

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

С.О. Хомутов, Ю.А. Тонких, В.С. Дронов

Статья посвящена рассмотрению одной из наиболее действенных мер по поддержанию работоспособности электрических двигателей, а именно использованию современных методов диагностики электродвигателей, эксплуатируемых в сельском хозяйстве. В работе отражено влияние различных факторов на техническое состояние изоляции обмоток статоров электродвигателей. При этом для оценки состояния двигателей предложено использовать методы, основанные на анализе параметров магнитного поля в воздушном зазоре электрической машины и на использовании волновых затухающих колебаний в обмотке. Результатом исследования является создание единого комплекса средств диагностики, который, исключив недостатки различных методов, позволил оценивать состояние электродвигателя на всех этапах его жизненного цикла. Кроме того, авторами предложена система сбора диагностической информации с возможностью оперативного прогнозирования состояния и оценки остаточного ресурса ЭД.

Ключевые слова: электродвигатель, диагностика, изоляция.

Как известно, для уменьшения параметра потока отказов необходимо при проведении технических обслуживаний и ремонтов, наряду с мероприятиями, предусмотренными инструкцией по эксплуатации электрических двигателей (ЭД), устанавливать фактическое техническое состояние их элементов, т.е. определять, не превышают ли параметры элементов электродвигателей своих допустимых значений, и выявлять наличие в элементах скрытых дефектов. Таким образом, прежде чем говорить о повышении качества пропиточно-сушильных работ, необходимо решить вопрос о достоверности диагностики ЭД как в процессе его эксплуатации, так и в ходе ремонта.

После проведения комплекса мероприятий по диагностике появляется возможность определения интенсивностей выходов из строя электродвигателей не на основе статистики отказов, которая может оказаться неточной, отсутствующей или сильно отличающейся от будущей статистики расчетного периода, а на основе объективного прогноза их остаточного ресурса. Построенные планы ремонтных мероприятий при данном подходе имеют большую точность и адекватность.

Определить фактическое состояние элементов электродвигателей позволяют методы и средства технической диагностики. Знание фактического технического состояния элементов ЭД позволяет производить замену элементов, предотказное состояние которых установлено, и устранить причины возможных в последующей эксплуатации неисправ-

ностей, увеличивая, тем самым, вероятность безотказной работы электродвигателей.

В отечественной науке значительное влияние на современное развитие методов контроля и диагностики ЭД оказали А. А. Пястолов, И. Е. Иерусалимов, О. Д. Гольдберг, Э. К. Стрельбицкий, О. П. Муравлев, Ю. П. Похолоков, Ю. П. Ильин, А. Е. Немировский, О. И. Хомутов, С. А. Волохов, И. А. Биргер, В. И. Сташко и др.

Идея анализа параметров электрического двигателя с целью выявления наличия в его элементах скрытых дефектов в процессе эксплуатации базируется на положении, что во время работы в элементах электродвигателя происходят процессы, чувствительные к некоторой совокупности неблагоприятных условий, которые со временем ухудшают характеристики элементов ЭД и приводят к его отказу. При этом всякие нарушения во время эксплуатации электродвигателей проявляются в виде некоторых комплексов симптомов. Здесь термин «симптом» относится к той информации о процессах, происходящих в элементах электродвигателей во время эксплуатации, которая может быть получена от измерительных устройств (температуры, влажности, степени старения изоляции, загрузки, скольжения, величины тока и напряжения, вибрации и т. д.).

На основании полученных данных диагностическая система должна определить наличие неисправностей (или возможной неисправности) и в простейшем случае оповестить оператора, который принимает решение о дальнейших действиях. Диагностическая сис-

тема более высокого уровня может предлагать оператору варианты корректирующих действий, а высшего уровня осуществляет диагностику и автоматически выполняет корректирующие функции.

В настоящее время большой интерес представляет использование методов оценки состояния электродвигателя при его работе под нагрузкой. На сегодняшний день это направление активно развивается такими учеными, как А. А. Стеценко, Н. В. Коньгин, В. А. Русов [1]. Среди направлений, в которых удалось достичь определенных успехов, следует выделить следующие:

- контроль состояния обмоток статора с помощью анализа посланных на обмотку импульсов различных видов;
- вибрационный контроль;
- контроль параметров электромагнитного поля.

Так, в частности, диагностика на основе анализа параметров магнитного поля предполагает, что в реальных машинах в воздушном зазоре наряду с основной гармоникой имеется бесконечное число гармоник поля, обладающих некоторой степенью информативности относительно дефектов основных элементов конструкции ЭД.

Действительно, в установившемся режиме основной источник высших временных гармоник - несинусоидальное напряжение на выводах машины. Второй источник временных гармоник в воздушном зазоре - вал - механический выход машины. Высшие гармоники могут появиться в воздушном зазоре и с теплового вывода. Наибольшие амплитуды высших гармоник имеют место при тепловых ударах. Значительное влияние на состав пространственных гармоник оказывают эксцентриситет расточки статора и ротора, конусность и эллипсность ротора, несоосность статора и ротора, дефекты обмоток статора и ротора [2].

Таким образом, анализ параметров магнитного поля в воздушном зазоре и исследование гармонического состава напряжений и токов электрического двигателя позволяют сделать заключение о его техническом состоянии.

Особого внимания в контексте рассматриваемого вопроса заслуживает такой новый метод диагностики изоляции, как метод волновых затухающих колебаний (ВЗК) [3].

Данный метод, основанный на использовании ВЗК, является одним из наиболее достоверных и точных методов, позволяющих определить реальное состояние изоляции ЭД.

Его сущность заключается в том, что на диагностируемую обмотку подается типовой единичный сигнал, в результате чего в данной обмотке возникает переходный процесс, зависящий от ее параметров, и отслеживается степень его затухания в обмотке по сравнению амплитуд и периода сигнала на выходе. Чем хуже состояние изоляции, тем сильнее затухает сигнал. Основным достоинством данного метода является то, что он позволяет производить оценку состояния междувитковой изоляции.

Для оценки состояния изоляции по данному методу в работе [3] предложен модифицированный диагностический параметр. Этот параметр является величиной, обусловленной, во-первых, состоянием изоляции, а, во-вторых, величинами конструктивных параметров электрических машин. Поэтому, основным препятствием для повсеместного внедрения данного метода диагностики является то, что для каждого типа ЭД, а также двигателей нестандартного исполнения, модернизированных при капитальном ремонте, отсутствуют эталонные значения диагностических параметров, которые для конкретного типа электродвигателя будут индивидуальными. В данном случае, под эталонным понимается состояние электроизоляционной системы (ЭИС) нового ЭД, выполненного с соблюдением требований ТУ и ГОСТов, и не имеющего дефектов. В настоящее время актуальной является задача нахождения диагностического параметра, шкала значений которого подходила бы для любого типа асинхронных электродвигателей. Четкое разграничение значений диагностического параметра необходимо для возможности осуществления идентификации стадии жизненного цикла с целью прогнозирования процесса дальнейшего старения и наиболее вероятного срока службы. Прогноз позволяет своевременно произвести комплекс мероприятий по предотвращению возможных негативных последствий досрочного выхода электродвигателя из строя.

Рассмотренные методы позволяют получить большое количество информации о контролируемом объекте, но оба имеют недостатки. Их наличие может привести к невозможности обнаружения дефекта, который повлечет за собой аварию электрической машины. Для компенсации недостатков различных методов анализа технического состояния двигателя необходимо использование системы комплексного мониторинга, ма-

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

тематический аппарат которой совмещает несколько взаимодополняющих методов.

Таким образом, одним из подходов к решению данной проблемы является синтез существующих на сегодняшний день методов и технологий оценки состояния электрооборудования. В качестве варианта практической реализации синтеза предлагается создание на базе метода ВЗК и метода, основанного на анализе параметров внешнего магнитного поля (ВМП) двигателя, единого комплекса средств диагностики, способного оценивать состояние электродвигателя на всех этапах его жизненного цикла. Другими словами, в процессе эксплуатации перед обслуживающим персоналом стоит задача не допустить неисправность или восстановить нарушенное соответствие электрических двигателей техническим требованиям. Решение этой задачи невозможно без эпизодической или непрерывной диагностики состояния электродвигателя, и в этом случае применяется метод на основе анализа параметров ВМП [2]. При ремонте же необходимо отслеживать качество выполнения каждого из его этапов, что возможно при использовании метода ВЗК [3]. Данный комплекс является универсальным, способным оценивать состояние обмотки как в процессе эксплуатации, так и ремонта. Применение данного комплекса диагностических средств позволит, главным образом, создать инструмент, позволяющий получить неограниченный доступ к исследованию процессов, происходящих в изоляции на всем протяжении жизненного цикла ЭД.

Теоретические основы указанного выше современного вновь разрабатываемого метода диагностики электродвигателей в процессе их эксплуатации, основанного на анализе гармонического состава их внешнего магнитного поля, приводятся в [2]. Именно в нем объединены принципиальные плюсы всех других перспективных методов, а именно:

- для диагностирования нет необходимости выводить двигатель из эксплуатации;
- ЭД диагностируется под нагрузкой;
- в равной степени достоверности диагностируются все основные узлы двигателя;
- простота в эксплуатации;
- относительная дешевизна.

В свою очередь, все методики оценки состояния электродвигателей, основанные на использовании разрабатываемого комплекса диагностических средств, принципиально можно разделить на три группы:

1) текущее значение диагностического параметра сравнивается со значением, полученным во время предыдущего измерения;

2) текущее значение диагностического параметра сравнивается со значением, соответствующим критическому состоянию объекта, при котором еще сохраняется его работоспособность;

3) текущее значение диагностического параметра сравнивается со значением, соответствующим эталонному техническому состоянию объекта.

В настоящее время широко используется первая методика диагностирования. Ее достоинством является возможность оценки изменения технического состояния изоляционной системы за заданный промежуток времени, что является важным при определении необходимости проведения работ технического обслуживания. Основными недостатками этой методики являются необходимость ведения документации о состоянии изоляции ЭД и неопределенность текущего ее состояния.

Однако практическая реализация упомянутого выше комплекса диагностических средств будет максимально эффективной только в том случае, если заранее известны значения граничных параметров, то есть значения, соответствующие наивысшей прочности (высокому качеству) изоляции, и значения совершенно противоположные, дальнейшее снижение которых ведет к полной потере свойств изолирующего материала. Другими словами, проблема заключается в том, что с одной стороны существуют методы, модели и технические средства диагностики изоляции, позволяющие эффективно, с высокой степенью достоверности диагностировать обмотки ЭД, а с другой стороны - не установлены необходимые зависимости между значениями основных граничных параметров обмотки, отражающими состояние изоляции, диагностическими параметрами и параметрами конкретных электроизоляционных систем. Это ограничивает использование методов, изложенных в [2, 3], и затрудняет прогнозирование технического состояния изоляции или определения ее остаточного рабочего ресурса. Немаловажным является и тот факт, что использование указанных методов предполагает диагностику изоляции за некоторый промежуток времени. Например, если средний срок наработки на отказ изоляции равен Γ часов, то для того, чтобы проследить изменение кривой состояния изоляции, необходимо производить диагностирование с частотой

л раз за период $\Gamma/2 - \Gamma/3$. Отсутствие значений граничных параметров конкретных ЭИС не позволяет точно оценить состояние меж- дувитковой изоляции по результатам одного выборочного диагностирования. Это становится возможным только при наличии хотя бы одного из значений граничных параметров. Наиболее важным для обеспечения единства и сравнимости измеряемой информации является установление значений верхней границы диагностического параметра.

Решить данную проблему - не только значительно расширить возможности разрабатываемого комплекса диагностических средств, но и, главным образом, создать инструмент, позволяющий получить неограниченный доступ к исследованию процессов, происходящих в изоляции на всем протяжении жизненного цикла. Для успешного решения этой задачи необходимо выполнить комплексные исследования конструктивных, технологических, эксплуатационных и других особенностей некоторой группы наиболее широко распространенных ЭИС. Ограничение исследований небольшой группой вызвано тем, что установление зависимости между главными конструктивными параметрами электроизоляционной системы позволит аналитически установить подобную зависимость для любой ЭИС. Это оправдано еще и тем, что объективно оценить сведения об изучаемом процессе и распространить результат, полученный в одном исследовании, на серию других подобных исследований, можно, если правильно их выполнить и обработать результаты.

Таким образом, решение задачи прогнозирования состояния изоляции электродвигателя может быть осуществлено лишь при создании комплексной методики ее диагностики и контроля. Такая методика должна включать в себя как установление текущего состояния изоляции, так и сопоставление полученных значений диагностического параметра с уже известными.

На сегодняшний день на сельскохозяйственных предприятиях для диагностики изоляции электрооборудования получили распространение многочисленные приборы, классификация которых приведена в [3]. Однако одним из приоритетных научных направлений является разработка принципиально новых технических средств на основе использования достоверных методов диагностики, а также совмещение их с различными защитными и коммутирующими устройствами.

Как показывает практика, из всех технических средств для диагностики в условиях сельского хозяйства больше всего подходят ручные малогабаритные приборы. Это вызвано удаленностью обслуживаемых объектов друг от друга и необходимостью переездов персонала на значительные расстояния, а также простотой в эксплуатации, надежностью и многофункциональностью.

Электромеханические, электронные и цифровые омметры, измерительные мосты, специальные приборы для измерения емкости и добротности являются основными техническими средствами диагностики и контроля изоляции обмоток лектродвигателей. Наибольшее распространение в последнее время получили аналоговые электромеханические и электронные цифровые приборы. Аналоговые переносные приборы получили наибольшее распространение на предприятиях сельского хозяйства.

При ремонте асинхронных электродвигателей может быть применен аппарат ВЦФ-5-3. Этот аппарат предназначен для контроля электрической прочности изоляции обмоток электрических машин. С его помощью можно производить контроль электрической прочности междуслойной изоляции трансформаторов, испытывать корпусную и междуфазную изоляцию обмоток электродвигателей и катушек электроаппаратов, проверять правильность соединения обмоток электрических машин и находить обрыв фазы обмоток. Тем не менее, оценка состояния междувитковой изоляции обмоток ЭД непосредственно в условиях эксплуатации с использованием даже самых современных приборов - задача достаточно сложная. В этой связи техническая реализация метода диагностики, основанного на использовании ВЗК в обмотке, - необходимый и важный элемент в обеспечении получения достоверной информации о состоянии междувитковой изоляции.

В научно-исследовательской лаборатории «Надежность электрооборудования» Алтайского государственного технического университета имени И.И. Ползунова проводились исследования в данной области и разработан целый комплекс устройств, реализующих метод волновых затухающих колебаний. В состав комплекса входят устройства типа УКСИ (устройство контроля состояния изоляции), ЦИЗ (цифровой измеритель затуханий), ДКВИ (диагностический комплекс для контроля качества витковой изоляции), ОМЕГА (устройство контроля обобщенного диагностического параметра (ОДП), зависящего от

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

состояния корпусной и витковой изоляции электродвигателя).

Устройства ЦИЗ-1 и ЦИЗ-2 обеспечивают формирование и подачу на обмотку диагностического сигнала и измерение параметров появляющегося на выходе обмотки затухающего колебательного процесса. Устройство ЦИЗ-2 является модификацией ЦИЗ-1 и построено на более совершенной элементной базе. Опытно-производственные испытания ЦИЗ-2 выявили ряд недостатков. Например, диагностический сигнал имел короткие импульсы, что не обеспечивало характерных затухающих колебаний. С увеличением мощности исследуемого двигателя амплитуда затухающих колебаний резко уменьшалась, что служило сужению диапазона измерений. Так, при измерении затухающих колебаний у двигателей мощностью выше 10 кВт погрешность измерения достигала 30%. Избежать отмеченных недостатков позволило устройство ДКВИ-2.

Устройство имеет значительно меньшие габариты и располагает автономным питанием. Принципиально отличается от ранее созданных генератором импульсов. Высокочастотный преобразователь выдает стабилизированное напряжение 250 В. Путем повышения напряжения генератора удалось расширить диапазон измерения прибора по мощности диагностируемых двигателей.

Использование микросхем и специальных схемных решений обеспечило высокую точность измерения периода и отношения амплитуд при небольшой потребляемой мощности самого измерителя. Совместные испытания измерительных устройств типа УКСИ, ЦИЗ-2, ДКВИ-2 позволили выявить еще один общий недостаток. Он заключается в следующем. Так как при последовательном включении исследуемой обмотки входное сопротив-

ление должно быть достаточно высоким, то протекающий по обмотке ток, соответственно, будет незначительным. Для расширения возможностей устройства в определении степени дефектности изоляции необходимо создать в обмотке затухающие колебания, вызванные большими токами. Пропуская по обмотке короткие импульсы напряжением до 300 В при параллельном включении обмотки, можно создать токи в несколько десятков ампер в импульсе. Эта особенность была учтена при разработке и создании универсального измерителя волновых параметров ОМЕГА-ЗК-01, предназначенного для исследования и диагностики сопротивления витковой и корпусной изоляции в лабораторных и производственных условиях.

Прибор Омега-ЗК-01 является универсальным измерительным средством. Он имеет сетевое и автономное питание, обладает самоконтролем всех рабочих режимов, обеспечивает возможность измерения первого и второго полупериода, длительности первого и второго периодов, а также длительности всего волнового переходного процесса с высокой степенью точности.

Прибор Омега ВП-02 построен на современной элементной базе, микросхемах серий КР555, КР1533. Имеет цифровые жидкокристаллические индикаторы, позволяющие уменьшить потребляемую мощность, и выносной, подключаемый внешне, цифровой мультиметр. К недостаткам данного аппарата можно отнести отсутствие автономного питания, присутствие внешне подключаемых элементов, очень малый объем запоминаемых параметров, сложность в управлении.

Таким образом, выполненный анализ позволил сформировать область применения разработанных технических средств диагностики, которая приведена на рисунке 1.

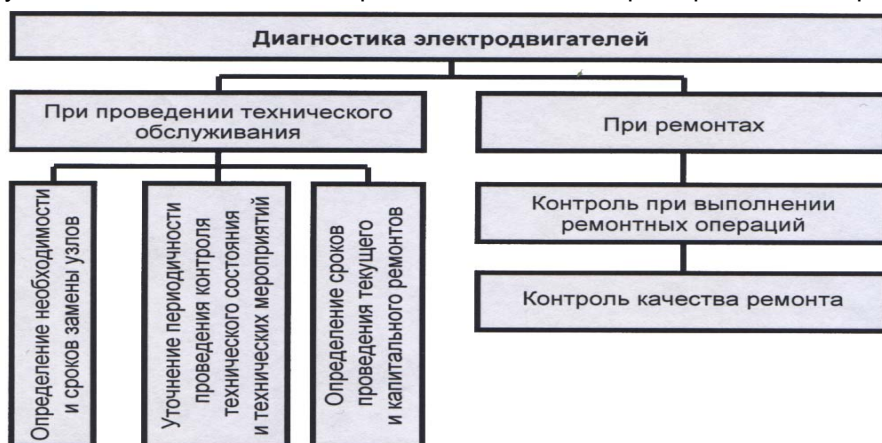



Рисунок -1 Область применения разработанных технических средств диагностики

Как уже отмечалось выше, оценка технического состояния объекта зависит не только от метода диагностики изоляции и выбранного способа обработки получаемой в ходе измерений информации, но и от особенностей используемых технических средств. Использование в данном случае разработанных технических средств позволяет выделить два способа оценки состояния изоляции ЭД:

1. измерение выходного сигнала с последующим сравнением его с эталонным при каждом включении электродвигателя;
 2. измерение параметров ВЗК с последующим их преобразованием в ОДП и сравнении его значения с эталонным.
- Первый метод реализуется с помощью прибора УПКИ-01, а второй - ИЗК-01. Предлагаемые методики диагностики изоляции ЭД приведены в таблице 1.

Таблица 1

Методики диагностики изоляции ЭД

Приборная база	
Приборы серии ИЗК	УПКИ-01
Периодичность измерения параметров состояния изоляции	
Периодически	Перед каждым включением
Порядок обработки данных	
1 Измерить значение ОДП с использованием технических средств. 2 Результат измерения сравнить с эталонным. 3 Определить, к какому из диапазонов относится полученное значение. Диапазоны значений ОДП: 0,7-1 - качество изоляции достаточно высокое; 0,3-0,7 - удовлетворительное; 0,3 и менее - критическое.	Определить цвет индикатора  Зеленое свечение - качество изоляции достаточно высокое; Желтое свечение - удовлетворительное; Красное свечение - критическое.

В настоящее время увеличение количества единиц электрооборудования на предприятиях промышленного типа вынуждает искать новые подходы к организации контроля технического состояния. Современное развитие компьютерной техники и, вместе с тем, расширение возможностей передачи и преобразования информации позволило эффективно использовать достижения в этой области для сбора и обработки диагностической информации.

Обобщенный подход к преобразованию измеренных данных о состоянии изоляции ЭД позволил разработать систему сбора диагностической информации, которая представлена на рисунке 2. Достоинством этой системы является то, что она позволяет собирать необходимую информацию при использовании как ручных измерительных средств, так и современных автоматизированных диагностических систем, в том числе предлагаемого комплекса средств измерения и прогноза.

Таким образом, для диагностики изоляции, контроля параметров и режимов работы низковольтных ЭД мощностью от 0,55 до 55 кВт с возможностью оперативного прогнозирования состояния и оценки остаточного ресурса, может быть использована автоматизированная диагностирующая система (АДС), построенная по принципу расширен-

ного измерительного вычислительного комплекса и являющаяся составной частью всей системы. Эффективная работа этого комплекса может быть обеспечена только при наличии системы сбора, передачи и обработки измерительной информации. Такая система предназначена для использования на агропромышленных предприятиях, однако возможно ее применение и в промышленности.

Система сбора диагностической информации должна работать следующим образом. Каждый ЭД оборудуется специальным диагностирующим модулем (ДМ). В настоящее время разработаны модули двух типов. При этом конструкция ДМ проста за счет минимизации элементов.

ДМ первого типа встраиваются непосредственно в распределительную коробку ЭД, а если это невозможно из-за слишком маленького объема, то рядом.

ДМ второго типа совмещаются с пусковой или защитной аппаратурой ЭД. Любой из типов ДМ имеет выходное передающее устройство, с которого данные через соответствующий канал передачи информации поступают на вход согласующего устройства, и далее передаются в персональный компьютер (ПК) [4].

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

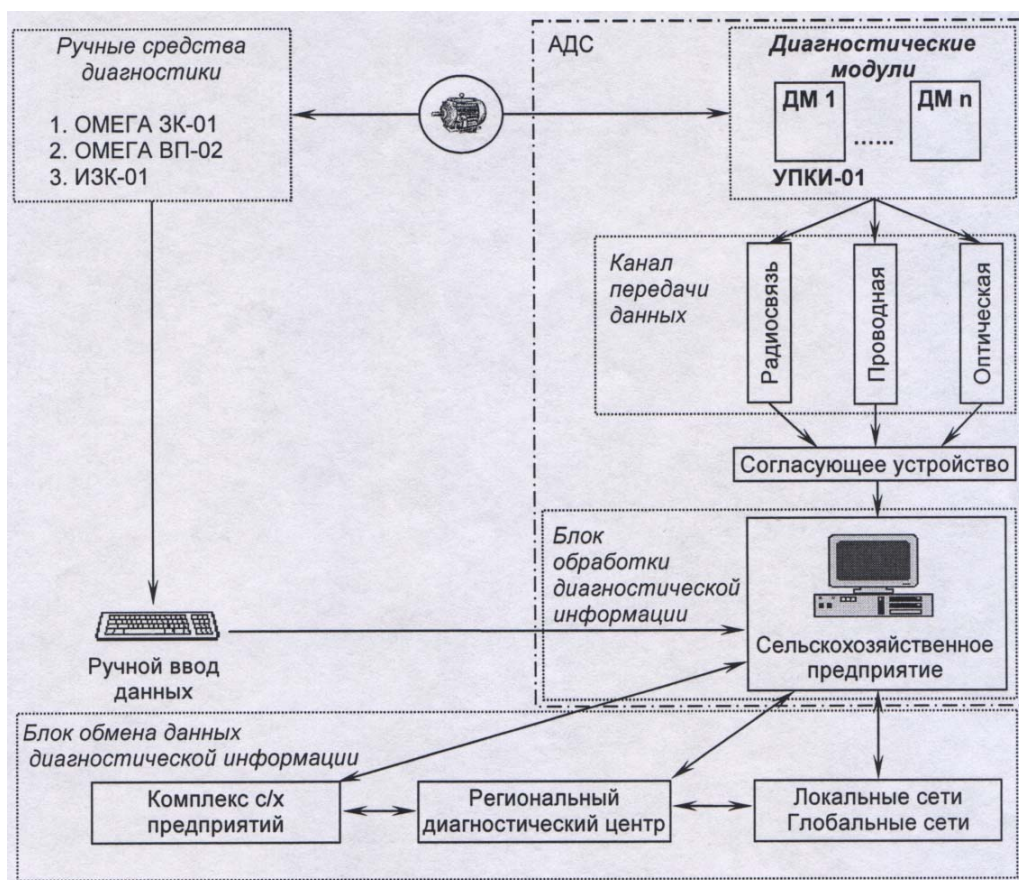


Рисунок 2 - Структурная схема системы сбора диагностической информации ЭД

Диагностические данные обрабатываются в ПК специальным программным обеспечением в результате чего осуществляется оценка технического состояния изоляции ЭД и производится прогноз остаточного срока службы.

При наличии локальной сети АДС может обмениваться информацией с другими системами или передавать информацию в специальный центр обработки информации.

Вышеописанная система прошла испытания, в ходе которых установлены элементы системы, нуждающиеся в доработке, а также разработан пакет документации для ее внедрения на предприятиях АПК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стеценко, А. А. Системы мониторинга и диагностики машин: сб. науч. тр. [Текст] / А. А. Стеценко, О. И. Бедрий, О. А. Стеценко. - Сума: НТЦ «Диагностика», 2004. - С. 21-34.

2. Хомутов, С. О. Ситуационное планирование ремонтов электродвигателей на основе их электромагнитной диагностики [Текст] / С. О. Хомутов, В. А. Рыбаков, В. Г. Тонких. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. - 230 с.

3. Хомутов, О. И. Эксплуатация, диагностика и ремонт изоляции электрических машин: учеб. пособие для студентов вузов [Текст] / О. И. Хомутов, В. И. Сташко, С. О. Хомутов. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1999. - 146 с.

4. Левачев, А. В. Измерительно-диагностический комплекс для исследования качества изоляционных покрытий [Текст] / В. И. Сташко, С. О. Хомутов, А. В. Левачев // Измерение, Контроль, Информатизация: Материалы Второй Международной научно-технической конференции. - Барнаул, 2001. - С. 162-164.

Хомутов С.О., к.т.н., доцент, кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Тонких Ю.А., Дронов В.С., тел. (3852) 36-77-72