

УДК 621.313.333.2

DOI 10.52167/1609-1817-2024-133-4-481-495

А.М. Сарманова[✉], **П.Ш. Мади**, **А.Д. Умурзакова**, **Б.Е. Мухамадиев**
Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина,
Астана, Казахстан
E-mail: almaaguull@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация. В данной статье представлен сравнительный анализ методов диагностики неисправностей изоляции обмоток статора асинхронного двигателя. Актуальность работы подтверждается вопросами экономической, экологической важностей и безопасностью, где целью работы является в поиске оптимального метода диагностики неисправностей изоляции обмотки статора АД в сельском хозяйстве путем сравнительного анализа, так как многие методы не подходят для использования на двигателях сельскохозяйственного назначения. Расписаны причины разработки нового метода диагностики изоляции обмотки статора АД. Приведены существующие методы диагностики неисправностей изоляции обмоток статора асинхронного двигателя с определением принципа работы каждого метода. Приведены внешние и внутренние факторы причин отказов асинхронных двигателей. Сформирована классификация методов диагностики неисправностей асинхронного двигателя, с раскрытием сущности каждого из методов. Рассмотрены более 20-ти работ авторов по данной теме. Также сформирована таблица с указанием методов диагностики, их преимуществ и недостатков. В заключении описана необходимость поиска оптимального метода диагностики неисправностей изоляции обмоток статора АД именно для сельского хозяйства. Дальнейшие исследования и разработки могут способствовать повышению эффективности и надежности сельскохозяйственного оборудования.

Ключевые слова. Анализ, диагностика, методы, неисправность, изоляция обмотки, асинхронный двигатель, сельское хозяйство.

Введение.

В сельском хозяйстве особенно важно иметь всегда исправную технику в связи с краткосрочной сезонной работой, агрессивной средой и нежелательным простоем оборудования, которое может привести к остановке сельскохозяйственного процесса и убыткам. Широкое применение в электроприводе сельскохозяйственного оборудования нашли асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором (АД). В сельскохозяйственном промысле Казахстана в электроприводах таких оборудований, как пресс-подборщики, широкозахватные винтовые катки, сеялки, рядовые жатки применяются АД [1]. Это свидетельствует о важности обеспечения исправной работы АД для выполнения работ в сельском хозяйстве в полном объеме.

Согласно проведенным статистическим данным причиной выхода из строя электродвигателей является повреждение изоляции обмотки статора, что составляет 80% всех случаев отказов. Работа АД в тяжелых эксплуатационных условиях, таких как аварийные режимы работы, низкое качество электроэнергии, влажность, пыль, агрессивная среда, перепады температуры воздуха непосредственно приводит к разрушению изоляции обмотки статора и отказу работы электродвигателя. Вышеперечисленные причины относятся к внешним факторам, на ряду с ними есть внутренние факторы, также негативно влияющие на работу АД, к ним относятся:

завышенная температура проводника или кабельных линий. Также такие факторы как, нарушение целостности контактов, небольшие но частые повышения и понижения частоты напряжения тоже приводят к повреждению изоляции статора обмотки АД.

Отказ и потеря работоспособности АД приводит к финансовым потерям предприятий сельскохозяйственного назначения. Причинами этому являются необходимость заменить дорогостоящее оборудование, простой оборудования, порча продуктов. В предприятиях сельскохозяйственного назначения в основном производятся пищевые продукты. Работа АД напрямую связана с производственными процессами, то есть неисправность АД влияет на качество и доступность продуктов питания для населения. Надежная и эффективная работа АД также имеет важную роль с точки зрения экологии, поскольку неисправные двигатели могут привести к избыточному потреблению электроэнергии и выбросу вредных веществ в окружающую среду. О чем свидетельствует актуальность данной темы исследования.

Разработка нового метода или улучшение существующего метода диагностики неисправностей изоляции обмотки статора АД даст возможность раннему диагностированию проблемы и предотвращению поломки электродвигателя, что приводит к остановке технологического процесса. Разработанный метод даст возможность его использования на электродвигателях в сельском хозяйстве, потому что не все методы подходят для АД сельскохозяйственного назначения.

Цель данного исследования заключается в поиске оптимального метода диагностики неисправностей изоляции обмотки статора АД в сельском хозяйстве путем сравнительного анализа, так как многие методы не подходят для использования на двигателях сельскохозяйственного назначения.

В связи с этим определены следующие задачи:

- Обзор публикаций мирового уровня связанных с методами диагностики неисправностей изоляции обмотки статора АД.
- Анализ публикаций стран СНГ по методикам диагностики неисправностей изоляции обмотки статора АД.
- Сравнительный анализ существующих на данное время методов диагностики неисправностей изоляции обмотки статора АД.

Материалы и методы.

Отказы АД приводят к остановке технологических процессов в сельском хозяйстве, что негативно сказывается на сборе урожая, добыче продукции. Агрессивная среда, в том числе влажность, пыль, вибрации и перепады температуры негативно влияют на работу АД, что в следствии приводит к износу изоляции обмотки статора и к выходу из строя АД. Разработка алгоритма и имитационной модели диагностики неисправностей изоляции обмотки статора АД улучшить надежность и эффективность работы электрооборудования в сельском хозяйстве [2].

В настоящее время существуют различные методы диагностики неисправностей изоляции обмотки статора АД, каждый из них имеет свои как и положительные, так и отрицательные стороны. Существующие методы диагностики неисправностей изоляции обмотки статора АД достаточно хорошо изучены и описаны в источниках [3-7].

Классификация методов диагностики неисправностей АД приведена на рисунке 1 [4].

На рисунке 1 представлены:

- методы тестовой диагностики, объединяющие в себе: измерение сопротивления изоляции; измерение тангенса угла диэлектрических потерь; измерение токов утечки; измерение внутреннего сопротивления обмоток.

- методы функциональной диагностики, состоящие из вибродиагностики; измерение и анализ температуры отдельных элементов; измерение и анализ магнитного потока в зазоре АД.

Способ метода тестовой диагностики - измерение сопротивления изоляции обмотки статора АД - испытание мегаомметром. С его помощью можно получить информацию о способности изоляции удерживать ток, если сопротивление высокое, это свидетельствует о хорошем состоянии изоляции, низкое сопротивление – показатель проблем изоляции. Следующий способ метода тестовой диагностики - измерение δ тангенса угла диэлектрических потерь, измерение производится с помощью моста тангенса угла потерь (Tangent Delta Bridge) или анализатора диэлектрических потерь. Анализатор диэлектрических потерь измеряет фазовый угол между напряжением и током в обмотке статора, это величина является показателем состояния изоляции обмотки, если показатель низкий — значит состояние изоляции хорошее [5].

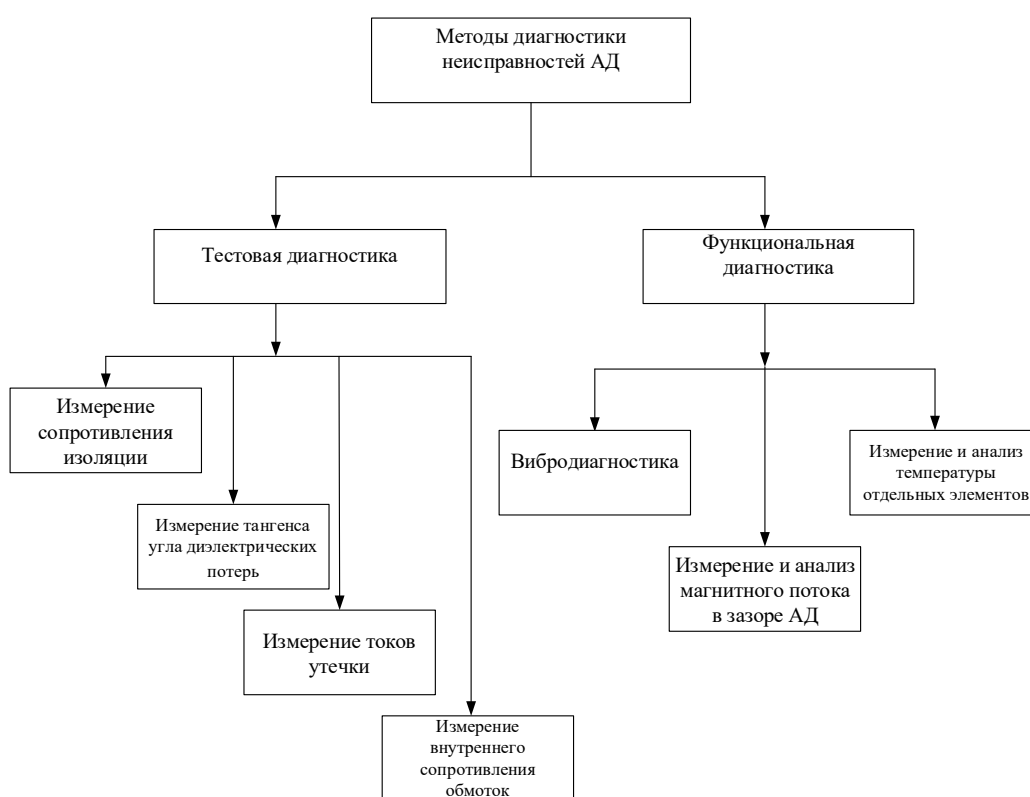


Рисунок 1 - Методы диагностики неисправностей АД

Методы тестовой диагностики являются теоретически точными, и основаны на испытаниях и измерениях показателей изоляции обмотки для оценки её состояния, но существенный недостаток этого метода — это необходимость отключения АД от сети, что приводит к остановке работы электрооборудования, и противоречит ранее описанным требованиям к работе АД [6].

Широко распространенный способ функционального метода — это вибродиагностика. Для данного способа используется информация о параметрах вибрации АД. Дорогостоящее оборудование для проведения данного способа диагностики, влияние вибрации соседнего оборудования и иногда недоступность элементов для измерения электродвигателя являются недостатками данного способа диагностики изоляции обмотки статора АД [7].

Следующий способ диагностики функционального метода — это измерение и анализ магнитного потока в зазоре АД. Для осуществления данного способа используются специализированные датчики, например, датчики тока или датчики Холла. Сущность данного способа - измерение в зазоре между ротором и статором магнитного потока в разных режимах работы АД. Внешние воздействия, такие как электромагнитные помехи и перемены окружающей среды могут повлиять на величину магнитного потока, что в дальнейшем приведет к искаженным показаниям и ошибочным данным [8].

Проведенный анализ существующих методов диагностики изоляции обмотки, позволяет отметить, что некоторые методы применяются для оборудования свыше 1 кВ, что не всегда подходит для двигателей в сельском хозяйстве, или для проведения диагностики требуется дорогостоящее оборудование, покупка которого финансово невозможна для сельской местности.

В настоящее время существуют достаточное количество методов для диагностики неисправностей асинхронных электродвигателей, которые являются необходимыми для обеспечения надежной работы АД, но у каждого способа есть свои недостатки.

Данные проблемы являются причиной для создания нового метода диагностирования неисправностей АД, а именно - эффективного и доступного алгоритма и имитационной модели диагностики неисправностей изоляции обмотки статора АД.

Для улучшения диагностики и продления срока службы АД, требуется усовершенствовать существующие способы на современный лад, а именно поставить задачу - разработать алгоритм и имитационную модель для диагностики неисправностей изоляции обмотки статора АД, который будет позволять проводить раннее диагностирование и обнаруживать неисправности АД с применением современных технологий.

Результаты и обсуждения.

Обзор работы ученых в области диагностики неисправностей изоляции обмотки статора, показал, что в работе [9] рассмотрены вопросы систематизации, произведен выбор методов диагностики изоляции обмотки статора асинхронного двигателя. Авторы выделили три вида причин повреждения изоляции АД, где по каждому виду расписаны подробно причины появления дефектов в изоляции обмотки статора. Разработанная учеными единая блок-схема используется для создания диагностических комплексов, учитывающих комбинацию нескольких методов выявления различных дефектов.

Разработанный авторами [10] новый метод диагностики на основании микропроцессорного блока позволяет выявить повреждения на ранней стадии и диагностировать техническое состояние изоляции обмоток статора в труднодоступных условиях. Сущность способа заключается в том, что в определенный момент после начала работы двигателя на его выводах измеряются пиковые значения затухающих колебаний напряжения, а также текущие значения периода, затем эти значения сравниваются со значениями, записанными для известного исправного двигателя. При разнице значений выше допустимого уровня генерируется сигнал о наличии межвиткового короткого замыкания и его масштабах в зависимости от того, насколько превышен порог. Предложенный авторами метод предполагает обнаружение повреждения изоляции обмоток статора, только в период технического обслуживания двигателя.

В работе [11] разработана модель инъекции неисправностей АД на базе моделирования в аппаратном цикле для исследования межвитковых неисправностей статора. Впервые предложена модель ввода неисправностей, которая может реализовать оперативное переключение между исправным состоянием и неисправным состоянием двигателя которую можно проверить в программной среде MATLAB/Simulink и DSpace HLS. Особенность данного метода заключается в диагностировании межвитковых неисправностей в режиме реального времени на основе аппаратного моделирования.

В работе [12] авторами разработан способ определения степени повреждения обмоток статора с асимметричной системой питания, предложен способ определения количества поврежденных обмоток статора на основе годографа вектора Парка. Авторами установлено, что при симметрии системы питающих напряжений и обмоток статора годограф вектора Парка описывает окружность; во всех остальных случаях это эллипс. Сущность работы заключается в алгоритме пересчета параметров эллипса с погрешностью не более 6%, что является актуальным при прогнозировании остаточного ресурса электродвигателя в процессе его эксплуатации.

В результате моделирования отказов подшипников авторами [13] были обнаружены неисправности, адекватно отражающие влияния этих неисправностей на работу АД. В работе планируется дальнейшая разработка полномасштабной модели, которая будет включать в себя им с возможностью замены подшипников на неисправные подшипники. Отличительной чертой данной работы является определение отказов подшипников на текущей векторной спектрограмме в соответствующих частотах.

Разработанное учеными устройство [14] оценивает техническое состояние изоляции обмоток электродвигателя, используя генератор прямоугольных импульсов и блок согласования, соединенные с обмоткой и детектором периодов. Предложенное устройство обладает преимуществами, такими как простота в эксплуатации, удобство применения, а также высокая точность и достоверность при оценке получаемых результатов, что является особенно важным при работе с электродвигателями в сельском хозяйстве.

В работе [15] автор разработал устройство косвенного контроля выходных механических характеристик для асинхронного электропривода в насосных агрегатах, используемых в сельском хозяйстве. Разработанная в программном пакете MathLab имитационная модель устройства контролирует такие данные, как электромагнитный момент и угловая скорость, что позволяет поддерживать и регулировать выходные параметры АД.

Проходящие в сельском хозяйстве технологические процессы требуют поддержания определенного уровня момента электродвигателя, для этого авторами работы [16] было разработано устройство для косвенного измерения момента. Созданная на языке программирования MathLab имитационная модель дает возможность контроля на выходе значения электромагнитного момента, также стоит отметить, что ошибка при измерении момента не выходит за пределы допустимых значений.

В статье [17] предложена новейшая система, основанная на сборе диагностической информации с функцией оперативного прогнозирования состояния изоляции обмотки статора АД. Эффективность работы данного комплекса обеспечивается при системе сбора, передачи и обработки измирительной информации. Применения такой системы возможно не только в сельскохозяйственных предприятиях, а также и в промышленных.

Блок-схема аппаратно-программного комплекса [18] используется для аудита состояния электродвигателей, находящихся в работе длительное время. Определяемый спектральный состав тока указывает на возможные повреждения в изоляции электродвигателя. Полезным свойством предложенного комплекса является использование его на асинхронных двигателях напряжением питания 6 и 10 кВ.

Авторы статьи [19] разработали методику идентификации неисправностей изоляции обмотки статора АД. Методика основана на построении годографов вращающихся магнитных полей в режиме нормального функционирования АД. Точность диагностики этого метода составляет 86,6%, что указывает на эффективность разработанного метода.

В своей работе [20] автор знакомит нас с математической моделью магнитного поля асинхронного электродвигателя и волновых затухающих колебаний в обмотке

статора асинхронного электродвигателя созданной для диагностики изоляции статора обмотки асинхронного двигателя. Также с помощью полученной модели создана методика по оптимизации режимов сушки и пропитки обмоток изоляции асинхронного двигателя в агропромышленности.

Опыт ученых стран СНГ показывает, что 40% от поломок АД приходится на неисправности в изоляции обмотки статора, для решения этой задачи в работе [21] разработано устройство для неразрушающего контроля состояния изоляции обмотки статора при стационарном режиме. Способ работы данного устройства основан на сравнении векторов фазных токов АД с его расчетными значениями.

Проведенный анализ учеными в работе [22] показывает влияние отклонений активных сопротивлений изоляции обмотки статора АД на появление несимметрии напряжения в сети для послеремонтных асинхронных двигателей. Посредством использования программы MathCad был написан алгоритм расчета коэффициента несимметрии токов, позволяющий определить дисбаланс активных сопротивлений обмотки статора, который приводит к неисправностям в изоляции обмотки статора АД.

Метод вихревого контроля, разработанный авторами [23] используется для оперативной оценки состояния межфазной и межвитковой изоляции обмотки статора электродвигателей. Особенность метода заключается в его использовании в реальном времени, не отключая электрическую машину от сети, а также возможность прогнозирования технического состояния, на основании обработки априорных сведений о прошлом и настоящем состоянии АД.

Предложенный учеными [24] метод диагностики состояния асинхронных двигателей, в основе которого лежит спектральный анализ векторов Парка тока и напряжения, позволяет полностью обеспечить автоматизацию процесса диагностирования, дистанционного управления, упрощение процедуры диагностики. Для АД сельскохозяйственного назначения, которые работают в динамических режимах, данный метод является непригодным.

Разработанная авторами [25] система оценки расхода ресурса и прогнозирования состояния изоляции обмотки АД основана на измерении ёмкостных токов утечки. С помощью методов идентификации восстанавливаются параметры, на основе которых моделирующая экспонента используется для оценки величины остаточного ресурса изоляции обмотки статора асинхронного двигателя. По результатам моделирования алгоритма в среде MathLab Simulink показывает, что моделирующая экспонента хорошо сходиться с истинными величинами.

Использованная в работе [26] модель термического старения изоляции определяет остаточный тепловой ресурс изоляции обмотки статора асинхронного двигателя, посредством численного моделирования изменения мощности потерь во времени. Но работа с термодинамической моделью подразумевает собой надобность максимально подробной информации о параметрах и работе электродвигателя, что не всегда является возможным.

Надежность работы электродвигателя важна для агропромышленного оборудования, для этого учеными [27] разработан алгоритм для повышения надежности оборудования. Алгоритм построен на определении расположения выявленных дефектов и работоспособности АД, на основе сравнения информации об отказах в работы асинхронного двигателя и показателей вероятности безотказной работы использованного АД.

Рассмотренный авторами [28] способ диагностики неисправностей изоляции обмотки статора асинхронного электродвигателя, основанный на исследовании электрических параметров в программной среде Spectralab, определяет спектр гармоник, благодаря которым сигнал тока нагрузки показывает отклонения и возможную

неисправность в работе электродвигателя. Данный способ предназначен для диагностирования отдельных узлов в системе электропривода теплового насоса или компрессора, что соответствует оборудованию, используемому на сельскохозяйственных предприятиях.

Ученые в работе [29] разработали программное обеспечение для новой цифровой системы защиты асинхронных электродвигателей от внутренних повреждений, включая изоляцию обмотки статора асинхронных электродвигателей. Принцип работы управляющей программы — это самонастраивающаяся математическая модель, настроенная на регистрации данных о предаварийных и аварийных процессах, связанных именно с межфазными и межвитковыми короткими замыканиями.

Предложенная авторами [30] универсальная компьютерная программа для комплексной и оперативной диагностики состояния асинхронных электродвигателей, создана на базе образцовых спектров тока статора асинхронного двигателя. Задача компьютерной программы — это выявление гармоник тока, которые чувствительны к конкретным видам повреждению изоляции обмотки статора АД.

В результате разработки программно-аппаратного комплекса для реализации спектрального метода диагностики [31] в электроприводах насосно-компрессорного оборудования, были обнаружены изменения магнитного потока в зазоре электрической машины, приводящие к повреждению обмотки статора АД, повреждению подшипников, эксцентриситету ротора.

Разработанный в работе [32] стенд, позволяющий проводить сравнительные испытания асинхронных двигателей мощностью 0,55-1,5 кВт, работал на принципе оцифровки мгновенных значений токов и напряжений, для дальнейшего исследования по оценке одиночных измерений степени межвитковых замыканий и износа подшипников. Экспериментальная часть работы основывалась на измерении частоты амплитудно-модулированных гармоник, построении спектрограмм токов и искусственного замыкания.

Существующие методы диагностирования имеют как преимущества, так и недостатки. Рассмотренные методы включают в себя использование микропроцессорных блоков для раннего выявления повреждений, моделирование в аппаратном цикле для реального времени диагностики, определение повреждений на основе годографа вектора Парка и оценку состояния изоляции с использованием генератора импульсов. Каждый из них обладает определенными преимуществами, такими как точность, оперативность или простота использования. Не все методы подходят для использования на электродвигателях в сельском хозяйстве, некоторые методы хоть и отличаются высокой точностью показателей, но с экономической стороны не целесообразны. Некоторые методы просты и легки в исполнении, но влияние окружающей среды и внутренних факторов, сказываются на получаемых показателях.

Подробнее преимущества и недостатки методов диагностики изоляции обмотки статора АД приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Преимущества и недостатки методов диагностики

Метод диагностики	Преимущества	Недостатки
Вибродиагностика	Метод с помощью вибрационных параметров способен выявлять дефекты подшипникового узла и эксцентриситета, а также в некоторой степени дефекты обмотки статора.	Необходимость использования специальных виброакустических датчиков, что может увеличить стоимость диагностической процедуры, а также их труднодоступное расположение.

Метод спектрального анализа	Метод позволяет использовать значения амплитуды отдельных гармонических составляющих вибрационного сигнала в качестве диагностических параметров.	Данный метод более эффективен в выявлении дефектов подшипникового узла и эксцентриситета, чем дефектов обмотки статора, хотя последние составляют значительную долю причин выхода электродвигателей из строя.
Метод анализа параметров внешнего магнитного поля	Размещение электромагнитного датчика рядом с двигателем обеспечивает непрерывное и точное фиксирование внешнего магнитного поля в процессе его работы.	Требует использования специализированного оборудования, включая электромагнитные датчики и персональные компьютеры для оцифровки и анализа полученных сигналов.
Бесконтактная электромагнитная диагностика с использованием вихревых токов.	Конструкция преобразователя проста и устойчива к механическим и атмосферным воздействиям, а также может работать в агрессивных средах и при широком диапазоне температур и давлений.	Возможно ограничение в применении метода при необходимости высокой точности контроля, так как он основан на анализе изменений в электромагнитном поле и может быть чувствителен к внешним воздействиям или шумам.
Метод нечеткого логического вывода о техническом состоянии изоляции обмотки статора АД	Возможность классификации входных переменных и формирования иерархической структуры нечетких баз знаний для более эффективного использования информации.	Сложность построения нечеткой базы знаний при большом количестве параметров состояния, что может потребовать значительных затрат времени и ресурсов.
Диагностика состояния изоляции низковольтных асинхронных двигателей на основе частичных разрядов	Метод позволяет обнаруживать предпробойные состояния обмоток асинхронных двигателей без необходимости применения опасных повышенных напряжений	Возможны ложные срабатывания или недооценка состояния изоляции из-за внешних факторов или аномалий в работе системы.
Схема диагностики асинхронных электродвигателей на основе измерения мгновенных значений токов и напряжений	Схема диагностики основана на технических характеристиках электродвигателя, что делает ее относительно недорогой и доступной в реализации.	Требует регулярного технического обслуживания и калибровки для поддержания точности и надежности диагностической системы.
Измерение перепада температур в изоляции обмотки	Не требует разборки или повреждения обмотки статора, что позволяет осуществлять диагностику без остановки работы оборудования.	Неравномерность нагрева стали по статору дает погрешность при измерении температуры изоляции обмотки.
Регистрация токов АД с помощью исследований их спектра с применением вейвлет-преобразований	Вейвлет-преобразования позволяют анализировать данные на разных уровнях разрешения, что увеличивает эффективность диагностики и позволяет выявить как мелкие, так и крупные изменения в спектре токов.	Для правильного применения метода вейвлет-преобразований необходимо иметь опыт и знания в области сигнальной обработки и математики.

Метод, основанный на регистрации фазных напряжений питания	С помощью определения искажения вращающегося магнитного поля статора идентифицирует неисправность изоляции обмотки статора.	Получение данных о неисправности изоляции обмотки производится посредством математического моделирования, что не всегда удобно в условиях сельского хозяйства.
Метод анализа вектора Парка	Метод позволяет получать временные диаграммы статорных токов и анализировать вектор Парка, что дает полную информацию о состоянии статора.	Для корректного анализа необходимы точные данные о фазных напряжениях и токах, а также об асимметрии в системе подачи напряжения, что может потребовать дополнительного оборудования и измерений.

Из анализа данного обзора видно, что, разнообразие методов диагностики неисправностей изоляции обмотки статора АД не позволяет найти подходящего метода именно для АД в сельском хозяйстве, с приемлемой стоимостью приборов и главное без отключения от питания электродвигателя.

Поэтому требуется создание нового метода, который будет лучше сочетать в себе характеристики и учитывать особенности сельского хозяйства. Разработанный новый метод должен преодолеть некоторые недостатки предыдущих подходов, такие как ограничения в точности или неспособность оперативно реагировать на изменения состояния обмотки статора.

Заключение.

Сравнительный анализ методов диагностики неисправностей изоляции обмотки статора АД в сельском хозяйстве выявил значительное разнообразие существующих методов диагностики с разными способами, приборами, схемами и т.д. Последние исследования в этой области подчеркивают сложность задачи диагностики изоляции обмоток статора в сельском хозяйстве и неоднозначность результатов, полученных при использовании различных методов. Несмотря на широкий спектр доступных методов, они не всегда оказываются применимыми или эффективными в условиях сельского хозяйства. Многие из них требуют специализированного оборудования, высокой квалификации персонала или непосредственного доступа к оборудованию, что может быть ограничено в сельских условиях. Более того, существующие методы не всегда обладают достаточной чувствительностью для выявления дефектов на ранней стадии их развития, что затрудняет прогнозирование остаточного ресурса и своевременное проведение ремонтных мероприятий.

В связи с этим, необходимо дальнейшее исследование и разработка новых методов диагностики, специально адаптированных для сельскохозяйственного оборудования. Эти методы должны учитывать специфические условия эксплуатации, быть простыми в применении и обладать высокой чувствительностью к начальным признакам неисправностей, что позволит своевременно выявлять и устранять дефекты, обеспечивая непрерывность процессов производства и повышение эффективности сельскохозяйственной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Э.Б.Даркенбаева, Г.К.Балбаев. ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА. Вестник КазАТК № 1 (124), 2023, 384-396. DOI 10.52167/1609-1817-2022-124-1-384-396

[2] Дайнеко, В. А. (БГАТУ). Методы диагностики асинхронных электродвигателей в рабочих режимах и перспективы их применения [Текст] / В. А. Дайнеко, Ж. Г. Юрковец // Агропанорама. - 2021. - № 4. - С. 22-25. - Библиогр.: с. 25.

[3] Диагностика изоляции обмоток асинхронных электродвигателей в рабочем режиме. [Электронный ресурс] URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/jurkovec-2020.pdf> (дата обращения: 15.09.2023 г.)

[4] А.М. Сарманова, А.Д. Умурзакова. К вопросу о разработке диагностики неисправностей изоляции обмотки статора асинхронных двигателей в сельском хозяйстве. VI Международная молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ», КузГТУ им Т. Ф. Горбачева, Кемерово, 2023.

[5] Сравнение методов диагностики асинхронного двигателя. [Электронный ресурс] URL: <https://s.eduherald.ru/pdf/2015/3-4/14100.pdf> (дата обращения: 21.09.2023 г.)

[6] Методы и приборы диагностирования изоляции асинхронных двигателей [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-pribory-diagnostirovaniya-izolyatsii-asinhronnyh-dvigatelye/viewer> (дата обращения: 22.09.2023 г.)

[7] Электротехнологические системы повышения надежности электродвигателей, эксплуатирующихся в условиях сельскохозяйственного производства. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektrotehnologicheskie-sistemy-povysheniya-nadezhnosti-elektrodvigatelye-ekspluatiruyuschih-sya-v-usloviyah/viewer> (дата обращения: 30.09.2023 г.)

[8] Методы диагностики асинхронных электродвигателей в рабочих режимах и перспективы их применения [Электронный ресурс] URL: https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/13744/1/2021_4.5.metody.pdf (дата обращения: 03.10.2023 г.)

[9] OLEG GUBAREVYCH, SERGEY GOOLAK, SVITLANA GOLUBIEVA. "SYSTEMATIZATION AND SELECTION OF DIAGNOSING METHODS FOR THE STATOR WINDINGS INSULATION OF INDUCTION MOTORS" Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg. Vol. 67, 4, pp. 445–450, Bucarest, 2022

[10] Roman Dolgih, Ivan Suvorov, George Palkin, Sergey Kakaurov, and Marina Morozova. "Development of the software-hardware complex for diagnostics of inter-turn short circuits of stator windings of asynchronous motors", Transbaikal State University, Chita, Russia. E3S Web of Conferences 288, 01040 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128801040> SUSE-2021

[11] Zhang, X.; Han, K.; Cao, H.; Wang, Z.; Huo, K. Fault Injection Model of Induction Motor for Stator Interturn Fault Diagnosis Research Based on HILS. World Electr. Veh. J. 2021, 12, 170. <https://doi.org/10.3390/wevj12040170>

[12] Gerlici, J.; Goolak, S.; Gubarevych, O.; Kravchenko, K.; Kamchatna-Stepanova, K.; Toropov, A. Method for Determining the Degree of Damage to the Stator Windings of an Induction Electric Motor with an Asymmetric Power System. Symmetry 2022, 14, 1305. <https://doi.org/10.3390/sym14071305>

[13] S Salnikov, E Solodkiy and D Vishnyakov. "Simulation of three-phase induction motor different bearing faults in Matlab Simulink environment" Journal of Physics: Conference Series, Volume 1886, International Conference on Innovation Energy 2020 (IE 2020) 17-18 December 2020, Perm, Russia

[14] Устройство для оценки технического состояния изоляции обмоток электродвигателя / О.И. Хомутов; С.О. Хомутов; А.А. Грибанов; А.В. Левачев; В. И. Сташко; Г. В. Суханкин. [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - М., [2011]. - Режим доступа: http://www.ntpo.com/patents_electronics/electronics_5/electronics_200.shtml . - Загл. с экрана.

[15] Умурзакова А.Д. Косвенный контроль выходных механических переменных асинхронного электродвигателя в электроприводе// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Томск, 2015.

[16] Дементьев, Ю. Н. Моделирование асинхронного двигателя с устройством косвенного измерения момента / А.Д. Умурзакова, Л.С. Удут // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 12. – с. 931–935.

[17] Новые методы и технические средства диагностики электродвигателей в агропромышленном комплексе. С.О. Хомутов, Ю.А. Тонких, В.С. Дронов. [Электронный ресурс] URL: chrome-extension://efaidnbmninnibpacajpcgclefindmkaj/https://journal.altstu.ru/media/f/old2/pv2009_04/pdf/109homutov.pdf

[18] Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока. [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - М., [2011]. - Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/31/11.php>. - Загл. с экрана.

[19] Методика диагностики и идентификации неисправностей обмоток асинхронного двигателя в процессе его функционирования / Р. Г. Мугалимов [и др.] // *Электротехнические системы и комплексы*. 2018. Т. 40, № 3. С. 70-78.

[20] Хомутов, С. О. Система поддержания надежности электрических двигателей на основе комплексной диагностики и эффективной технологии восстановления изоляции [Электронный ресурс] / С. О. Хомутов. Барнаул: ООО МЦ «ЭОР», 2015. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

[21] Разработка метода и алгоритма диагностирования обрывов и межвитковых замыканий в статорных обмотках асинхронных двигателей / А. А. Ткаченко [и др.] // *Научный вестник Донбасской государственной машиностроительной академии: сб. науч. тр.* 2011. № 2 (8-Е). С. 154-160.

[22] Влияния дисбаланса активных сопротивлений обмоток статора на несимметрию фазных токов в условиях некачественного напряжения сети / В. Е. Кривоносов, И. Т. Карполюк, С. В. Василенко // *Znanstvena misel journal* №35/2019

[23] Бобров В.В. Оценка технического состояния асинхронных двигателей методом вихретокового контроля. Материалы конференции научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития. – 2012.

[24] Сидельников Л.Г., Афанасьев Д.О. Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации // *Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. – 2013. – № 7. – С. 127–137.

[25] Метельков В.П., Зюзев А.М., Черных И.В. Система оценки остаточного ресурса изоляции обмотки асинхронного двигателя на основе емкостных токов утечки // *Электротехнические системы и комплексы*. 2019. № 1(42). С. 53-58. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1\(42\)-53-58](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1(42)-53-58)

[26] Метельков В.П. Оценка ресурса изоляции обмотки статора асинхронного двигателя при работе в циклических режимах / В.П. Метельков : *Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика»*: №2. – Екатеринбург, 2013. – 96-100 с.

[27] Xiaodong Liang, and Kenneth Ik Edomwandekhoe, “Condition Monitoring Techniques for Induction Motors”, *Proceedings of 2017 IEEE Industry Applications Society (IAS) Annual Meeting*, pp. 1-10, Cincinnati, OH, USA, October 1- 5, 2017.

[28] Шевчук В.А., Семенов А.С. Удалённая диагностика асинхронного двигателя на основе спектрального анализа потребляемого тока с использованием промышленной сети RS485 MODBUS RTU / *Молодежь и научно-технический прогресс в современном мире. Сборник докладов VI-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. – М.: Издательство «Спутник+», 2015. – С. 176-180.

[29] Вяткина, О.С. Цифровая защита асинхронных электродвигателей от внутренних повреждений: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / Вяткина Ольга Сергеевна. – Вологда, 2007. – 151 с.

[30] Вейнреб, К.Б. Диагностика неисправностей ротора асинхронного двигателя методом спектрального анализа токов статора: дисс. в виде научного доклада на соискание уч. степени докт. техн. наук: 05.09.01 / Вейнреб Конрад Беноневич. – Москва, 2012. – 58 с.

[31] Баширов, М.Г. Современные методы оценки технического состояния и прогнозирования ресурса безопасной эксплуатации насосно-компрессорного оборудования с электрическим приводом / М.Г. Баширов, И.В. Прахов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. - 2010. -No 3. - С. 14-17.

[32] Смольянов И. А., Сафин Н. Р., Прахт В. А. Анализ КПД асинхронного двигателя в зависимости от технического состояния подшипников // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии : сб. докл. IV Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург : Изд-во УМЦ УПИ, 2015. С. 190–193.

REFERENCES*

[1] Je.B. Darkenbaeva, G.K.Balbaev. OPTIMIZACIJA KOMPONENTOV SISTEMY UPRAVLENIJA TJaGOVOGO ASINHRONNOGO JeLEKTROPRIVODA. Vestnik KazATK № 1 (124), 2023, 384-396. DOI 10.52167/1609-1817-2022-124-1-384-396

[2] Dajneko, V. A. (BGATU). Metody diagnostiki asinhronnyh jelektrodvigatelej v rabochih rezhimah i perspektivy ih primeneniya [Tekst] / V. A. Dajneko, Zh. G. Jurkovec // Agropanorama. - 2021. - N 4. - S. 22-25. - Bibliogr.: s. 25.

[3] Diagnostika izoljicii obmotok asinhronnyh jelektrodvigatelej v rabochem rezhime. [Elektronnyj resurs] URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/jurkovec-2020.pdf> (data obrashhenija: 15.09.2023 g.)

[4] A.M. Sarmanova, A.D. Umurzakova. K voprosu o razrabotke diagnostiki neispravnostej izoljicii obmotki statora asinhronnyh dvigatelej v sel'skom hozjajstve. VI Mezhdunarodnaja molodezhnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «JeNERGOSTART», KuzGTU im T. F. Gorbacheva, Kemerovo, 2023.

[5] Sravnenie metodov diagnostiki asinhronnogo dvigatelja. [Elektronnyj resurs] URL: <https://s.eduherald.ru/pdf/2015/3-4/14100.pdf> (data obrashhenija: 21.09.2023 g.)

[6] Metody i pribory diagnostirovaniya izoljicii asinhronnyh dvigatelej [Elektronnyj resurs] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-pribory-diagnostirovaniya-izolyatsii-asinhronnyh-dvigatelej/viewer> (data obrashhenija: 22.09.2023 g.)

[7] Jelektrotehnologicheskie sistemy povysheniya nadezhnosti jelektrodvigatelej, jekspluatirujushhihsja v uslovijah sel'skohozjajstvennogo proizvodstva. [Elektronnyj resurs] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektrotehnologicheskie-sistemy-povysheniya-nadezhnosti-elektrodvigateley-ekspluatiruyuschih-sya-v-uslovijah/viewer> (data obrashhenija: 30.09.2023 g.)

[8] Metody diagnostiki asinhronnyh jelektrodvigatelej v rabochih rezhimah i perspektivy ih primeneniya [Elektronnyj resurs] URL: https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/13744/1/2021_4.5.metody.pdf (data obrashhenija: 03.10.2023 g.)

[9] OLEG GUBAREVYCH, SERGEY GOOLAK, SVITLANA GOLUBIEVA. "SYSTEMATIZATION AND SELECTION OF DIAGNOSING METHODS FOR THE STATOR WINDINGS INSULATION OF INDUCTION MOTORS" Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg. Vol. 67, 4, pp. 445–450, Bucarest, 2022

[10] Roman Dolgih, Ivan Suvorov, George Palkin, Sergey Kakaurov, and Marina Morozova. "Development of the software-hardware complex for diagnostics of inter-turn short circuits of stator windings of asynchronous motors", Transbaikal State University, Chita, Russia.

E3S Web of Conferences 288, 01040 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128801040>
SUSE-2021

[11] Zhang, X.; Han, K.; Cao, H.; Wang, Z.; Huo, K. Fault Injection Model of Induction Motor for Stator Interturn Fault Diagnosis Research Based on HILS. *World Electr. Veh. J.* 2021, 12, 170. <https://doi.org/10.3390/wevj12040170>

[12] Gerlici, J.; Goolak, S.; Gubarevych, O.; Kravchenko, K.; Kamchatna-Stepanova, K.; Toropov, A. Method for Determining the Degree of Damage to the Stator Windings of an Induction Electric Motor with an Asymmetric Power System. *Symmetry* 2022, 14, 1305. <https://doi.org/10.3390/sym14071305>

[13] S Salnikov, E Solodkiy and D Vishnyakov. "Simulation of three-phase induction motor different bearing faults in Matlab Simulink environment" *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1886, International Conference on Innovation Energy 2020 (IE 2020) 17-18 December 2020, Perm, Russia

[14] Ustrojstvo dlja ocenki tehničeskogo sostojanija izoljicii obmotok jelektrodvigatelja / O.I. Homutov; S.O. Homutov; A.A. Gribovanov; A.V. Levachev; V. I. Stashko; G. V. Suhankin. [Jelektronnyj resurs]. - Jelektron. dan. - M., [2011]. - Rezhim dostupa: http://www.ntpo.com/patents_electronics/electronics_5/electronics_200.shtml. - Zagl. s jekrana.

[15] Umurzakova A.D. Kosvennyj kontrol' vyhodnyh mehanicheskih peremennyh asinhronnogo jelektrodvigatelja v jelektroprivode // Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehničeskix nauk. - Tomsk, 2015.

[16] Dement'ev, Ju. N. Modelirovanie asinhronnogo dvigatelja s ustrojstvom kosvennogo izmerenija momenta / A.D. Umurzakova, L.S. Udut // *Fundamental'nye issledovanija*. – 2014. – № 12. – s. 931–935.

[17] Novye metody i tehničeskije sredstva diagnostiki jelektrodvigatelej v agropromyšlennom komplekse. S.O. Homutov, Ju.A. Tonkih, B.C. Dronov. [Jelektronnyj resurs] URL: chrome-extension://efaidnbmnmbpajpcgleclfindmkaj/https://journal.altstu.ru/media/f/old2/pv2009_04/pdf/109homutov.pdf

[18] Diagnostika sostojanija jelektrodvigatelej. Metod spektral'nogo analiza potrebljaemogo toka. [Jelektronnyj resurs]. - Jelektron. dan. - M., [2011]. - Rezhim dostupa: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/31/11.php>. - Zagl. s jekrana.

[19] Metodika diagnostiki i identifikacii neispravnostej obmotok asinhronnogo dvigatelja v processe ego funkcionirovanija / R. G. Mugalimov [i dr.] // *Jelektrotehničeskije sistemy i komplekсы*. 2018. T. 40, № 3. S. 70-78.

[20] Homutov, S. O. Sistema podderžhanija nadežhnosti jelektricheskih dvigatelej na osnove kompleksnoj diagnostiki i jeffektivnoj tehnologii vosstanovlenija izoljicii [Jelektronnyj resurs] / S. O. Homutov. Barnaul: OOO MC «JeOR», 2015. 1 jelektron. opt. disk (CD-ROM).

[21] Razrabotka metoda i algoritma diagnostirovanija obryvov i mezhvitkovykh zamykanij v statornykh obmotkah asinhronnykh dvigatelej / A. A. Tkachenko [i dr.] // *Nauchnyj vestnik Donbasskoj gosudarstvennoj mashinostroitel'noj akademii: sb. nauch. tr.* 2011. № 2 (8-E). S. 154-160.

[22] Vlijanija disbalansa aktivnykh soprotivlenij obmotok statora na nesimmetriju faznykh tokov v uslovijah nekachestvennogo naprjazhenija seti / V. E. Krivonosov, I. T. Karpoljuk, S. V. Vasilenko // *Znanstvena misel journal* №35/2019

[23] Bobrov V.V. Ocenka tehničeskogo sostojanija asinhronnykh dvigatelej metodom vihretokovogo kontrolja. *Materialy konferencii nauchnye issledovanija i ih praktičeskoe primenenie. Sovremennoe sostojanie i puti razvitija*. – 2012.

[24] Sidel'nikov L.G., Afanas'ev D.O. Obzor metodov kontrolja tehničeskogo sostojanija asinhronnykh dvigatelej v processe jekspluatacii // *Vestnik PNIPU. Geologija. Neftegazovoe i gornoe delo*. – 2013. – No 7. – S. 127–137.

[25] Metel'kov V.P., Zjuzev A.M., Chernyh I.V. Sistema ocenki ostatochnogo resursa izoljicii obmotki asinhronnogo dvigatelja na osnove emkostnyh tokov utechki // Jelektrotehnicheskie sistemy i komplekсы. 2019. № 1(42). С. 53-58. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1\(42\)-53-58](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1(42)-53-58)

[26] Metel'kov V.P. Ocenka resursa izoljicii obmotki statora asinhronnogo dvigatelja pri rabote v ciklicheskih rezhima/ V.P. Metel'kov: Vestnik JuUrGU. Serija «Jenergetika»: №2. – Ekaterinburg, 2013. – 96-100 s.

[27] Xiaodong Liang, and Kenneth Ik Edomwandekhoe, “Condition Monitoring Techniques for Induction Motors”, Proceedings of 2017 IEEE Industry Applications Society (IAS) Annual Meeting, pp. 1-10, Cincinnati, OH, USA, October 1- 5, 2017.

[28] Shevchuk V.A., Semenov A.S. Udaljonnaja diagnostika asinhronnogo dvigatelja na osnove spektral'nogo analiza potrebljaemogo toka s ispol'zovaniem promyshlennoj seti RS485 MODBUS RTU / Molodezh' i nauchno-tehnicheskij progress v sovremennom mire. Sbornik dokladov VI-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. – M.: Izdatel'stvo «Sputnik+», 2015. – S. 176-180.

[29] Vjatkina, O.S. Cifrovaja zashhita asinhronnyh jelektrodvigatelej ot vnutrennih povrezhdenij: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.14.02 / Vjatkina Ol'ga Sergeevna. – Vologda, 2007. – 151 s.

[30] Vejnreb, K.B. Diagnostika neispravnostej rotora asinhronnogo dvigatelja metodom spektral'nogo analiza tokov statora: diss. v vide nauchnogo doklada na soiskanie uch. stepeni dokt. tehn. nauk: 05.09.01 / Vejnreb Konrad Benonevich. – Moskva, 2012. – 58 s.

[31] Bashirov, M.G. Sovremennye metody ocenki tehničeskogo sostojanija i prognozirovanija resursa bezopasnoj jekspluatácii nasosno-kompressorного oborudovanija s jelektricheskim privodom / M.G. Bashirov, I.V. Prahov // Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii. - 2010. -No 3. - С. 14-17.

[32] Smol'janov I. A., Safin N. R., Praht V. A. Analiz KPD asinhronnogo dvigatelja v zavisimosti ot tehničeskogo sostojanija podshipnikov // Jefferktivnoe i kachestvennoe snabzhenie i ispol'zovanie jelektrojenergii: sb. dokl. IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Ekaterinburg: Izd-vo UMC UPI, 2015. S. 190–193.

Алмагуль Сарманова, магистрант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, almaaguull@gmail.com

Перизат Мадиди, PhD, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, peri@mail.ru

Анара Умирзакова, PhD, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, granat_72@mail.ru

Багдад Мухамадиев, магистрант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, bagdaderbol2001@bk.ru

АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ СТАТОР ОРАМАЛАРЫН ОҚШАУЛАУ АҚАУЛАРЫН ДИАГНОСТИКАЛАУ ӘДІСТЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Андатпа. Бұл мақалада асинхронды қозғалтқыштың статор орамаларын оқшаулау ақауларын диагностикалау әдістерінің салыстырмалы талдауы келтірілген. Жұмыстың өзектілігі экономикалық, экологиялық маңыздылық және қауіпсіздік мәселелерімен расталады, мұнда жұмыстың мақсаты салыстырмалы талдау арқылы ауыл шаруашылығындағы АҚ статор орамасының оқшаулау ақауларын диагностикалаудың оңтайлы әдісін табу болып табылады, өйткені көптеген әдістер ауылшаруашылық қозғалтқыштарында қолдануға жарамсыз. АҚ статор орамасының оқшаулауын

диагностикалаудың жаңа әдісін жасау себептері сипатталған. Әр әдістің жұмыс принципін анықтай отырып, асинхронды қозғалтқыштың статор орамаларын оқшаулау ақауларын диагностикалаудың қолданыстағы әдістері келтірілген. Асинхронды қозғалтқыштардың істен шығуының сыртқы және ішкі факторлары келтірілген. Асинхронды қозғалтқыштың ақауларын диагностикалау әдістерінің жіктелуі әр әдістің мәнін ашумен қалыптасады. Осы тақырып бойынша авторлардың 20-дан астам жұмыстары қаралды. Сондай-ақ диагностика әдістерін, олардың артықшылықтары мен кемшіліктерін көрсететін кесте құрылды. Қорытындыда ауыл шаруашылығы үшін АҚ статор орамаларын оқшаулау ақауларын диагностикалаудың оңтайлы әдісін табу қажеттілігі сипатталған. Әрі қарайғы зерттеулер мен әзірлемелер ауылшаруашылық жабдықтарының тиімділігі мен сенімділігін арттыруға ықпал етуі мүмкін.

Түйінді сөздер. Талдау, диагностика, әдістер, ақаулық, ораманы оқшаулау, асинхронды қозғалтқыш, ауыл шаруашылығы.

Almagul Sarmanova, master's student, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan, almaaguull@gmail.com

Perizat Madi, PhD, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan, peri@mail.ru

Anara Umurzakova, PhD, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan, granat_72@mail.ru

Bagdad Mukhamadiev, master's student, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan, bagdaderbol2001@bk.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF DIAGNOSTICS OF INDUCTION MOTOR STATOR WINDING INSULATION FAULTS

Abstract. This article presents a comparative analysis of methods for diagnosing faults in the insulation of the stator windings of an asynchronous motor. The relevance of the work is confirmed by issues of economic, environmental importance and safety, where the purpose of the work is to find the optimal method for diagnosing faults in the insulation of the stator winding in agriculture by comparative analysis, since many methods are not suitable for use on agricultural engines. The reasons for the development of a new method for diagnosing the insulation of the stator winding are described. The existing methods for diagnosing faults in the insulation of the stator windings of an asynchronous motor with a definition of the principle of operation of each method are presented. The external and internal factors of the causes of failures of asynchronous motors are given. A classification of methods for diagnosing asynchronous motor malfunctions has been formed, with the disclosure of the essence of each of the methods. More than 20 works of the authors on this topic have been reviewed. A table has also been formed indicating diagnostic methods, their advantages and disadvantages. In conclusion, the need to find the optimal method for diagnosing faults in the insulation of the stator windings is described specifically for agriculture. Further research and development can contribute to improving the efficiency and reliability of agricultural equipment.

Keywords. Analysis, diagnostics, methods, malfunction, winding insulation, asynchronous motor, agriculture.

Получено: 30 марта 2024 г.; принято: 10 май 2024 г.