H_{доп}$ – допустима товщина шару пилового покриття, I – сила струму навантаження

На рис. 6 приведений протокол роботи комп'ютерної програми «Діагностика причин температурного перевантаження і захист електроустаткування від перегрівання».

```

Меню:
0 – Ввод параметров.
1 – Запуск работы.
Выбор:

Меню изменения:
0 – Изменение tдоп.
1 – Изменение R.
2 – Изменение Al.
3 – Изменение Hдоп.
4 – Назад.
Выбор:
0
Ввод значения tдоп:
105

Проверка Блокировки!
Блокировка отключена. Продолжение работы.
Измерение температуры tд1: 106

Измерение температуры tд2: 106

Отключение цепей питания.
Включение сигнализации перегрузки I.
Проверка Блокировки!
Включена блокировка. Снять блокировку? (0-да 1-нет): 0

Измерение температуры tд1: 20
Измерение температуры tд2: 25
Измерение тока I: 20

Вычисление слоя пыли H: 0.001875 м.
Проверка нажатия на кнопку СТОП!
Кнопка СТОП нажата?(0-да, 1-нет): 0

Отключение цепей питания.Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
    
```

Рис. 6 – Протокол роботи комп'ютерної програми «Діагностика причин температурного перевантаження і захист електроустаткування від перегрівання»

Висновки

1. Термін експлуатації АД, які працюють в умовах запиленого середовища, залежить від локального перегріву ізоляції.
2. Покриття поверхні ізоляції шаром пилу 3 і вище сантиметрів скорочує термін експлуатації АД в 1,8-2,3 рази.
3. Критерієм визначення початкового моменту проведення профілактичних робіт є різниця температур ізоляції покритої і непокритої пилом, яка не перевищує 5°C.
4. Одночасне перевищення температурою ізоляції у двох місцях виміру допустимого значення є критерієм визначення пошкодження у АД або у приводному механізмі, або наявності неякісної мережі живлення, при цьому АД відключається від мережі.

Перелік використаних джерел:

1. Архипцев Ю.Ф. Асинхронные электродвигатели / Ю.Ф. Архипцев, Н.Ф. Котеленец. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 104 с.
2. Ямова С.Я. Старение, стойкость и надежность электрической изоляции / С.Я. Ямова, Л.В. Ямова. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 176 с.
3. Вольдек А.И. Электрические машины: учебник для студентов ВУЗов / А.И. Вольдек. – Изд. 2-е перераб. и доп. – Л. : Энергия, 1974 г. – 267 с.
4. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд. – Х. : Форт, 2009. – 704 с.
5. Пат. 16922 Україна, МПК Н 02 Н 5/00. Пристрій температурного захисту // О.Б. Кац, В.С. Дзюбан, А.О. Дубинський. – № u200607630; заявл. 10.07.06; опубл. 15.08.06, Бюл. № 8. – 3 с.
6. А. с. 1584028 СССР, МПК Н 02 Н 7/08, 7/085. Устройство для контроля и защиты электродвигателя от неполнофазных режимов и витковых замыканий / И.В. Жежеленко, В.Е. Кри-

- воносов, Б.Ф. Рыбалко. – № 4389543/24-07; заявл. 09.03.88; опубл. 07.08.90, Бюл. № 29.
7. Пат. 53896 Україна, МПК Н 02 Н 5/04, Н 02 Н 5/10. Пристрій температурного захисту // Е.П. Москальов, І.Г. Шірін, Ю.І. Дмитренко, Є.Б. Ковальов, В.В. Непочатов, О.Б. Кац. – № 2002010759; заявл. 30.01.02; опубл. 17.02.03, Бюл. № 2. – 3 с.
 8. Кривоносов В.Е. Диагностика и защита изоляции обмоток асинхронных двигателей, работающих в агрессивной среде / В.Е. Кривоносов, С.В. Василенко // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2015. – Вип. 31. – С. 148-155. – (Серія : Технічні науки).
 9. Пат. 107898 Україна, МПК Н 02 Н 5/04, Н 02 К 15/12, Н 02 Н 5/10, G 01 К 13/08. Спосіб контролю і теплового захисту обмоток електричних машин, які працюють у запиленому середовищі // В.Є. Кривоносов, І.В. Жежеленко, О.В. Московець, С.В. Василенко. – № а201401923; заявл. 26.02.14; опубл. 25.02.15, Бюл. № 4. – 5 с.
 10. Комп'ютерна програма «Діагностика причин температурного перевантаження і захист електроустаткування від перегрівання» / В.Є. Кривоносов; свідоцтво № 77424 від 06.03.2018 р.

References:

1. Arkhptsev I.F., Kotelenets N.F. *Asinkhronnye elektrodvigateli* [Asynchronous electric motors]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1986. 104 p. (Rus.)
2. Iamova S.I., Iamova L.V. *Starenie, stoikost' i nadezhnost' elektricheskoi izoliatsii* [Aging, durability and reliability of electrical insulation]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990. 176 p. (Rus.)
3. Vol'dek A.I. *Elektricheskie mashiny. Uchebnik dlia studentov vuzov* [Electric motors. Textbook for university students]. Leningrad, Energiia Publ., 1974. 267 p. (Rus.)
4. *Pravila ustroistva elektroustanovok* [Electrical installation rules]. Khar'kov, Fort Publ., 2009. 704 p. (Rus.)
5. Kats O.B., Dziuban V.S., Dubins'kii A.O. *Pristrii temperaturnogo zakhistu* [Temperature protection device]. Patent UA, no. 16922, 2006. (Ukr.)
6. Zhezhelenko I.V., Krivonosov V.E., Rybalko B.F. *Ustroistvo dlia kontroliia i zashchity elektrodvigatel'ia ot nepolnofaznykh rezhimov i vitkovykh zamikanii* [Device for control and protection of the electric motor from non-single-phase modes and winding interruptions]. Certificate of authorship USSR, no. 1584028, 1990. (Rus.)
7. Moskal'ov E.P., Shirnin I.G., Dmitrenko Iu.I., Koval'ov Є.B., Nepochatov V.V., Kats O.B. *Pristrii temperaturnogo zakhistu* [Temperature protection device]. Patent UA, no. 53896, 2003. (Ukr.)
8. Krivonosov V.E., Vasilenko S.V. *Diagnostika i zashchita izoliatsii obmotok asinkhronnykh dvigatelei, rabotaiushchikh v agresivnoi srede* [Diagnostics and protection of insulation of windings of asynchronous motors operating in aggressive environment]. *Visnik Priazov'skogo Derzhavnogo Tekhnichnogo Universitetu. Serii: Tekhnichni nauki – Reporter of the Priazovskiy State Technical University. Section: Technical sciences*, 2015, no. 31, pp. 148-155. (Rus.)
9. Krivonosov V.E., Zhezhelenko I.V., Moskovets O.A., Vasilenko S.V. *Sposob kontroliia i teplovoi zashchity obmotok elektricheskikh mashin, kotorye rabotaiut v zapylennoi srede* [The method of control and thermal protection of the windings of electrical machines that operate in a dusty environment]. Patent UA, no. 107898, 2015. (Ukr.)
10. Krivonosov V.E. *Komp'yuternaia programma «Diagnostika prichin temperaturnoi peregruzki i zashchity elektrooborudovaniia ot peregreva»* [Computer program «Diagnostic causes of temperature overload and protection of electrical equipment from overheating»]. Certificate no. 77424, 2018. (Rus.)

Рецензент: В.В. Леонов
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 15.04.2019