

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

С.О. Хомутов

Полученные к настоящему времени результаты многочисленных исследований позволили представить в виде элементов блок-схемы основные задачи повышения эксплуатационной надежности электрооборудования, установить основные связи между ними, а также учесть взаимодействие полученной системы с внешней средой.

Системный анализ данного графического представления позволил из комплекса перечисленных мероприятий выделить задачу количественной оценки степени влияния различных факторов на процессы старения изоляции обмоток статора электродвигателя на протяжении всего его жизненного цикла, начиная с момента ввода в эксплуатацию и заканчивая списанием, как основы для принятия решений, направленных на повышение эффективности проектирования, эксплуатации и ремонта названного вида электрооборудования.

При этом был выявлен критерий, по которому воздействующие на процессы старения изоляции факторы могли бы быть отнесены к внешним или внутренним [1]. В качестве такого критерия принято правило, в соответствии с которым устанавливается возможность активного воздействия на эти факторы с целью управления ими для решения поставленной задачи. На основании принятого критерия параметры окружающей среды, режимы работы, а также параметры процесса технического обслуживания и ремонта были отнесены к категории внешних факторов, тогда как параметры состояния электрической изоляции обмоток двигателей необходимо рассматривать как внутреннее.

Представленная на рисунке 1 структура системно-организационно-технических мероприятий обеспечения эксплуатационной надежности элект-

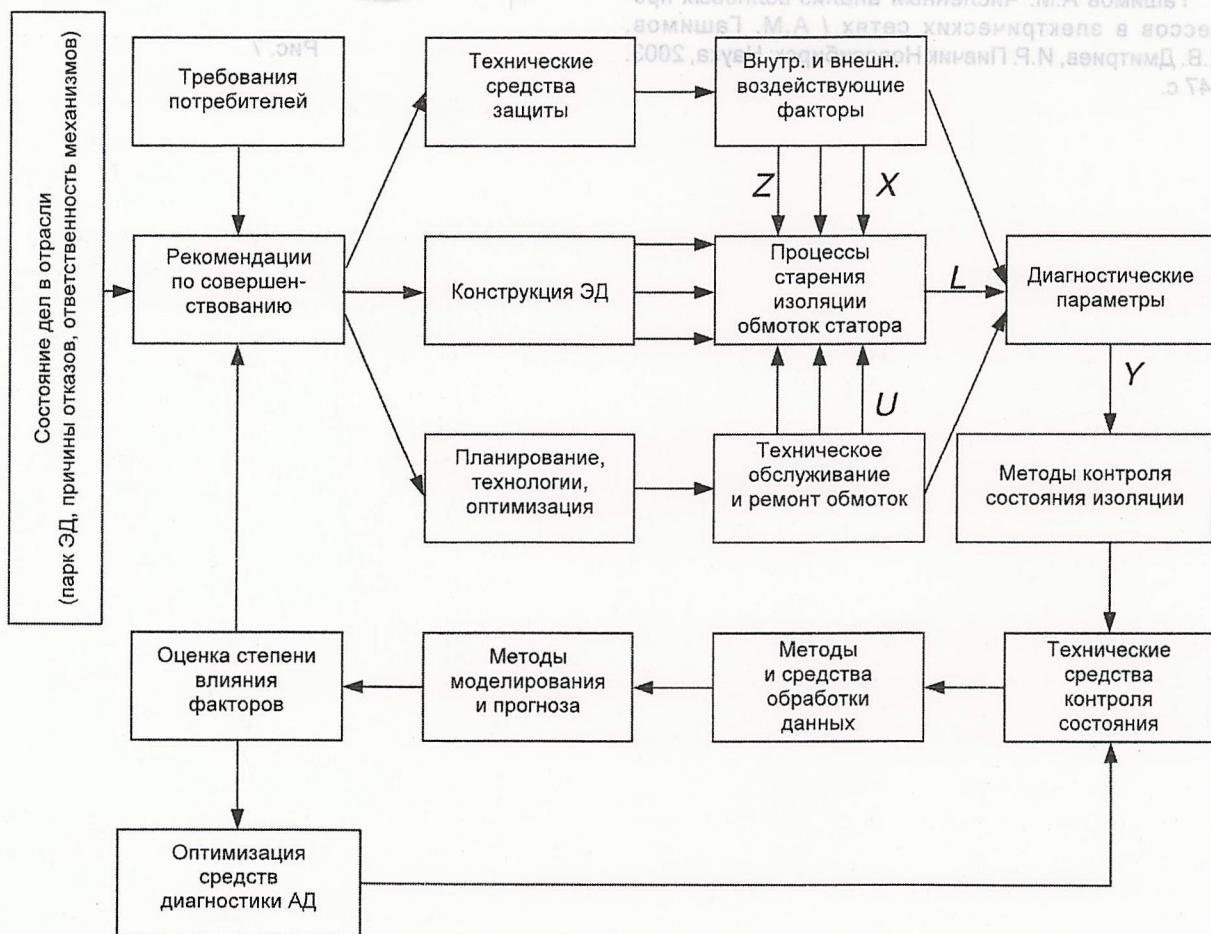


Рис. 1. Блок-схема организационно-технических мероприятий обеспечения эксплуатационной надежности электродвигателей

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

тродвигателя содержит модель жизненного цикла электрической изоляции, характеризующуюся тремя группами входов и двумя выходов [1, 2]. Первая группа входов отражает влияние на деградиционные процессы физических частично управляемых воздействий – параметров окружающей среды, режимов работы – внешних воздействующих факторов (ВВФ) [3, 4] и характеризуется n -мерным вектором

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1)$$

Другая группа входов определяет возможность возникновения в системе устраняемых, например, с помощью технических средств защиты, аварийных ситуаций и характеризуется m -мерным вектором случайных неуправляемых воздействующих факторов с обратимыми изменениями в объекте:

$$Z = (z_1, z_2, \dots, z_m). \quad (2)$$

Группа входов U представляет собой комплекс физических воздействий на изоляцию электродвигателя с целью ограничения влияния внешних воздействующих факторов и, как следствие, замедления протекания процессов ее старения. Данная группа характеризуется ℓ -мерным вектором технологических параметров, определяющих процессы технического обслуживания и ремонта на протяжении всего жизненного цикла:

$$U = (u_1, u_2, \dots, u_\ell). \quad (3)$$

Информация, характеризующая состояние изоляции обмотки, ее остаточный или эксплуатационный ресурс, на выходе системы может быть представлена в виде некоторой скалярной функции

$$L = f(X, Z, U), \quad (4)$$

отражающей показатель качества электродвигателя, его работоспособность, но которая, однако, не всегда может быть определена путем непосредственного измерения или в виде некоторого k -мерного вектора

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_k), \quad (5)$$

характеристики которых могут быть измерены и зависят от Z, X, U, H ,

$$\text{где } H = (h_1, h_2, \dots, h_i) \quad (6)$$

является вектором составляющих помех на измерительный комплекс, т.е.

$$Y = f_1(X, Z, U, H). \quad (7)$$

В рассматриваемом случае вектором Y задается множество диагностических параметров, измерение которых возможно как в процессе эксплуатации, так и ремонта двигателей.

Для решения задачи количественной оценки степени влияния различных факторов на процессы старения изоляции обмоток статора электродвигателя осуществим анализ воздействующих

на изоляцию электродвигателя факторов в реальных условиях эксплуатации, обоснованно сократив их перечень.

Изменение качества электрической изоляции может быть обратимым и необратимым. Обратимые изменения вызывают, например, не слишком большой нагрев или увлажнение пористого материала. При необратимых процессах физическая или химическая структура материала изменяется безвозвратно, материал стареет.

Причины, вызывающие повреждение изоляционных материалов, можно разделить на следующие группы:

- влияние окружающей среды;
- тепловые воздействия;
- механические воздействия;
- электрические воздействия.

В процессе эксплуатации электрических двигателей в условиях сельскохозяйственного производства изоляционные материалы взаимодействуют с окружающей средой, и повреждения изоляции, как наиболее слабого и уязвимого элемента электродвигателя, часто являются следствием этого взаимодействия. В зависимости от характера окружающей среды воздействие ее на изоляционные материалы различно. В наиболее тяжелых условиях находится изоляция, подверженная атмосферным влияниям.

Воздух представляет собой смесь различных газов, водяного пара и коллоидных частиц, а также содержит переменное количество минеральной и органической пыли, микроорганизмов. Кроме того, изоляция, находящаяся на открытом воздухе, подвержена воздействию солнечных лучей, изменений атмосферных условий (температуры, давления, влажности воздуха), атмосферных осадков, ветра, грозы, а также микробиологическому, биологическому и иному влиянию. Применительно к сельскому хозяйству можно выделить такие воздействующие факторы окружающей среды [5–8], как:

- повышенная влажность и содержание агрессивных газов (аммиак, сероводород, углекислый газ) в воздухе животноводческих и птицеводческих помещений;
- наличие пыли на мельницах, пунктах обработки зерна и в комбикормовых цехах;
- высокая температура в котельных и зерносушилках;
- резкие колебания температуры и значительное ее понижение в зимнее время на открытых площадках.

Анализ результатов исследований, проведенных в Сибири, на Урале и в других областях России [1, 6–10], показал, что форма исполнения асинхронных двигателей общепромышленного назначения во

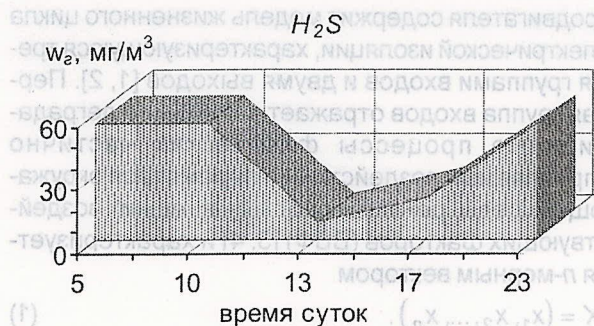
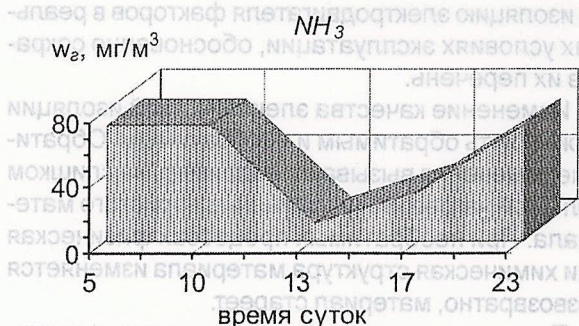


Рис. 2. Содержание агрессивных газов в сельскохозяйственных помещениях

многих случаях не соответствует условиям среды сельскохозяйственных помещений. Вместе с тем, сравнивая полученные данные с официальными зооветеринарными нормами на микроклимат, можно прийти к заключению о чрезмерном превышении большинством показателей микроклимата этих норм, что в значительной мере влияет на срок жизни изоляции.

В наиболее тяжелых условиях находится изоляция, подверженная действию влаги, которое зависит от температуры окружающей среды.

Наличие влаги в порах значительно уменьшает механическую и электрическую прочность изоляции, усиливает влияние ионизационных явлений, ускоряет химическое старение некоторых материалов (например, целлюлозных), увеличивает диэлектрические потери, чем сокращается срок службы двигателей и повышается аварийность технологического электрооборудования. Особенно опасна влага, когда она сочетается с загрязнением поверхности изоляции или с химически активными и проводящими веществами.

Присутствующие в окружающей среде животноводческих помещений агрессивные газы могут химически взаимодействовать с изоляционным материалом, что приводит к ускоренному снижению электрической прочности изоляции, сокращению срока ее службы [3]. Несмотря на то, что днем естественная вентиляция данных помещений значительно улучшается, их содержание в различные часы суток остается высоким, как это показано на рисунке 2, и превышает установленную норму.

Таким образом, для того чтобы максимально обеспечить безаварийную работу технологического оборудования в целом, изоляция электродвигателей должна отвечать требованиям стойкости к воздействию присутствующих в воздухе сельскохозяйственных помещений концентраций агрессивных газов или должны быть проведены мероприятия, снижающие их концентрацию до допустимых пределов.

Следует сказать также и об отрицательных влияниях, оказываемых на изоляцию в процессе ее

ремонта, когда материалы подвержены сильным механическим нагрузкам и велика вероятность попадания химических примесей в изоляционный материал. Казалось бы, малозначительные факторы (например, канифоль, используемая при пайках, некоторые компоненты, входящие в состав используемых рабочими защитных мазей для рук, крепежные материалы и т.д.) могут вызвать серьезные повреждения изоляции электродвигателей.

Электродвигатели в сельском хозяйстве не только эксплуатируются в агрессивных средах, но и имеют низкий коэффициент использования, который не превышает 0,1.

Одной из отличительных особенностей эксплуатации электродвигателей в сельском хозяйстве является сезонность их работы. Так, электродвигатели, установленные на животноводческих фермах, работают лишь в стойловый период; на орошении и на агрегатах сушки трав – в летнее время; на обработке зерна – осенью, в период уборки. В остальное время данные электродвигатели не используются. Кроме того, длительные простои технологического электрооборудования, вызванные выходом двигателей из строя и отсутствием необходимой их замены, явление в сельскохозяйственном производстве достаточно распространенное.

Материал, полученный при обследовании сельскохозяйственных предприятий и хозяйств различных форм собственности и видов деятельности Новосибирской, Челябинской и других областей, а также Алтайского края, свидетельствует о том, что значительная часть простоев, продолжительностью от восьми часов до двух суток, приходится на потребителей первой и второй категории надежности [1, 2, 11], что значительно превосходит предельно допустимые значения перерывов (рис. 3).

Наряду с сезонностью, крайне важным следует признать сочетание режима работы электродвигателей с отрицательным воздействием на изоляционные материалы окружающей среды.

В результате проведенных автором исследований установлено, что электрические двигатели

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

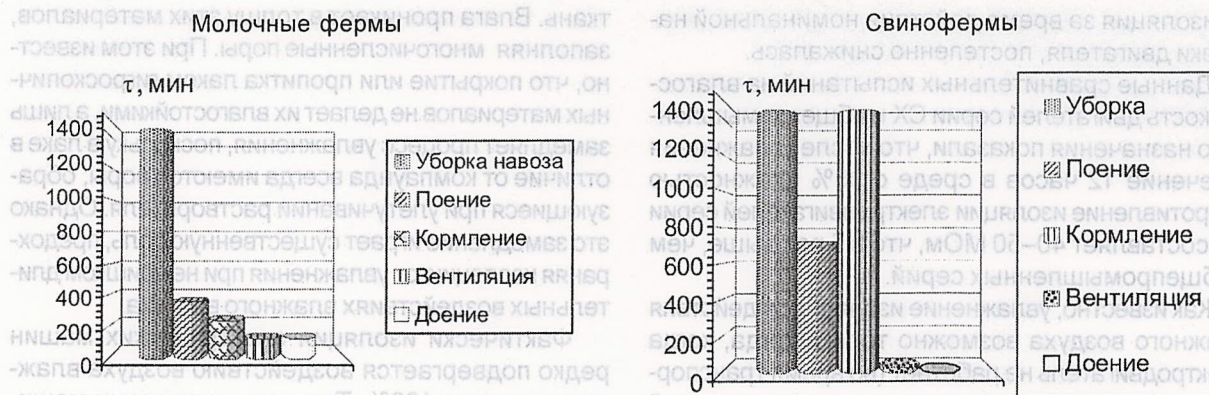


Рис. 3. Предельно допустимые значения перерывов в работе электрооборудования

на сельскохозяйственных объектах работают, как правило, в следующих (рис. 4) режимах:

В случае длительных простоев технологического электрооборудования в среде с высокой относительной влажностью, изоляция обмоток асинхронных двигателей подвергается периодическому увлажнению, а ее сопротивление уменьшается до 0,5 МОм за 30–40 часов. При этом обнаружено, что для электродвигателей общепромышленного назначения в указанных условиях при длительном режиме работы установившееся значение температуры обмотки статора повышается на 9–10 °С, а постоянная времени нагрева увеличивается на 4 минуты.

Параллельно с подконтрольной эксплуатацией асинхронных двигателей на сельскохозяйственных предприятиях Алтайского края проводились ускоренные лабораторные испытания на стойкость к старению изоляции АД серии 4А общепромышленного исполнения. Целью данных исследований являлось получение в минимально короткие сроки информации об изменениях технического состояния изоляции статорных обмоток и процессах ее старения.

Для сокращения сроков получения необходимой информации был взят коэффициент ускоре-

ния, равный отношению времени испытания в обычных условиях ко времени испытания в форсированных режимах, $k = 15$ [12]. При этом соблюдалось основное требование, предъявляемое к ускоренным лабораторным испытаниям – идентичность процессов старения и износа по отношению к реальным условиям эксплуатации.

Комплексное воздействие таких факторов, как повышенная температура, влага, вибрация и агрессивные газы, имитировалось последовательным приложением тепловых, вибрационных нагрузок и воздействием влаги при наличии аммиака.

Для проведения указанных ускоренных испытаний на кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова была разработана экспериментальная лабораторная установка [13].

В ходе проведения экспериментальных исследований изменения состояния изоляции обмоток электродвигателей при кратковременном режиме работы в среде с высокой относительной влажностью [14] было установлено, что сопротивление изоляции у двигателей типа АО2...СХ и 4А уменьшалось до значений 0,1–10 МОм, причем величина сопротивления, до которого восстанавливает-

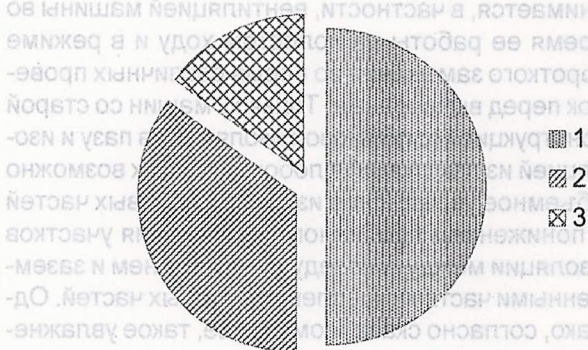


Рис. 4. Режимы работы электродвигателя

ся изоляция за время действия номинальной нагрузки двигателя, постепенно снижалась.

Данные сравнительных испытаний на влагостойкость двигателей серии СХ и общепромышленного назначения показали, что после увлажнения в течение 12 часов в среде с 98% влажностью сопротивление изоляции электродвигателей серии СХ составляет 40–50 МОм, что в 5 раз выше, чем у общепромышленных серий.

Как известно, увлажнение изоляции от действия влажного воздуха возможно только тогда, когда электродвигатель не работает (во время транспортировки, монтажа, длительного ремонта, сезонной эксплуатации и т.п.). При этом разные части изоляции увлажняются по-разному в зависимости от материала, из которого они сделаны.

Так, например, непрерывная компаундированная изоляция, не имеющая дефектов, практически не подвержена объемному увлажнению ни под действием обычной влаги воздуха, ни при кратковременном смачивании водой: пропитка компаундом хотя бы внешних слоев изоляции делает ее малогигроскопичной.

У такой изоляции возможно, главным образом, значительное поверхностное увлажнение за счет увлажнения покровной ленты, а также некоторое проникновение влаги в толщу изоляции вдоль слоев слюды с концов стержня, если они не изолированы. Заметным такое увлажнение становится лишь после многомесячной выдержки изоляции в воздухе с влажностью, близкой к 100%.

Гильзовая изоляция также сравнительно мало (хотя и в большей степени, чем микалентная компаундированная) подвержена увлажнению: уплотненный в результате горячей обкатки шеллак или иное связующее содержит мало пор, через которые влага могла бы проникнуть в толщу изоляции.

Было выяснено, что пробивное напряжение гильзы у партии секций, хранившихся на открытом воздухе, при влажности 70–95% в течение 21 суток мало отличается от пробивного напряжения гильзы партии секций, хранившихся в сухом помещении.

Аналогичные результаты были получены на секциях, которые хранились в течение 22 суток на открытом воздухе при влажности 65–100%, и на секциях, хранившихся в течение 32 дней при сухой погоде. Однако гильзовая изоляция увлажняется больше, чем компаундированная микалентная.

Значительно более гигроскопична некомпактированная микалента: поскольку отсутствует защитный слой компаунда, возможно проникновение влаги в промежутки между слоями ленты, увлажнение подложки, отчасти клеящего лака. Совершенно не влагостойкими являются такие волокнистые изоляционные материалы, как дерево и

ткань. Влага проникает в толщу этих материалов, заполняя многочисленные поры. При этом известно, что покрытие или пропитка лаком гигроскопичных материалов не делает их влагостойкими, а лишь замедляет процесс увлажнения, поскольку в лаке в отличие от компаунда всегда имеются поры, образующиеся при улетучивании растворителя. Однако это замедление играет существенную роль, предохраняя изоляцию от увлажнения при не слишком длительных воздействиях влажного воздуха.

Фактически изоляция электрических машин редко подвергается воздействию воздуха влажностью около 100%. Так, при нахождении машины в капитальном ремонте изоляция соприкасается с воздухом машинного зала. Повышенная влажность воздуха наблюдалась близ окон и проемов, где происходит резкое охлаждение воздуха. В таких местах иногда наблюдается даже выпадение росы, что создает неверное впечатление о, якобы, повышенной влажности воздуха в зале.

Таким образом, при капитальных ремонтах изоляция весьма редко подвергается воздействию влажного воздуха; однако и в этих редких случаях время воздействия, определяемое сроком капитального ремонта, сравнительно невелико. В значительно худших условиях могут быть вновь устанавливаемые машины, предохранить которые от действия влажного воздуха во время перевозки складского хранения и монтажа не всегда возможно. Однако и в этом случае трудно ожидать в обычных для России климатических зонах длительного воздействия воздуха с влажностью, близкой к 100%.

К вышесказанному следует добавить, что в современных машинах с непрерывной компаундированной изоляцией гигроскопичные части изоляции (лакоткань и микалента в изоляции головок и бандажных колец, дерево, шпагат и электрокартон в деталях крепления лобовых частей к бандажным кольцам) всегда включены последовательно с частями негигроскопичной компаундированной изоляции, у которой возможно лишь поверхностное, легко устранимое увлажнение. Это увлажнение снимается, в частности, вентиляцией машины во время ее работы на холостом ходу и в режиме короткого замыкания во время различных проверок перед включением. Только у машин со старой конструкцией (с гильзовой изоляцией в пазу и изоляцией из лакоткани) в лобовых частях возможно объемное увлажнение изоляции лобовых частей с понижением пробивного напряжения участков изоляции между токоведущим стержнем и заземленными частями крепления лобовых частей. Однако, согласно сказанному выше, такое увлажнение практически исключено при капитальных ремонтах и редко может происходить при перевозке и монтаже машины.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Следует знать, однако, что недопустимо любое увлажнение изоляции, потому что при длительном воздействии воды, пара или весьма влажного воздуха изоляция может настолько увлажниться, что станет возможен пробой некомпандинированных частей изоляции с перекрытием по поверхности компандинированных ее частей.

Так, при попадании на обмотку больших количеств воды (например, при тушении пожара, затоплении и т.п.) возможно интенсивное увлажнение изоляции (объемное – для гигроскопичных ее частей, увлажнение поверхностного слоя – для негигроскопичной компандинированной изоляции). Особенно опасно такое увлажнение для гидрогенераторов со стержневой обмоткой, так как в изоляции головок в нижней части статора (в миканитовых «коробочках») может скапливаться вода.

В результате могут образоваться условия для перекрытия между увлажненными головками соседних стержней, принадлежащих разным фазам. Пути перекрытия сравнительно коротки, поскольку часто вблизи головок располагается деревянная дистанционная прокладка, также подверженная увлажнению. Однако на сопротивлении изоляции это может не отразиться, поскольку между увлажненными зонами могут быть короткие участки с высоким сопротивлением изоляции (воздушные зазоры, сравнительно мало увлажнившиеся участки изоляции и т.п.). В этом случае еще в большей степени, чем в остальных, затруднено проникновение влаги в толщу изоляции стержней, поскольку при наличии под изоляцией нагретого проводника тепловой поток в изоляции направлен навстречу движению влаги, что по законам физики препятствует увлажнению. Однако при этом вентиляция, имеющаяся при работе машины и обычно быстро ликвидирующая поверхностное увлажнение, не в состоянии воспрепятствовать попаданию воды на поверхность изоляции стержней и частичному увлажнению различных деталей крепления лобовых частей, выполненных из гигроскопичных материалов (электрокартона, шпата, текстолита и т.п.), особенно если она недостаточно покрыта лаком; не исключается также возможность увлажнения изоляции головок стержней в ряде конструкций их.

В результате сочетания такого непрекращающегося увлажнения и действия напряжения может произойти обугливание поверхности ряда деталей, расположенных в лобовых частях.

Это обугливание объясняется главным образом длительным протеканием возросших емкостных токов по увлажненной поверхности упомянутых деталей. Возрастание емкостных токов при поверхностном увлажнении изоляции объясняется резким снижением поверхностного сопротив-

ления как стержней (из-за чего уменьшается сопротивление пути емкостных токов, притекающих к данной точке по поверхности изоляции стержня с различных участков его длины), так и самих деталей, разделяющих стержни разных фаз (из-за чего уменьшается сопротивление остальной части пути емкостных токов и, кроме того, эти токи концентрируются только на увлажненных деталях). При сильном увлажнении головок возрастают также токи проводимости, протекающие между головками различных фаз и на корпус через те же детали крепления лобовых частей.

Все это свидетельствует о необходимости оценки степени увлажнения изоляции в тех случаях, когда изоляция могла подвергаться интенсивному увлажнению – после попадания воды или пара, хранения в недостаточно плотной упаковке, не исключающей попадания воды и т.п.

Если для изоляции, не имеющей дефектов, увлажнение сравнительно редко ведет к снижению пробивного напряжения, то для изоляции с местными дефектами даже небольшое увлажнение может существенно снизить пробивное напряжение.

Объясняется это тем, что влага создает проводящие каналы в местах разрывов изоляции (или в пустотах) и все напряжение оказывается приложенным только к неразрушенному слою изоляции. Кроме того, при увлажнении изменяется распределение напряжений вдоль увлажненной поверхности лобовых частей, что способствует пробоем дефектных мест, расположенных в лобовых частях.

Поскольку безопасное для нормальной изоляции увлажнение существенно снижает пробивное напряжение дефектной изоляции, очевидно, что испытание увлажненной изоляции – эффективное средство выявления дефектов в ней. По этим соображениям следует изоляцию вновь вводимых машин испытывать. Помимо большей эффективности, при этом удастся выявить дефект на более ранней стадии монтажа и своевременно устранить его, не задерживая ввода машины в эксплуатацию. Только в случае очень сильного увлажнения изоляции токи утечки настолько велики, что могут вызвать ее тление.

В процессе эксплуатации асинхронных двигателей наряду с увлажнением изоляция обмоток подвергается тепловому воздействию. Из расчетных и опытных данных, приведенных в [15], видно, что повышение температуры окружающей среды вызывает ухудшение охлаждения электродвигателей и, как следствие, приводит к росту потерь в обмотке. Так, например, у подвергшихся испытанию АД превышение температуры обмотки составляет в среднем 8 °С на каждые 10 °С увеличения температуры окружающей среды [16]. Очевидно,

что, кроме влияния материала изоляции на описанный процесс, необходимо учитывать воздействие технологии ее изготовления, а также пропитки и сушки обмоток.

Вместе с тем в ходе подконтрольной эксплуатации электродвигателя было установлено, что при номинальном напряжении и отсутствии технологических перегрузок рабочая температура обмотки статора асинхронных двигателей не превышает предельно допустимую температуру для соответствующего класса изоляции и составляет в среднем 60 ± 12 °С. Проведенные испытания на нагрев позволяют заключить, что большинство двигателей имеет запас по температуре не менее 20–30 °С. Поэтому собственно нагрев изоляции нельзя считать основной причиной его выхода из строя, без учета действия других факторов.

Опыт эксплуатации технологического электрооборудования на сельскохозяйственных предприятиях страны показал существенное влияние вибрационных процессов на надежность работы двигателей общепромышленных и специальных серий – вибрация одна из основных причин повышенного износа и сокращения ресурса работы электрических машин.

Анализ данных [2, 12], полученных при изменении вибрационной скорости статора в рабочем установившемся режиме, позволил сделать заключение о том, что диапазон вибрации электродвигателей в сельскохозяйственном производстве гораздо шире диапазона, предусмотренного техническими условиями. Так, для различных производственных процессов (кормоприготовление, доение, вентиляция и др.) средняя вибрационная скорость статора электродвигателей лежит в пределах от 5,6 до 19,6 мм/с, что превышает предельно допустимую в 2–8 раз.

В свою очередь кратковременный и повторно-кратковременный режимы работы, как наиболее тяжелые с точки зрения динамических воздействий и перегрева обмотки, не оказывают существенного влияния на эксплуатационную надежность двигателей, если дополнительное воздействие агрессивной среды отсутствует.

Одна из характерных особенностей эксплуатации электрических машин в сельском хозяйстве – низкое качество питающего напряжения. Из-за значительной протяженности сельских сетей, наличия большого количества однофазных потребителей и неравномерного их распределения по фазам в электрических сетях имеет место значительная несимметрия напряжения (от 0,3 до 2,5%), существенные его колебания (от –25 до 20% от номинального).

Таким образом, все вышеназванные особенности эксплуатации асинхронных двигателей в ус-

ловиях сельскохозяйственного производства, в той или иной степени, оказывают влияние на надежность их работы.

Из вышесказанного следует, что основная причина низкой эксплуатационной надежности двигателей в сельском хозяйстве, помимо тяжелых режимов работы и неблагоприятных условий эксплуатации, – отсутствие взаимосвязи между отдельно разрабатываемыми мероприятиями, направленными на повышение эффективности проектирования, эксплуатации и ремонта электродвигателя.

Не обеспечив двигатели надежной защитой, средствами диагностики и контроля их состояния, не имея научно обоснованных методов определения фактических сроков службы электродвигателей в реальных условиях эксплуатации, а также выполняя восстановление элементов конструкции электродвигателя с заведомо низким качеством работ, трудно надеяться на то, что двигатель полностью выработает свой ресурс, заложенный заводом-изготовителем.

Кроме того, только своевременная и достоверная информация об их техническом состоянии позволяет правильно оценить остаточный ресурс, т.е. принять решение о целесообразности дальнейшего использования. Указанная своевременность получения информации может быть обеспечена путем ранней диагностики электродвигателя и прогнозирования его состояния на перспективу, а достоверность – использованием современных технических средств измерения и контроля.

Литература

1. Хомутов О.И. Система технических средств и мероприятий повышения эксплуатационной надежности изоляции электродвигателей, используемых в сельскохозяйственном производстве: Дис. ... док. техн. наук. Челябинск, 1990. 450 с.
2. Исследование надежности электрооборудования и разработка энергосберегающих, экологически чистых технологий его восстановления: Отчет о НИР (заключит.) / Руководитель О.И. Хомутов. №ГР 01970000744; Инв. №02990001280. Барнаул, 1999. 221 с.
3. Хомутов О.И. Система технических средств и мероприятий по повышению надежности электрооборудования. Барнаул, 1990. 98 с.
4. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10-ти т. Т. 9: Техническая диагностика / Под общ. ред. В.В. Клюева, П.П. Пархоменко. М.: Машиностроение, 1987. 352 с.
5. Дергач В.И. Электродвигатели, применяемые в сельскохозяйственном производстве // Труды ЧИМЭСХ. Челябинск, 1981. Вып. 169. С. 21–26.
6. Сырых Н.Н. Техническое обслуживание электрооборудования в сельском хозяйстве / Н.Н. Сырых, В.С. Чекрыгин, С.А. Калмыков. М.: Россельхозиздат, 1980. 223 с.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

7. Машевский В.П. Исследование влияния режимов работы и условий окружающей среды животно-водческих помещений на состояние электроприводов и обоснование нового способа сохранения их работоспособности: Дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1979. 222 с.
8. Сырых Н.Н. Повышение надежности электрифицированных технологических процессов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1985. №8. С. 46–50.
9. Гудкин А.Ф. Микроклимат свиноводческих помещений и пути его улучшения. Благовещенск: Изд-во Благовещ. СХИ, 1973. 28 с.
10. Хомутов О.И. Исследование эксплуатационной надежности электродвигателей в условиях комплексов крупного рогатого скота: Дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 1977. 192 с.
11. Мартыненко И.И. Влияние режимов работы на эксплуатационную надежность электродвигателей / И.И. Мартыненко, Н.А. Корчемный, В.П. Машевский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1981. №9. С. 29–31.
12. Гутов И.А. Прогнозирование состояния электродвигателей на основе использования многофакторных моделей старения изоляции: Дис. ... канд. техн. наук. Барнаул, 1997. 255 с.
13. Гутов И.А. Экспериментальные исследования и оборудование для проведения ускоренных испытаний по старению изоляции / И.А. Гутов, А.В. Кузнецов, О.И. Хомутов // Научно-техническое творчество студентов: Сб. тез. докл. 55-й науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава АлтГТУ. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1997. Ч. 2. С. 83.
14. Рекомендации по технической диагностике и прогнозированию остаточного ресурса электродвигателей сельскохозяйственных объектов. Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 1981. 44 с.
15. Пястолов А.А. Факторы, влияющие на надежность работы электродвигателей в сельском хозяйстве / А.А. Пястолов, А.А. Большаков, Г.А. Петров // Автоматизированный привод в народном хозяйстве: Сб. тр. М.: Энергия, 1971. Т. 4. С. 194–195.
16. Пястолов А.А. Научные основы эксплуатации электросилового оборудования. М.: Колос, 1968. 224 с.