

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ НА БАЗЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В. И. Сташко

Алтайский государственный технический университет  
им. И.И.Ползунова

**Аннотация.** Статья посвящена разработке системы поддержания надежности. Автор предлагает создать региональный центр для управления надежностью электрооборудования в сельском хозяйстве. Региональный центр диагностики электрооборудования предлагается создать на основе Интернет-сайта. В статье изложен метод оценки остаточного ресурса асинхронных двигателей с использованием температурно-временных параметров. Представлены структура диагностического центра, схемы передачи информации, а также результаты экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** Надежность, электрооборудование, сельхозпредприятие, электродвигатель, асинхронный двигатель, система, программа, сайт.

Основные организационно-технические меры по обеспечению надежности эксплуатируемого на предприятиях АПК электрооборудования, не всегда соответствуют тем требованиям, которые диктует современное производство. Более того, даже обновление парка машин и механизмов, используемых на сельхозпредприятиях, не всегда приносит желаемый результат, касающийся поддержания требуемого уровня надежности. Как следствие, рабочий ресурс технологического оборудования значительно сокращается, а внезапные отказы в работе могут привести не только к длительным простоям, со всеми вытекающими из этого последствиями, но и к значительному экономическому ущербу для предприятия в целом.

Если рассматривать надежность сельскохозяйственного электрооборудования как некое комплексное свойство технического объекта, главным элементом которого является электропривод, то наиболее важные из показателей надежности, будут иметь отношение к асинхронному двигателю (АД). Как и любая другая электрическая машина, АД имеет такие показатели надежности как срок службы, вероятность безотказной работы, наработка на отказ и др. Все эти показатели известны, а их нормированная величина обеспечивается на всех стадиях проектирования и изготовления асинхронного двигателя.

Дальнейшая эксплуатация АД предполагает выполнение ряда мер и мероприятий, без которых заложенные ранее показатели надежности могут претерпевать существенные изменения, причем изменения эти направлены только в одну сторону – в сторону ухудшения. К вышеуказанным мерам относятся, например, меры по обеспечению требуемых в процессе эксплуатации условий окружающей среды или меры по обеспечению наличия квалифицированного обслуживающего персонала. Важнейшими из ме-

роприятий, позволяющих поддерживать надежность работы электродвигателей на должном уровне, являются техническое обслуживание (ТО) и система планово-предупредительных ремонтов (ППР).

Нынешнее положение дел в сфере АПК Алтайского края, касающееся надежности электрооборудования, нельзя назвать стабильно-благополучным. Это связано в первую очередь с отсутствием единой системы ППР, нехваткой квалифицированных специалистов по эксплуатации электрооборудования, а также персонала для проведения ТО.

Кроме того, сезонность, тяжелые условия эксплуатации технологических установок и машин в сельском хозяйстве, а также качество питающего электрооборудование напряжения – это далеко не весь перечень причин, ведущих к снижению надежности АД.

Для обеспечения безотказной работы электродвигателей на предприятиях следят за их состоянием на протяжении всего срока службы. Особое внимание при этом уделяется состоянию наиболее слабого с точки зрения надежности элемента – изоляции обмотки статора. Оценка наиболее важных параметров изоляции обмотки, как правило, осуществляется с использованием различных методов и технических средств диагностики и контроля.

По результатам исследований, проведенных на некоторых сельхозпредприятиях, ППР проводится зачастую независимо от состояния изоляции, что в большинстве случаев не оправданно [1-4].

Таким образом, по совокупности всех основных неблагоприятных факторов, действующих в условиях сельского хозяйства на электрооборудование вообще, и АД в частности, резко возрастает роль ТО, в т. ч. и диагностики технического состояния в процессе эксплуатации. Достичь требуемой эксплуатационной надежности электрооборудования, возможно благодаря своевременному проведению оперативного и планового ТО, а также текущего и капитального ремонтов.

Однако, в отличие от промышленности, где сконцентрировано однотипное электрооборудование на относительно небольших производственных участках и имеется возможность планового обслуживания одновременно всего парка электрооборудования, в сельском хозяйстве электрооборудование в пределах одного сельхозпредприятия может быть рассредоточено на значительном расстоянии друг от друга. Отсутствует также и возможность централизованного ТО и ремонта.

Существуют и другие особенности сельскохозяйственного производства, затрудняющие организацию оперативного обслуживания электрооборудования.

Таким образом, можно констатировать, что контроль объемов, содержания и периодичности работ по поддержанию электрооборудования в состоянии готовности в течение всего срока его службы - являются важными технико-экономическими задачами.

Для решения данной задачи, в современных экономических условиях, существует несколько путей. Один из них – это создание регионального центра диагностики электрооборудования (РЦДЭ), осуществляющего свою деятельность на коммерческой основе.

Учитывая динамичное развитие современных средств связи и систем обмена информацией, наиболее перспективным является создание центра диагностики на основе сайта в сети Интернет.

Структура РЦДЭ представлена на рисунке 1, а потоки информации, которой обменивается центр с потребителями услуг, на рисунке 2.

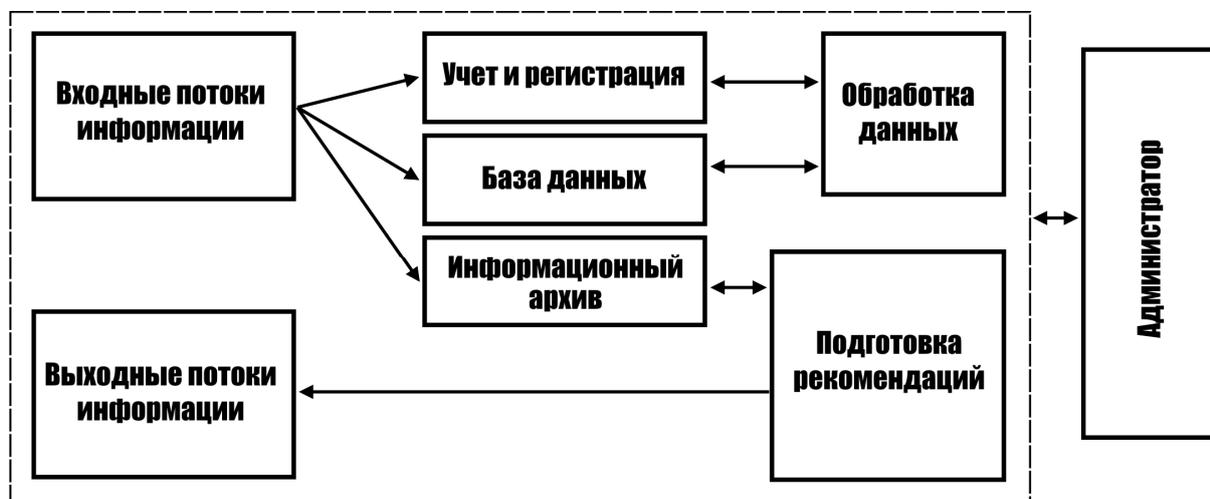


Рисунок 1 – Структура регионального центра диагностики электрооборудования

Ввиду того, что центр диагностики электрооборудования имеет преимущественно научную, а не коммерческую направленность своей деятельности, то его наиболее эффективная реализация представляется в виде сайта в сети Интернет. Виртуальное размещение диагностического центра дает ряд преимуществ, главное из которых заключается в том, что значительно упрощается обмен информацией между центром и потребителями услуг. Немаловажно и то, что выдача клиентам рекомендаций по поддержанию надежности электрооборудования, может производиться фактически в режиме on-line, т. е. по схеме «запрос - ответ». Сайт предполагается разместить на виртуальном хостинге IT-площадки АлтГТУ, используя доменное имя третьего уровня на базе существующего домена altgtu.ru. Система управления контентом сайта (CMS - англ. Content Management System) реализована на скриптовом языке программирования общего назначения PHP, который интенсивно применяется в последнее время для разработки веб-приложений.



## Рисунок 2 – Схема обмена информацией между сельхозпредприятиями и РЦДЭ

Система управления базами данных (СУБД) реализована на основе MySQL, что является наиболее оптимальным решением для малых и средних web-приложений.

Рассмотрим основную часть работы всей системы.

Информация поступает в модуль «Входные потоки информации», и далее, одновременно с регистрацией заносится в базу данных и в информационный архив.

Модуль «Учет и регистрация», по сути является подсистемой авторизации и получения доступа ко всем основным разделам системы.

Модуль «база данных» – это часть непосредственной СУБД, выделенная для размещения данных о зарегистрированных пользователях (потребителях услуг РЦДЭ), полученной от них информации о состоянии электрооборудования (в т. ч. и диагностической информации) и т. д. Здесь же накапливается и исходящая информация, т. е. рекомендации, которые выдает центр диагностики электрооборудования после обработки данных. В «базе данных» сохраняется информация, с привязкой к зарегистрированным пользователям. А модуль «информационный архив» содержит разноплановую информацию как о пользователях непосредственно, так и о входных/выходных потоках информации. Кроме того, в этом модуле накапливается различная справочная и иная информация.

Получены от потребителей услуг данные о состоянии электрооборудования обрабатываются в модуле «обработка данных».

Данный модуль представляет из себя набор математических моделей, каждая из которых соответствует определенному методу диагностики, методу оценки технического состояния, оценке остаточного ресурса и т. д.

В качестве примера работы модуля, рассмотрим метод расчета срока службы изоляции электродвигателей на основе количества пусковых переходных процессов и температуры корпуса.

Известно, что одним из основных факторов, влияющих на срок службы изоляции, являются температура и количество пусков. В модуле «обработка данных» имеется математическая модель позволяющая производить расчеты и прогнозировать выход из строя АД из-за теплофизического старения изоляции.

Изначально, находится постоянная времени нагрева обмоток  $T$ , ч, по формуле (выражена часах):

$$T = \frac{c\gamma}{1000\rho\kappa_R} \cdot \frac{\tau_n}{i_{sh}^2}, \text{ сек.}$$

где  $i_{sh} = \frac{I_n}{q}$  – номинальная плотность тока, А/мм<sup>2</sup>;

$\tau_n$  – превышение температуры обмотки над охлаждающей средой при номинальном токе, °С;

$\kappa_R$  – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления вследствие вытеснения тока;

$\gamma$  – удельный вес, г/см<sup>3</sup>;

$\rho$  – удельное сопротивление, Ом·мм<sup>2</sup>/м;

$c$  – теплоемкость, Вт·сек/кг·град.

Далее, необходимо выразить постоянную  $C$ , ч, из уравнения продолжительности службы изоляции

$$B = C \varepsilon^{-b \cdot \theta},$$

откуда

$$C = B \div \varepsilon^{-b \cdot \theta},$$

где  $B$  – срок службы изоляции, ч;

$b$  – коэффициент численно равный 0,088, что соответствует сокращению срока службы изоляции в два раза на каждые 8 °С увеличения температуры;

$\theta$  – температура, при которой срок службы изоляции равен 20000 ч, °С.

Далее находится износ изоляции  $\xi$ , за один пуск АД в долях срока службы по формуле:

$$\xi = \frac{1}{C} \frac{T^2 \varepsilon^{b \theta_n}}{b \tau_n (\kappa^2 - 1) t_{nep}} \left[ 4 \varepsilon^{\frac{b \tau_n (\kappa^2 - 1) t_{nep}}{2T}} + \varepsilon^{\frac{b \tau_n (\kappa^2 - 1) t_{nep}}{T}} \cdot \left(1 + \frac{t_{nep}}{T}\right) - 5 - \frac{t_{nep}}{T} \right]$$

Износ изоляции  $\xi'$  за разные интервалы времени  $t$ , ч, находим по формуле с учетом пусков

$$\xi' = \left( \xi_1 + \frac{1}{C} \cdot \int_0^{t_1} \varepsilon^{b \cdot \theta_1} dt \right) + \left( \xi_2 + \frac{1}{C} \cdot \int_0^{t_2} \varepsilon^{b \cdot \theta_2} dt \right) + \dots + \left( \xi_3 + \frac{1}{C} \cdot \int_0^{t_m} \varepsilon^{b \cdot \theta_m} dt \right),$$

где  $t$  – время работы АД, ч;

$\xi$  – износ изоляции из-за пусков за интервалы времени  $t$ , ч.

Таким образом, на основе полученных данных о количестве пусков и данных об изменении температуры, в модуле «обработка данных» производятся расчеты, на основании которых можно прогнозировать срок службы изоляции.

Несмотря на высокую точность расчетов и их оперативность, отправление информации в виде рекомендаций в автоматическом режиме клиентам не предусмотрена. Это сделано преднамеренно, с целью избежания возможных ошибок.

Обработанные данные поступают в модуль «подготовка рекомендаций» только после проверки их администратором системы.

Далее, подготовленные рекомендации по эксплуатации электрооборудования, ППР, ТО и т. д., поступают в модуль «выходные потоки информации», откуда отправляются потребителям услуг.

Структура обмена информацией между потребителями услуг (сельхозпредприятиями) и РЦЭ представлена на рисунке 2.

Разделение всех предприятий на группы обусловлено тем, что предприятия имеют не только различные потребности в обеспечении надежности своего парка электрооборудования, но и различный экономический и производственный потенциал, а также наличие/отсутствие квалифицированного обслуживающего персонала.

Основная группа хозяйств формируется из трех типов: 1. Крупные перерабатывающие предприятия АПК; 2. Средние сельхозпредприятия; 3. Мелкие предприятия

различных форм собственности. Примерно ту же структуру имеют фермерские и крестьянские хозяйства, но они выделены в отдельную группу. Это связано с некоторыми отличительными особенностями хозяйств данного типа, касающимися в основном их хозяйственно-экономической деятельности.

В отдельную группу выделены и личные подсобные хозяйства, которые несмотря на то, что не являются полноправными экономическими субъектами, вместе с тем, доля их в производстве сельхозпродукции в Алтайском крае достаточно существенна.

Базовым элементом всей системы, обеспечивающим работу РЦДЭ – являются каналы связи между сельхозпредприятиями и центром диагностики.

Ввиду того факта, что центр диагностики электрооборудования реализован на основе сайта, наиболее приемлемым каналом связи является Интернет. В настоящее время фактически все крупные сельские населенные пункты имеют доступ в Интернет.

В 2011 г., «Ростелеком-Сибирь» приступил к предоставлению услуг пакетного подключения по технологии GPON в городах Алтайского края, обеспечивающей высокоскоростной интернет-доступ и множество других телекоммуникационных услуг. Особенность данной технологии заключается в том, что передача сигнала идет не по медным проводам, а по оптоволоконному кабелю, который заводится непосредственно к каждому пользователю, минуя дополнительное оборудование, что значительно увеличивает скоростные характеристики услуги.

Для обмена информацией между сельхозпредприятиями и центром диагностики электрооборудования могут использоваться и альтернативные, доступные средства связи, от низкоскоростного Интернета, до обычной телефонной и почтовой связи.

Ниже приводится пример работы РЦДЭ.

Периодическому контролю подверглись электродвигатели средней мощности серий 4А, АО2, занятые в различных технологических процессах и установках.

Температура корпуса измерялась простейшими техническими средствами – обычным спиртовым термометром, что очень важно для мелких сельхозпредприятий. Также, велся подсчет количества пусков электродвигателей за рассматриваемый период.

Для проведения эксперимента была выделена подконтрольная группа электродвигателей с наиболее частыми отказами. Список исследуемых электродвигателей приведен в таблице 1.

Расчеты производились по предлагаемой методике (см. пример работы модуля «обработка данных»).

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Подконтрольные электродвигатели

Тип электродвигателя	Мощность, кВт	Дата последней перемотки сгоревшей обмотки и начала контроля
4A90L4Y3	2,2	12.01.10 г.
4A100S4Y3	3	20.01.10 г.
4A132S4Y3	7,5	01.02.09 г.
АО2-51-4СПУ3	7,5	14.12.09 г.
АО2-31-4СПУ3	2,2	05.03.09 г.

Таблица 2 – Выработка ресурса изоляции подконтрольных электродвигателей

Тип электродвигателя	Мощность, кВт	Причина окончания контроля	Выработка ресурса изоляции электродвигателей, %
4A90L4Y3	2.2	<i>Витковое замыкание обмотки статора</i>	86,5
4A100S4Y3	3	<i>Витковое замыкание обмотки статора</i>	82,9
4A132S4Y3	7,5	<i>Витковое замыкание обмотки статора</i>	81,5
АО2-51-4СПУ3	7,5	<i>Витковое замыкание обмотки статора</i>	38,4
АО2-31-4СПУ3	2,2	<i>Повреждение подшипников</i>	39,5

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хомутов О.И., Грибанов А.А., Хомутов С.О. Повышение эффективности использования асинхронных двигателей в агропромышленном комплексе// Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета. Т. 31. – Челябинск: Изд-во ЧГАУ, 2001. – С. 70-74.
2. Гутов И.А. Прогнозирование состояния электродвигателей на основе использования многофакторных моделей старения изоляции: Дис ... канд. техн. наук: 05.20.02. - Защищена 26.12.97: Утв. - Барнаул, 1997. - 259 л.: ил.
3. Левачёв А.В. Диагностика изоляции асинхронных электродвигателей на основе использования параметров схемы замещения обмоток: Дисс. ... канд. техн. наук; Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2002. – 144 с.

4. Хомутов О.И. Система технических средств и мероприятий повышения эксплуатационной надёжности изоляции электродвигателей, используемых в сельскохозяйственном производстве: Дис. ... докт. техн. наук. – Челябинск, 1992. – 450 с.