

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

А.А. Грибанов

*В статье рассматриваются вопросы современного состояния и дальнейшего развития системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования в агропромышленном комплексе. Особое внимание уделено научным проблемам организации технического обслуживания по фактическому состоянию. Приведены результаты исследований по разработке методов диагностики и прогнозирования состояния электродвигателей и трансформаторов.*

*Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, силовой трансформатор, диагностика, прогнозирование, волновые затухающие колебания, спектральный анализ, обслуживание по фактическому состоянию.*

Современное развитие науки и техники привело к созданию большого числа электротехнических устройств, которые позволяют решать различные технические задачи. Следствием этого является высокая степень автоматизации современных технологических процессов. Это в полной мере относится и к основным электрифицированным технологическим процессам в сельском хозяйстве.

Сельскохозяйственное электрооборудование можно разделить на две большие группы:

- электрооборудование сельскохозяйственных потребителей (электроприёмники);
- силовое питающее электрооборудование.

Наиболее распространёнными видами электрооборудования первой группы являются [1]: трехфазные асинхронные электродвигатели, нагревательное оборудование (электродные нагреватели, электроводонагреватели, установки дизлектрического и индукционного нагрева), оборудование для освещения и облучения. В отдельную группу необходимо выделить электронное оборудование систем управления. Также следует отметить, что при разработке новой техники начинает использоваться специфическое электрооборудование (например, линейные асинхронные, вентильные, шаговые, синхронные двигатели).

К электрооборудованию второй группы следует отнести: силовые трансформаторы, коммутационные и защитные аппараты, распределительные устройства, провода и кабели.

Всё электрооборудование сельскохозяйственного предприятия участвует в процессе производства, то есть используется для по-

лучения прибыли. Авария или отказ оборудования приводят к остановке или частичному нарушению этого процесса, что с экономической точки зрения сводится к потере дохода предприятием. Для того, чтобы этого не происходило необходимо использование системы действенных мер.

В настоящее время для поддержания электрооборудования в работоспособном состоянии используется ряд технических мероприятий, объём и периодичность выполнения которых нормируется системой планово-предупредительного ремонта. Однако изменившиеся экономические условия ставят под сомнение эффективность выполнения мероприятий, регламентируемых этой системой. В результате проведения многочисленных исследований и разработок были получены основные теоретические и практические положения использования системы обслуживания и ремонтов по фактическому состоянию. Целью этой системы является повышение надёжности и снижение эксплуатационных расходов. Необходимые работы по техническому обслуживанию назначают в зависимости от фактического технического состояния объекта и предполагаемого изменения его состояния в процессе эксплуатации [2].

Для реализации системы технического обслуживания по состоянию необходимо выполнение следующих условий [2]:

- 1) экономическая целесообразность;
- 2) наличие приборной базы;
- 3) методика определения технического состояния и его прогнозирования;
- 4) обученный персонал;
- 5) контролепригодность оборудования.

Таким образом, для обеспечения надёжной работы эксплуатируемого на сельскохо-

зяйственных предприятиях оборудования необходимо обеспечить выполнение вышеприведённых пунктов. Поэтому выполним анализ состояния системы эксплуатации и ремонта сельскохозяйственного электрооборудования с точки зрения предъявленных требований согласно приведённым пунктам:

1. Экономическая целесообразность в использовании системы обслуживания по фактическому состоянию сомнений не вызывает, поскольку сельскохозяйственный производитель заинтересован в сокращении приведённых затрат на обслуживание электрооборудования, с одной стороны, и обеспечении максимально надёжной его работы, с другой. Сельское хозяйство имеет дело с преобразованием очень нежных по своей сути биологических объектов. При выполнении технологических операций с ними большое значение имеет время. Задержка по любой причине, в том числе из-за выхода из строя электрооборудования, приведёт к порче сырья или продукции, а, следовательно, к ущербу от недовыпуска продукции и сокращению прибыли.

2. Благодаря ряду серьёзных исследований, проводимых различными научными коллективами в России и за рубежом, в настоящее время создано большое количество методов и средств диагностики, основанных на различных физических принципах и позволяющих оценивать техническое состояние различных типов электрооборудования. Таким образом, недостатка в приборной базе нет, но это порождает проблему выбора технического средства диагностики для конкретного предприятия с учётом специфики используемого оборудования и организации технологических процессов.

3. Прогнозирование является одной из сложнейших задач, поскольку имеет дело со случайными процессами (степень воздействия одного и того же фактора меняется во времени). Как правило, методики прогнозирования сложны для изучения и применения персоналом, чем ограничивается их современное использование. Таким образом, проблема состоит в необходимости упрощения методик прогнозирования для обеспечения возможности их повсеместного использования.

4. Отсутствие или недостаток квалифицированного персонала на сельскохозяйственных предприятиях является одной из характерных проблем. Корень проблемы лежит в социально-экономической плоскости, и заострять внимания на нём мы не будем. Одна-

ко с точки зрения реализации перспективной системы обслуживания электрооборудования данный недостаток можно устранить.

5. Все основные типы рассматриваемого электрооборудования в целом и по отдельным узлам на всех этапах жизненного цикла обладают свойством контролепригодности.

Таким образом, повсеместному внедрению системы обслуживания электрооборудования по фактическому состоянию на сельскохозяйственных предприятиях с технической точки зрения препятствует наличие на рынке большого числа измерительно-диагностических комплексов, сложность разработанных методов и методик прогнозирования технического состояния и недостаток квалифицированного персонала.

Проблема выбора метода и средства диагностики для оценки технического состояния не нова. Каждый метод диагностики основан на протекании определённого физического процесса. Параметры этого процесса связаны известной закономерностью с техническим состоянием контролируемого узла электрооборудования. Таким образом, по изменению параметров процесса можно судить об изменении состояния диагностируемого узла.

Следует заметить, что взаимосвязь параметров физического процесса с техническим состоянием исследуемого узла не всегда бывает однозначной. На протекание процесса могут оказывать влияние другие воздействующие факторы, что является причиной низкой достоверности метода. С другой стороны, различная техническая реализация одного и того же метода диагностики может обеспечивать получение отличающегося по точности результата. Кроме того, изменение методики измерения приводит к наличию у одного метода нескольких диагностических параметров, отличающихся достоверностью полученной информации.

Для того, чтобы внести ясность в решение этого вопроса были проведены теоретические и экспериментальные исследования, результаты которых отражены в работах [3, 4]. Основным результатом этих работ стало создание методики определения оптимальных методов, методик и технических средств применительно к различным технологическим процессам и условиям эксплуатации трехфазных асинхронных электродвигателей. В результате применения этой методики для анализа методов и средств диагностики, используемых на практике, доказано, что наибольшую достоверность информации среди методов тестовой диагностики электродвига-

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

телей обеспечивает использование метода волновых затухающих колебаний в обмотке [5]. Этот метод состоит в анализе параметров кривой переходного процесса, получаемой с одного из выводов обмотки при подаче на другой вывод прямоугольного тестирующего сигнала. Диагностическими параметрами при анализе осциллограмм являлись амплитуда первого положительного полупериода, амплитуда второго положительного полупериода и величина периода колебаний [6]. Использование этих параметров на практике оказалось не удобным и в результате были предложены обобщённый и модифицированный диагностический параметры [7]. Их использование позволяло сделать вывод о состоянии конкретного электродвигателя, но для большого количества электродвигателей, различающихся по мощности, это оказывается неудобным, так как значения параметра, с которым сравнивается измеренное значение, индивидуально для каждой марки электродвигателя.

Для унификации и повышения достоверности диагностики было предложено выполнять спектральный анализ кривой переходного процесса в обмотке электродвигателя. Проверка этой гипотезы осуществлялась экспериментальным путём. Спектральный анализ диагностического сигнала выполнялся с использованием цифрового осциллографа Bordo211 и специализированного программного обеспечения "Осциллограф цифровой v2.0.1". Цель экспериментов состояла в выявлении частот, являющихся диагностическими параметрами для отдельных дефектов и повреждений асинхронных электродвигателей.

На первом этапе были выполнены эксперименты по получению спектрограмм перемотанного электродвигателя. Измерения проводились перед выполнением операций пропитки и сушки изоляции и после их окончания. Полученные осциллограммы приведены на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1 после пропитки и сушки изоляции амплитуды гармоник уменьшаются во всей полосе частот.

Далее проводились эксперименты по установлению изменений в спектрограммах при межвитковых и межобмоточных замыканиях, увлажнении двигателей.

Полученные в результате экспериментов отдельные участки спектрограмм приведены на рисунках 2–4. На всех рисунках  $|S_{spectr1j}|$  соответствует "эталонному", а  $|S_{spectr2j}|$  –

дефектному состоянию асинхронного двигателя.

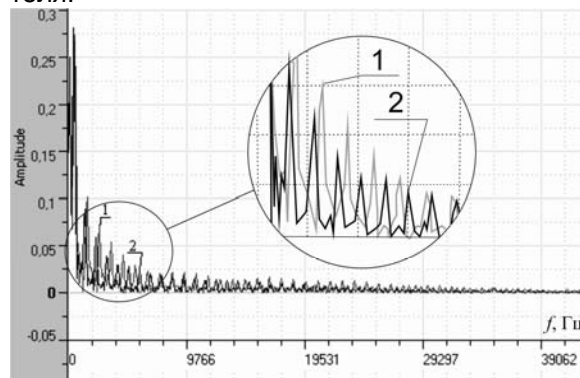


Рисунок 1 – Спектрограммы перемотанного асинхронного двигателя: 1 – для непропитанного двигателя; 2 – для двигателя после пропитки и сушки

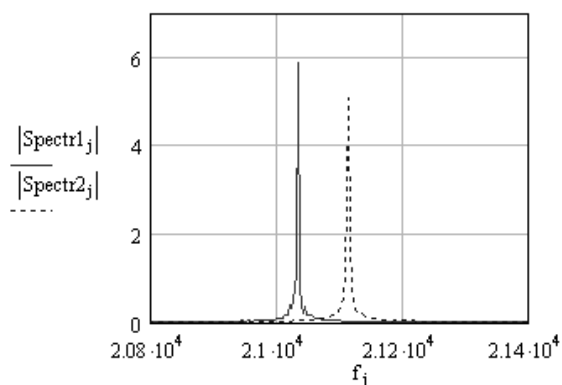


Рисунок 2 – Изменения спектрального состава, характерные для межвитковых замыканий (диагностический параметр – частота 21000 Гц)

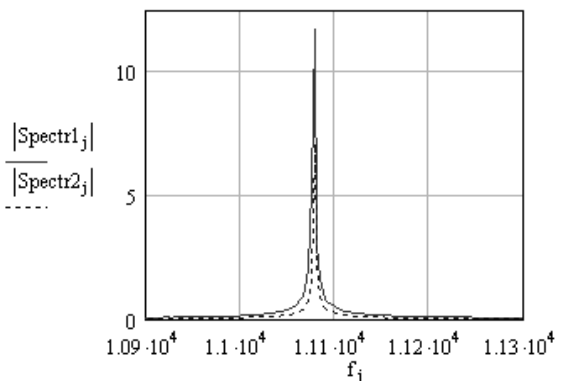


Рисунок 3 – Изменения спектрального состава, характерные для межобмоточных замыканий (диагностический параметр – частота 11000 Гц)

Анализ спектрограммы, приведённой на рисунке 2, позволяет сделать вывод, что при ухудшении состояния межвитковой изоляции будет увеличиваться частота диагностической гармоники и уменьшаться её амплитуда. При ухудшении состояния междуфазной изоляции (рисунок 3) наблюдается уменьшение

амплитуды диагностической гармоники. С повышением степени увлажнения изоляции двигателя (рисунок 4) частота диагностической гармоники будет увеличиваться.

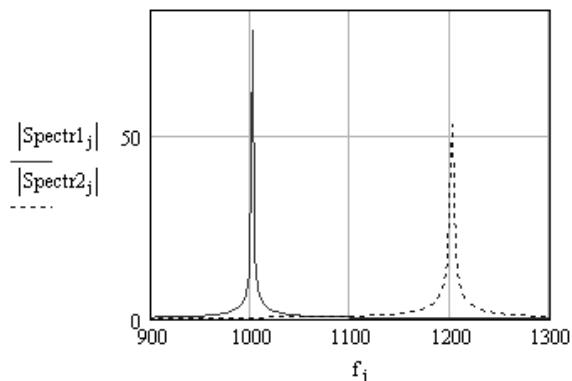


Рисунок 4 – Изменения спектрального состава, характерные для увлажненного двигателя (диагностический параметр – частота 1000 Гц)

Для эффективного использования диагностики по спектрограммам волнового затухающего процесса необходимо наличие спектронограмм (спектрограмм для условно идеального состояния изоляции – эталонов), которые могут быть получены следующими способами:

1) получение формы спектрограмм с помощью фиксации и обработки диагностического сигнала у каждого двигателя группы бездефектных машин, определение средних значений отдельных частот и границ их допустимых отклонений («эталон по группе»);

2) установление характера изменения отдельных частот спектрограммы на начальной стадии эксплуатации конкретного объекта, определение их тренда и допустимых отклонений, использование этих значений в качестве эталона данного объекта на время дальнейшей эксплуатации («эталон по истории»);

3) выполнение тех же операций, что и в предыдущем пункте, но результаты должны быть использованы в качестве эталона на вторую часть одного измерения («мгновенный эталон»);

4) моделирование.

Моделирование представляет собой довольно перспективное направление в получении эталонов. Моделирование может идти двумя путями:

- математическое моделирование;
- моделирование с использованием специализированных программ (например Multisim от National Instruments Corporation Electronics Workbench Group).

Математические модели для диагностики по методу волновых затухающих колебаний получены в работах [6, 7] и используют схему замещения обмотки электродвигателя, представленную на рисунке 5. В этой схеме приведены следующие сосредоточенные параметры:  $R_{об}$  – активное сопротивление обмотки;  $L_{об}$  – индуктивность обмотки;  $R_к$  – активное сопротивление изоляции относительно корпуса;  $C_к$  – ёмкость изоляции относительно корпуса;  $R_е$  – активное сопротивление межвитковой изоляции;  $C_е$  – ёмкость межвитковой изоляции. Для аналитического описания процессов, протекающих при подаче на обмотку тестового импульса, используется следующая система дифференциальных уравнений, составленная на основе первого и второго законов Кирхгофа:

$$\begin{cases} i_1 + i_2 + i_3 = i_5 + i_4; \\ i_3 \cdot R_{об} + L_{об} \cdot \frac{di_3}{dt} + i_4 \cdot R_к = U_{ex1}; \\ i_3 \cdot R_{об} + L_{об} \cdot \frac{di_3}{dt} + \frac{1}{C_к} \cdot \int i_5 dt = U_{ex1}; \\ i_3 \cdot R_{об} + L_{об} \cdot \frac{di_3}{dt} - \frac{1}{C_е} \cdot \int i_1 dt = 0; \\ \frac{1}{C_к} \cdot \int i_5 dt - i_4 \cdot R_к = 0. \end{cases} \quad (1)$$

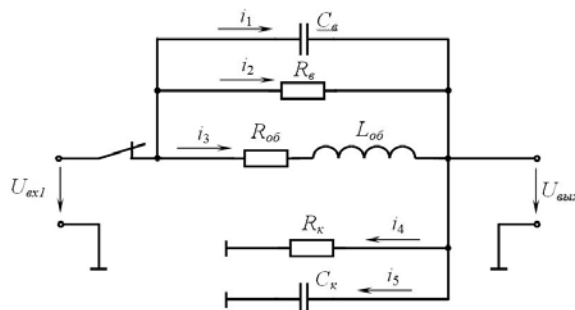


Рисунок 5 – Схема замещения обмотки асинхронного электродвигателя

Опуская промежуточные выкладки в результате решения системы (1) получим следующее выражение:

$$U_{вых}(t) = U_{Cк.нр} + \frac{U_{Cк.нр}}{\sin(\nu)} \cdot e^{-\delta \cdot t} \times \sin(\omega_0 \cdot t + \nu), \quad (2)$$

$$\text{где } U_{Cк.нр} = \left( -U_{ex1} \cdot e^{-\frac{t}{C \cdot R}} + U_{ex1} \right) \times \frac{(R_{об} + R_е) \cdot R_к}{R_{об} \cdot R_е + R_{об} \cdot R_к + R_е \cdot R_к}; \quad (3)$$

$$\nu = \arctan\left(\frac{\omega_0}{\delta}\right); \quad (4)$$

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

$\delta$  – коэффициент затухания (действительная часть комплексного числа);

$\omega_0$  – частота затухания (мнимая часть комплексного числа);

$C$  – входная ёмкость (ёмкость генератора импульсов);

$t$  – время.

На основе выражения (2) можно построить кривую переходного процесса в обмотке асинхронного двигателя. Как показано в работе [7], эта модель описывает рассматриваемый процесс для всех возможных состояний изоляционной системы двигателя. Если в выражение (3) подставить значения  $R_{об}$ ,  $L_{об}$ ,  $R_{к}$ ,  $C_{к}$ ,  $R_{г}$ ,  $C_{г}$ , характерные для нового двигателя, то можно получить кривую переходного процесса для условно-идеального (эталонного) состояния изоляции. Дальнейшее разложение этого сигнала в спектр даст спектронормограмму. После накопления базы эталонных спектрограмм станет возможным проводить диагностику асинхронных электродвигателей по сравнению спектрограммы со спектродефектограммой (спектрограммой, полученной в результате измерений и обработки сигнала в конкретный момент времени).

Одной из положительных современных тенденций в диагностике является использование универсальных методов, то есть методов, которые могут применяться в равной степени к различным типам электрооборудования (например, тепловизионная диагностика, вибродиагностика или диагностика на основе анализа параметров внешнего магнитного поля электрооборудования [8]). Это стало возможным благодаря использованию метода аналогий, согласно которому модели и методы исследования одного объекта можно применять по отношению к другому объекту, имеющему сходство протекающих процессов.

Использование метода аналогий позволило применить способ диагностики по методу волновых затухающих колебаний в отношении практически всех элементов электрооборудования, в частности силовых трансформаторов [9, 10]. Несмотря на сходство электромагнитных процессов в асинхронном двигателе и силовом трансформаторе простое перенесение математических зависимостей для их описания не приемлемо. Связано это со спецификой работы технических объектов и различием в их устройстве.

Анализ процессов, протекающих в силовых трансформаторах, позволил прийти к выводу о необходимости учёта в схеме замещения параметров цепи намагничивания, ко-

торые оказывают сильное воздействие на процессы в обмотках. При этом необходимо учитывать то обстоятельство, что смысл диагностики по рассматриваемому методу сводится к зондированию обмоток одного напряжения, так как если осуществлять сквозную диагностику, то будет иметь место преобразование энергии. С теоретической точки зрения диагностическая ценность сквозного зондирования мала. Однако для окончательного вывода необходимо провести комплекс теоретических и экспериментальных исследований процессов преобразования сигналов при прохождении через трансформатор. С точки зрения безопасности такую диагностику стоит проводить путём подачи тестового сигнала на обмотку высшего напряжения, а снимать диагностический сигнал с обмотки низшего напряжения.

Для моделирования процессов при диагностировании обмоток одного напряжения была получена схема замещения, приведённая на рисунке 6.

Для этой схемы замещения на основе первого и второго законов Кирхгофа была составлена следующая система дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = i_5 + i_6; \\ i_4 \cdot R_{об} + L_{об} \cdot \frac{di_4}{dt} + i_5 \cdot R_{к} = U_{вхл}; \\ i_4 \cdot R_{об} + L_{об} \cdot \frac{di_4}{dt} - \frac{1}{C_{к}} \cdot \int i_6 dt = U_{вхл}; \\ i_4 \cdot R_{об} + L_{об} \cdot \frac{di_4}{dt} - \frac{1}{C_{нрод}} \cdot \int i_1 dt = 0; \\ \frac{1}{C_{к}} \cdot \int i_6 dt - i_5 \cdot R_{к} = 0; \\ i_4 \cdot R_{об} + L_{об} \cdot \frac{di_4}{dt} + L_{\mu} \cdot \frac{di_3}{dt} + i_4 \cdot R_{об} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Решение системы (5) позволило получить характеристическое уравнение следующего вида:

$$\begin{aligned} & p^3 \cdot (L_{\mu} \cdot R_{к} \cdot L_{об} \cdot R_{г} \cdot C_{нрод} + L_{\mu} \cdot L_{об} \cdot R_{г} \times \\ & \times R_{к} \cdot C_{к}) + p^2 \cdot (L_{\mu} \cdot R_{к} \cdot R_{г} \cdot C_{нрод} \cdot R_{об} + \\ & + R_{\mu} \cdot R_{г} \cdot C_{нрод} \cdot R_{к} \cdot L_{об} + L_{\mu} \cdot R_{к} \cdot C_{к} \cdot R_{г} \times \\ & \times R_{об} + R_{\mu} \cdot R_{к} \cdot C_{к} \cdot R_{г} \cdot L_{об} + L_{\mu} \cdot L_{об} \cdot R_{г} + \\ & + L_{\mu} \cdot R_{к} \cdot L_{об}) + p \cdot (R_{об} \cdot R_{г} \cdot L_{\mu} + R_{\mu} \cdot R_{г} \times \\ & \times R_{об} + L_{\mu} \cdot R_{к} \cdot R_{г} + R_{г} \cdot L_{об} \cdot R_{к} + R_{\mu} \cdot R_{к} \times \\ & \times L_{об} + L_{\mu} \cdot R_{об} \cdot R_{к} + R_{об} \cdot R_{\mu} \cdot R_{г} \cdot C_{к} \cdot R_{к} + \\ & + R_{к} \cdot R_{\mu} \cdot R_{г} \cdot C_{нрод} \cdot R_{об}) + R_{об} \cdot R_{г} \cdot R_{\mu} + \\ & + R_{г} \cdot R_{\mu} \cdot R_{к} + R_{\mu} \cdot R_{об} \cdot R_{к} + R_{к} \cdot R_{об} \cdot R_{г} = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

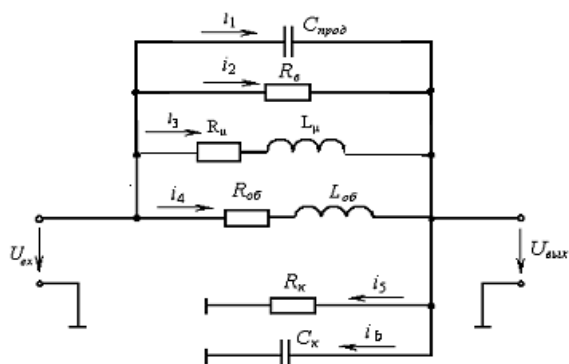


Рисунок 6 – Схема замещения для расчёта переходного процесса трансформатора при диагностировании обмоток одного напряжения

Данное уравнение имеет три корня: один – вещественный и два – комплексно-сопряженных, то есть:

$$p_1 = \alpha_1, \quad p_{2,3} = \alpha_2 \pm j\omega_2. \quad (7)$$

Все корни имеют отрицательные вещественные части, что является необходимым и достаточным условием статической устойчивости системы [11].

Это позволяет составить уравнение переходного процесса

$$U(t) = U_{вх} + A_1 \cdot e^{\alpha_1 t} + A_2 \cdot e^{\alpha_2 t} \times \sin(\omega_2 \cdot t + \varphi_2). \quad (8)$$

Уравнение содержит три неизвестных:  $A_1$ ,  $A_2$  и  $\varphi_2$ . Составим систему уравнений, пошагово продифференцировав уравнение (8) при  $t=0$ . Получим:

$$\begin{cases} A_1 + 2 \cdot A_2 \cdot \sin \varphi_2 = U_{вх}; \\ p_1 \cdot A_1 + 2 \cdot A_2 \cdot \alpha_2 \cdot \sin \varphi_2 + \\ + 2 \cdot A_2 \cdot \omega_2 \cdot \cos \varphi_2 = U_{вх}; \\ p_1^2 \cdot A_1 + 2 \cdot A_2 \cdot \alpha_2^2 \cdot \sin \varphi_2 + \\ + 2 \cdot A_2 \cdot \omega_2^2 \cdot \cos \varphi_2 = U_{вх}. \end{cases} \quad (9)$$

Решая систему (9), можно найти эти неизвестные.

Для повышения достоверности диагностики используем тот же способ обработки информации, что и при диагностике электродвигателей: будем анализировать не осциллограммы волнового затухающего процесса, а его спектрограммы, которые можно разделить на спектонормограммы (для условно-идеального состояния трансформатора) и спектродефектограммы (спектрограммы, полученные в результате обработки текущих замеров). Дальнейшие экспериментальные исследования позволят выявить области спектрограммы, ответственные за различные дефекты отдельных узлов трансформатора.

Для того, чтобы использование методов диагностики было эффективным, недостаточно иметь приборную базу и методики диагностики. При эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве важным бывает не просто оценить состояние, а узнать в течение какого срока конкретная единица оборудования с высокой вероятностью не выйдет из строя. Актуальность этого подкрепляется тем, что технологическое оборудование эксплуатируется сезонно, то есть на конкретном месте электрооборудование будет работать непродолжительно по времени в течение года, но с интенсивной нагрузкой. Его выход из строя в течение этого времени, как уже отмечалось, чреват существенными экономическими потерями. С другой стороны, применение прогнозирования позволит наилучшим образом решить задачи эффективной эксплуатации электрооборудования: спланировать сроки ремонтов, заказа запасных частей, определить их необходимый объём и др.

Среди методов прогнозирования наибольшее распространение получили методы, основанные на использовании данных о текущем состоянии узлов оборудования и анализе функции изменения на каждом шаге итерации [12]. При этом предполагается, что определение срока отказа изучаемого звена выполняется спустя некоторое время после начала эксплуатации. При этом использованная часть ресурса к этому моменту точно известна, а прогнозная часть имеет стохастический характер. Поэтому дальнейший анализ целесообразно выполнять с помощью методов теории вероятности. Однако, такие вычисления оказываются затруднены из-за отсутствия достоверных сведений. Поэтому на практике используют параметризующие модели: ресурсные, экспертные, прочностные и диагностические.

Следует отметить, что методы прогнозирования, несмотря на их неплохую теоретическую проработку в отношении отдельных видов оборудования, в отрасли сельского хозяйства практически не используются. Основной причиной является сложность вычислительных алгоритмов и, как уже отмечалось, недостаток квалифицированных специалистов.

Одним из перспективных путей решения этой проблемы может стать автоматизированное прогнозирование состояния электрооборудования. В самом простом случае это может быть достигнуто за счёт надления диагностических приборов функцией прогно-

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

за [13]. Важным обстоятельством при решении этой задачи является то, что достоверный прогноз может быть получен при учёте максимально возможного количества факторов, которые, как правило, имеют случайный характер. Основным недостатком современной измерительной аппаратуры является использование в подавляющем большинстве случаев одного метода диагностики. Использование приборной базы, позволяющей реализовать одновременно несколько методов диагностики, существенно повысит достоверность полученной информации и в разы уменьшит степень неопределённости информации о состоянии исследуемого объекта. Такая система может быть построена только на основе современной электронной элементной базы, позволяющей хранить и обрабатывать с большой скоростью значительные объёмы данных.

Решение такой задачи потребует создания новых алгоритмов обработки информации. В частности станет актуальной задача организации прогнозирования на основе комплексных диагностических критериев. Поскольку при диагностике техническое средство будет позволять получить одновременно несколько диагностических параметров, то необходимым станет упорядочение этих параметров по степени важности и обобщения информации путём учёта её дублирования при анализе значений различных параметров. Эту задачу можно будет решить на основе методов свёртки.

Рассмотренные устройства диагностики и прогнозирования технического состояния должны стать полностью автоматизированными и простыми в использовании, так как вследствие недостатка квалифицированного обслуживающего и электроремонтного персонала использовать их будут непрофессионалы. Однако у проблемы нехватки квалифицированных кадров есть и другое решение: создание специализированного ремонтного предприятия, которое будет использовать мобильные ремонтно-диагностические комплексы и перемещаться от одного сельскохозяйственного предприятия к другому. Максимальная эффективность работы этого предприятия может быть достигнута только при организации работы на научной основе.

Мобильный ремонтно-диагностический комплекс должен представлять собой совокупность автомобильного тягача, технологического оборудования для деструкции связующего и извлечения вышедших из строя обмоток, намотки и изолирования катушек, их

пропитки и сушки, а также приборной базы для диагностики и прогнозирования технического состояния. Общие принципы формирования таких комплексов для ремонта сельскохозяйственных электродвигателей рассмотрены в [14]. На имеющейся базе можно создать комплекс для ремонта электрооборудования сельскохозяйственных потребителей. Разработка одного комплекса для ремонта и диагностики и электрооборудования сельскохозяйственных потребителей, и всего силового питающего электрооборудования, на наш взгляд, затруднительна. Связано это с различиями в технологиях ремонта и способах диагностики и прогнозирования. Объединение целесообразно только для электрооборудования сельскохозяйственных потребителей и низковольтного питающего электрооборудования. Последнее, как правило, ремонтируется агрегатным способом: при выходе из строя повреждённый узел или весь аппарат заменяются на новый. Высокочеловеческое оборудование, как правило, принадлежит другому владельцу (предприятию электрических сетей), в связи с чем целесообразно для его диагностики, обслуживания и ремонта создавать отдельный мобильный комплекс.

Таким образом, дальнейшее совершенствование системы технического сервиса сельскохозяйственного электрооборудования следует проводить в направлении:

- развития методов диагностики и методов прогнозирования состояния электротехнических устройств и электрических машин;
- создания комбинированных технических средств диагностики и прогнозирования;
- повышения квалификации и профессионализма обслуживающего электроустановки и электроприёмники персонала за счёт создания узкоспециализированных предприятий на основе использования мобильных ремонтно-диагностических комплексов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дайнеко, В.А. Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий: учебное пособие [Текст] / В.А. Дайнеко, А.И. Ковалинский. – Минск : Новое знание, 2008. – 320 с.
2. Техническое обслуживание по фактическому состоянию [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа: [http://www.systematic.ru/tehnicheskoe\\_obs\\_luzhivanie\\_po\\_fakticheskomu\\_sostoyaniyu.html](http://www.systematic.ru/tehnicheskoe_obs_luzhivanie_po_fakticheskomu_sostoyaniyu.html).
3. Грибанов, А.А. Проблемы оптимизации использования методов диагностики изоляции асинхронных электродвигателей [Текст] / А.А. Грибанов, Т.Е. Годецкая // Оптимизация режимов работы электротехнических систем: межвуз. сб. науч.

## ГРИБАНОВ А.А.

тр. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2008. – С. 125 – 131.

4. Годецкая, Т.Е. Вероятностная оценка информативности методов диагностики изоляции асинхронных двигателей [Текст] / Т.Е. Годецкая, А.А. Грибанов, О.И. Хомутов, С.О. Хомутов. – Ползуновский вестник. – №4. – 2009. – С.62-67.

5. Хомутов, О.И. Оценка параметров волнового затухающего процесса в обмотках электродвигателей [Текст] / О.И. Хомутов, С.О. Хомутов, А.А. Грибанов // Вестник Алтайского научного центра Сибирской академии наук высшей школы. – №8. – 2005. – С. 174–178.

6. Сташко, В.И. Диагностика изоляции электродвигателей в сельском хозяйстве на основе использования метода затухающих колебаний в обмотке [Текст] : дис ... канд. техн. наук : 05.20.02 : защищена 24.03.98 : утв 14.09.98 / Сташко Василий Иванович ; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул, 1998. – 134 с.

7. Левачев, А.В. Диагностика изоляции асинхронных электродвигателей на основе использования параметров схемы замещения обмоток [Текст] : дис ... канд. техн. наук : 05.20.02 : защищена 19.09.02 : утв 18.03.03 / Левачев Андрей Владимирович. – Барнаул, 2002. – 156 с.

8. Силин, Н.В. Оценка технического состояния электроэнергетического оборудования по спектральным характеристикам излучаемого им электромагнитного поля [Текст]: дис ... докт. техн. наук: 05.09.05 / Силин Николай Витальевич. – Владивосток, 2009. – 308 с.

9. Грибанов, А.А. Диагностирование силовых трансформаторов на основе анализа параметров переходного процесса в обмотках фаз одного напряжения [Текст] / А.А. Грибанов // Вестник Томского государственного университета: Общественно-научный периодический журнал. Бюллетень оперативной научной информации. Социальные, информа-

ционные и энергетические проблемы региона. – №82. –Томск: Томский государственный университет, 2006. – С. 15 – 23.

10. Грибанов, А.А. Математическое моделирование диагностического сигнала при оценке состояния силовых трансформаторов по методу низковольтных импульсов [Текст] / А.А. Грибанов, С.О. Хомутов. – Ползуновский вестник. – №2. – 2010. – С.232-238.

11. Веников, В. А. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики: учебник для студентов вузов [Текст] / В. А. Веников [и др.] / под ред. В.А. Веникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1981. – 288 с. : ил.

12. Ченцов, Н.А. Организация, управление и автоматизация ремонтной службы: учебник [Текст] / Н.А. Ченцов. – Донецк: Норд-Пресс-УНИТЕХ, 2007. – 258 с.

13. Пат. 2283501 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> G 01 R 31/00. Устройство для оценки и прогнозирования технического состояния изоляции обмоток электродвигателя [Текст] / Хомутов О.И., Хомутов С.О., Попов А.Н., Свистёлко Д.А., Грибанов А.А., Сташко В.И.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ). – №2005107948/28; заявл. 21.03.05; опубл. 10.09.06, Бюл. №25. – 6 с.: ил.

14. Хомутов, С.О. Система повышения надёжности электродвигателей в сельском хозяйстве на основе комплексной диагностики и эффективной технологии восстановления изоляции [Текст] : дис ... докт. техн. наук: 05.20.02 / Хомутов Станислав Олегович. – Барнаул, 2010. – 385 с.

**Грибанов А.А., к.т.н., доцент; АлтГТУ им. И.И. Ползунова, каф. ЭПП, тел. 8(3852) 29-07-76, E-mail: [diread@mail.ru](mailto:diread@mail.ru).**