

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РАЗРУШЕНИЯ СВЯЗУЮЩЕГО, ПРОПИТКИ И СУШКИ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

С.О. Хомутов

В статье рассматриваются научно подтвержденные подходы к ускорению процессов разрушения связующего при удалении обмоток, пропитки и сушки изоляции в ходе обслуживания и ремонта электродвигателей, направленные на повышение эффективности сельскохозяйственного производства и улучшение условий труда обслуживающего и ремонтного персонала. Приведенное в статье теоретическое обоснование способа интенсификации процессов тепломассопереноса позволило на практике реализовать электротехнологическую систему восстановления изоляции обмоток для обеспечения высокой эксплуатационной надежности рассматриваемых электрических машин в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: электродвигатель, надежность, ремонт, пропитка, сушка, изоляция.

Вопрос повышения надежности электрического двигателя (ЭД), как основного потребителя электроэнергии в сельском хозяйстве, на сегодняшний день продолжает оставаться актуальным. При этом использование современных методов диагностики, с последующим прогнозированием состояния электродвигателей, не решает в полном объеме проблему их низкой надежности, что требует проведения комплексного исследования, направленного на повышение эффективности выполнения восстановительных мероприятий.

Основные результаты теоретических исследований процессов тепломассопереноса в

обмотках электрических двигателей, которые построены на применении системной методологии к анализу процессов переноса энергии и массы вещества, протекающих в твердых капиллярно-пористых телах, позволили предложить новые принципы разрушения связующего при удалении обмоток, пропитки и сушки обмоток в ходе обслуживания и ремонта, когда подача тепла и пропитывающего состава осуществляется в один сосуд, где изделие находится постоянно без каких-либо перемещений, с возможностью регулировать в широком диапазоне величину и скорость изменения режимных параметров (рисунок 1).

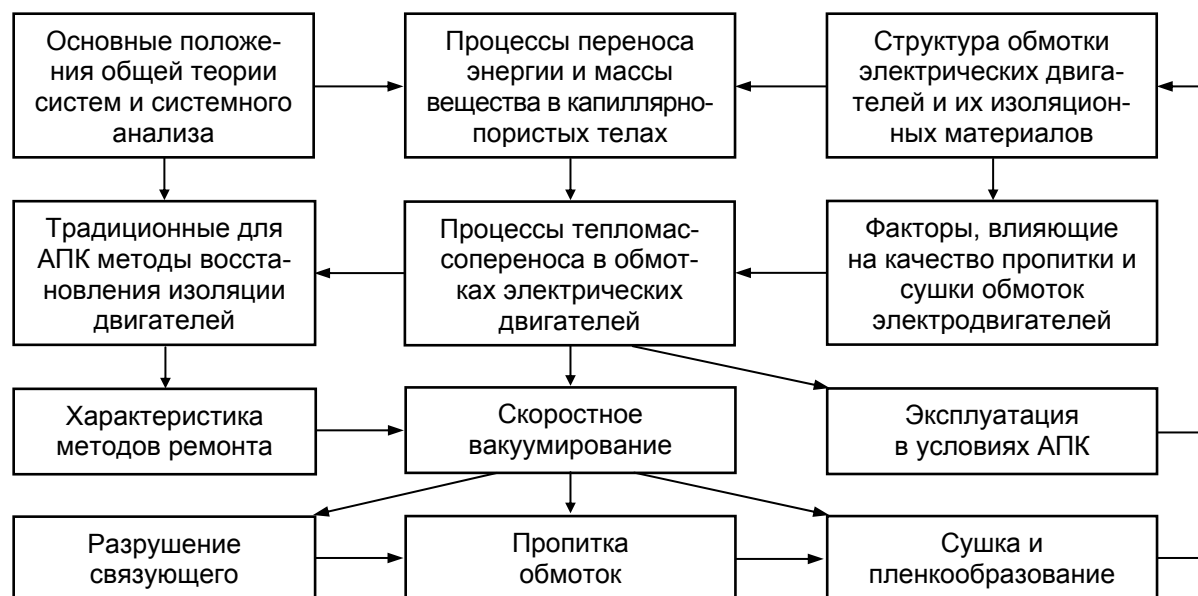


Рисунок 1 – Структура системы исследования процессов тепломассопереноса в обмотках ЭД

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РАЗРУШЕНИЯ СВЯЗУЮЩЕГО, ПРОПИТКИ И СУШКИ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В основу выполненных теоретических исследований была положена система дифференциальных уравнений переноса массы и энергии [1], решения которой применительно к рассматриваемому случаю представляют интерес, с точки зрения разработки методов разрушения связующего, пропитки и сушки, а также нанесения изоляционных покрытий.

Задача теоретического исследования процессов разрушения связующего обмоток под действием агрессивных сред имеет важное значение как для выработки мероприятий по снижению скорости старения электроизоляционных материалов в условиях эксплуатации, так и для разработки современных методик извлечения обмоток из статоров электродвигателей.

Химическая реакция между агрессивной средой и химически нестойкими связями полимера может происходить на границе раздела фаз и в объеме фазы полимера. Считая обе фазы единой замкнутой системой, скорость химической реакции W можно выразить

$$W = \frac{dC_n}{dt} = k(C_n^0 - C_n)C_{кат}C_{расм}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial C_{расм}}{\partial t} = D_{расм} \nabla^2 C_{расм} - k(C_n^0 - C_n)C_{кат}C_{расм}; \quad (2)$$

$$\frac{dC_{кат}}{dt} = D_{кат} \nabla^2 C_{кат} - \sum_i C_{кат} C_i k_i, \quad (3)$$

где n – число распавшихся связей в момент времени t ; C_n^0 – начальная концентрация химически нестойких связей в полимере; C_n – концентрация распавшихся связей; $C_{кат}$ – концентрация катализатора в полимере; $C_{расм}$ – концентрация растворителя; k – константа скорости распада; ∇ – оператор Лапласа; $D_{кат}$, $D_{расм}$ – коэффициенты диффузии катализатора и растворителя соответственно.

Решение зависимостей (1) – (3) при условии, что соблюдается закон действия масс, объем полимера в ходе деструкции практически не изменяется и полимер изотропен [1], позволили качественно оценить степень воздействия агрессивных сред на изоляцию обмотки в условиях эксплуатации и определить скорость ее старения, что создало предпосылки к отысканию показателей интенсификации разрушения связующего в ходе ремонта.

В свою очередь, аналитическая задача установления связи между временными и пространственными изменениями потенциалов переноса при разрушении связующего, пропитке и сушке обмоток формулируется на основе системы дифференциальных уравнений молярно-молекулярного тепломассопереноса [2].

Тогда для пропитки обмоток электродвигателей, принимая критерий фазового перехода равным 0, т. к. испарение в начальной стадии отсутствует, в целях упрощения решения общей системы уравнений можно записать

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial \tau} = D \cdot \nabla^2 u + D \cdot \delta_p \cdot \nabla^2 p; \\ \frac{\partial p}{\partial \tau} = a_p \cdot \nabla^2 p, \end{cases} \quad (4)$$

где τ – время; p – давление; u – концентрация вещества; δ_p – относительный коэффициент потока парообразной влаги; a_p – коэффициент конвективной диффузии; ∇ – оператор Гамильтона.

Использование теории подобия позволяет перейти к безразмерной форме записи системы уравнений (4), а на основе принятых в [2] допущений возможен переход и к одномерной форме записи:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + Pn \frac{\partial^2 P}{\partial X^2}; \\ \frac{\partial P}{\partial Fo} = Lu \frac{\partial^2 P}{\partial X^2} \end{cases} \quad (5)$$

при граничных условиях

$$P(1, Fo) = Pd \cdot Fo; \quad (6)$$

$$-\frac{\partial U(1, Fo)}{\partial X} + Bi[1 - U(1, Fo)] + P(1, Fo) = 0, \quad (7)$$

где U и P – безразмерные потенциал массопереноса и давление; Lu – критерий Лыкова; Pn – критерий Поснова; Fo – критерий Фурье; X – безразмерная координата; Pd – массообменный критерий Предводителя; Bi – критерий Био.

Описание процесса нахождения решения данной системы дифференциальных уравнений достаточно громоздко. Поэтому, опуская его, приведем лишь конечный результат, т. к. именно он представляет интерес с точки зрения получения связи между безразмерными величинами U и P

$$U = \frac{Pn \cdot Lu}{Lu^2 - 1} P + 1. \quad (8)$$

Из выражения (8) видно, что для повышения качества пропитки обмоток электродвигателей необходимо увеличивать градиент давления и критерий Поснова, который характеризует перепад потенциала массопереноса, вызванный разностью температур или разностью давлений. При этом даже не смачивающие поверхность твердого тела жидкости могут проникать в поры, каналы и капилляры обмотки ЭД под действием градиента давления, создание которого возможно за счет вакуума определенной величины.

К аналогичным выводам можно прийти и относительно удаления жидкости и газовых включений путем скоростного вакуумирования. В результате были получены новые закономерности, которые имеют место в процессе сушки, когда создание градиента давления от 760 до 100–150 мм рт. ст. за время 0,1–10 с. не приводит к постепенной релаксации давления паров и обеспечивает до 95 % удаления влаги из изоляции без фазового перехода.

Для подтверждения результатов выполненных теоретических исследований и выдвинутых предпосылок о возможности интенсификации процессов теплопереноса и повышения качества изоляции, имеющих ме-

сто при разрушении связующего обмоток на начальных стадиях ремонта, ее пропитки и сушки путем создания градиентов давления, температуры и скорости их изменения, был осуществлен комплекс экспериментов с использованием предложенной и созданной при непосредственном участии автора многофункциональной электротермовакuumной установки [3], функциональная схема которой показана на рисунке 2. При этом для оценки качества изоляции на всех этапах технологического процесса ремонта двигателей предложено использовать рассмотренный в работе [4] обобщенный диагностический параметр (ОДП) Ψ .

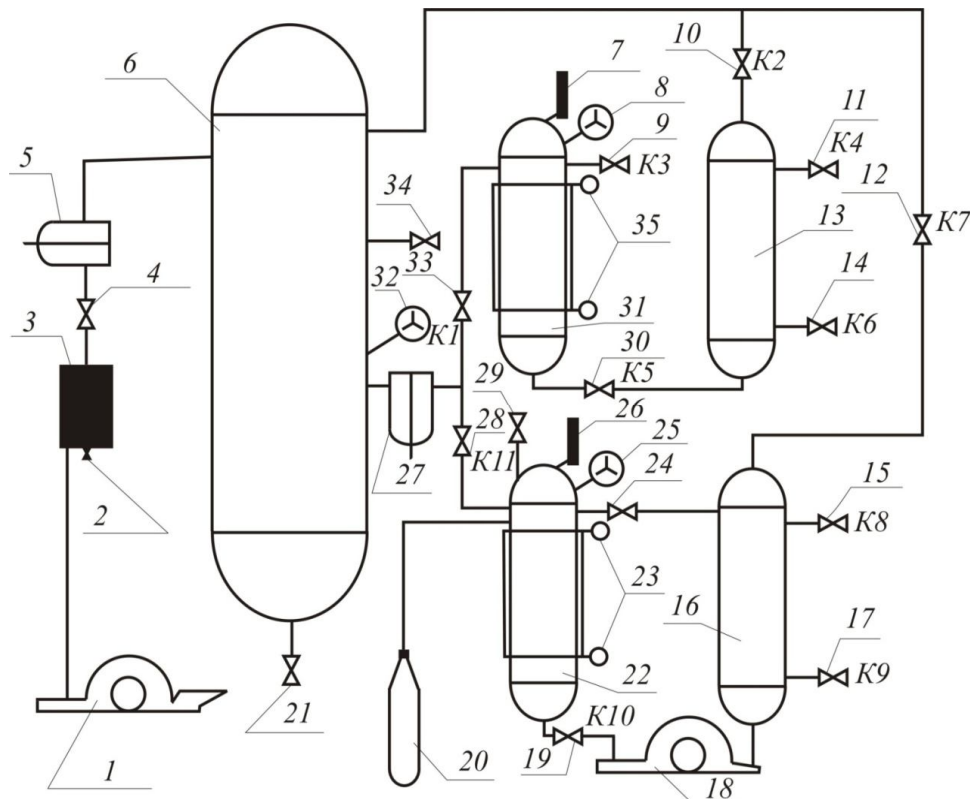


Рисунок 2 – Функциональная схема электротермовакuumной установки разрушения связующего обмоток, пропитки и сушки изоляции:

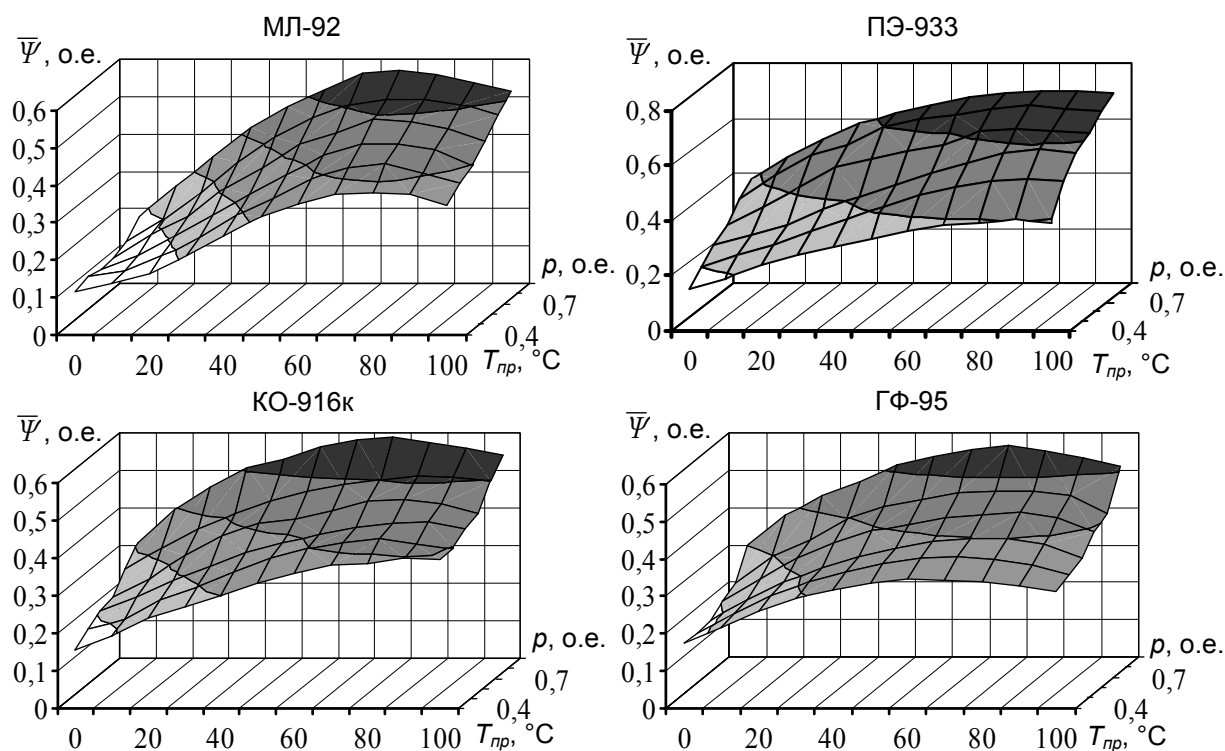
1 – вакуумный насос; 4, 9–12, 14, 15, 17, 19, 24, 28, 29, 30, 33, 34 – вентили; 6 – ресивер; 13 – смесительный котел; 16 – резервуар для водного раствора; 18 – циркуляционный насос; 22 – автоклав для разрушения связующего; 31 – автоклав для пропитки и сушки

В ходе проведения экспериментов было установлено, что качество всего технологического процесса целиком и полностью определяется качеством пропитки при условии завершенности процесса сушки до и после пропитки (рисунок 3).

На представленных трехмерных поверхностях при использовании скоростного электротермовакuumного метода видно, что изменение обобщенного диагностического параметра в процессе пропитки зависит как от

используемой марки лака, так и от температуры пропитки обмоток двигателя $T_{пр}$ и глубины вакуума p . Кроме того, результаты экспериментов подтвердили выводы не только о возможности существенного ускорения процессов разрушения связующего, пропитки и сушки обмоток двигателей, но и о значительном проникновении пропиточного состава внутрь обмоток посредством создания градиента давления за счет вакуума определенной глубины и скорости его изменения.

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РАЗРУШЕНИЯ СВЯЗУЮЩЕГО, ПРОПИТКИ И СУШКИ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ



время создания вакуума $t_e = 0,1$ с; вязкость лака $B = 20$ с

Рисунок 3 – Графики зависимости ОДП от параметров процесса пропитки изоляции скоростным вакуумным методом

Применение подробно описанного в работе [5] информационно-логического анализа результатов экспериментов для получения явного вида целевой функции влияния режимов пропитки и сушки на качество изоляции, позволило выявить следующую зависимость для ОДП

$$\Psi = p \wedge t_e \vee (t_c \vee t_{пр} \vee T_{пр}) \wedge N_{в.у} \wedge T_c, \quad (9)$$

где t_c – время сушки; $t_{пр}$ – время пропитки; $N_{в.у}$ – количество циклов вакуумирования; T_c – температура сушки; $\vee$ – логическая функция дизъюнкции или логическое сложение; $\wedge$ – логическая функция конъюнкции или логическое умножение; $()$ – скобки, обозначающие примерно одинаковое влияние каждого из параметров, находящихся в них, на обобщенный диагностический параметр.

В итоге полученная математическая модель пропитки и сушки изоляции электродвигателей позволила дать количественную оценку влияния каждого из факторов на показатель качества. Наибольший положительный эффект качества и интенсификации процессов пропитки и сушки изоляции достигается от разности потенциалов давления, а наименьший – от температуры сушки.

Анализ возможных форм обобщенного диагностического параметра Ψ позволил сделать вывод о том, что в качестве технического критерия оптимизации параметров процесса восстановления изоляции наиболее приемлемо использование нормированных разностных ОДП, приведенных к температуре 20°C , а именно:

– при сравнении вклада каждого из этапов ремонта ЭД в получаемое по окончании пропитки и сушки качество используется выражение

$$\bar{\Psi}_{ij} = \frac{\Delta \Psi_{ij}}{\Psi_{t_{\max}}}; \quad (10)$$

– при исследовании старения изоляции

$$\tilde{\Psi}_{ti} = \frac{\Psi_{ti}}{\Psi_{эм\ ti}}, \quad (11)$$

где $\Delta \Psi_{ij}$ – разностный диагностический параметр, позволяющий установить вклад каждого этапа в качество ремонта; $\Psi_{t_{\max}}$ – строго оговоренное значение ОДП на одном из этапов ремонта ЭД; i – номер технологии; j – показатель этапа или группы этапов; $\Psi_{эм\ ti}$ – эталонное значение Ψ ; $\Psi_t = k_{t\psi} \cdot \Psi$ – измеренное значение

чение ОДП при температуре 20 °С; k_{ψ} – температурный коэффициент.

Практическая реализация сделанных теоретических предпосылок дала возможность внести необходимые коррективы в выбор режимов термовакуумной пропитки и сушки обмоток. Предлагаемые режимы сократили температуру сушки на 15–20 °С, общую длительность процесса до 1,5–2 ч без промежуточных транспортировочных операций по замкнутому циклу.

В результате была разработана прогрессивная технология единого комплекса электро-термовакuumного разрушения связующего, пропитки и сушки обмоток электрических двигателей, основанная на интенсификации процессов тепломассопереноса, позволившая достичь при сушке обмоток интенсивного удаления из них влаги, а при пропитке – наиболее глубокого проникновения пропитывающего состава вглубь обмотки [6].

Созданные при участии автора и внедренные в производство стационарные и передвижные ремонтно-диагностические комплексы, представляющие собой совокупность вакуумных сосудов в модульном исполнении, соединенных системой трубопроводов и задвижек, работающих по заранее заданной программе, а также технических средств диагностики позволили осуществить на практике реализацию разработанной технологии.

С точки зрения системного анализа, важнейшей целью исследования технологических процессов, анализа существующих и синтеза новых технологий является решение задач оптимального управления данными процессами, основанное, в том числе, на полученных логических зависимостях.

В самом общем виде постановки задачи оптимизации параметров технологий пропитки и сушки изоляции электрических двигателей выражают интересы сторон, участвующих в данном процессе. Эксплуатирующая электродвигатель организация заинтересована в максимизации срока безотказной работы двигателя $t_{\text{сп}}$, в минимизации суммарных затрат на эксплуатацию и ремонт ЭД Z_{Σ} , а также в минимизации срока его ремонта $t_{\text{рем}}$. Формально эти интересы могут быть записаны как

$$t_{\text{сп}} \rightarrow \max; Z_{\Sigma} \rightarrow \min; t_{\text{рем}} \rightarrow \min. \quad (12)$$

Автором были рассмотрены три варианта постановки задач оптимизации:

$$\max\{t_{\text{сп}} \forall u \in U\} \text{ при } Z_{\Sigma} \leq Z_{\Sigma \text{ зад}} \text{ и } t_{\text{рем}} \leq t_{\text{рем. зад}}; \quad (13)$$

$$\min\{Z_{\Sigma} \forall u \in U\} \text{ при } t_{\text{сп}} \geq t_{\text{сп. зад}} \text{ и } t_{\text{рем}} \leq t_{\text{рем. зад}}; \quad (14)$$

$$\min\{t_{\text{рем}} \forall u \in U\} \text{ при } Z_{\Sigma} \leq Z_{\Sigma \text{ зад}} \text{ и } t_{\text{сп}} \geq t_{\text{сп. зад}}; \quad (15)$$

где U – множество технологий восстановления изоляции ЭД; u – один из вариантов технологического ремонта; $Z_{\Sigma \text{ зад}}$ – заданный уровень затрат (объем средств на ремонт); $t_{\text{рем. зад}}$ – заданная продолжительность ремонта при условии выполнения требуемого объема работ.

Проведенные исследования показали, что применение нормированных разностных диагностических параметров, определяющих в относительной форме изменение ОДП на различных этапах восстановления работоспособности электродвигателей, наиболее удобно в качестве технических критериев оптимизации. При этом в качестве экономического критерия примем суммарные затраты на техническое обслуживание и ремонт двигателей

$$Z_{\Sigma} = \sum_{i=1}^k S_{\text{м.и}} + A + Z_{\text{раб}} + \sum_{i=1}^k Y_{\text{пр.и}} \cdot t_{\text{пр.и}} + Z_{\text{тр}} + Z_{\text{обсл}}, \quad (16)$$

где k – количество вышедших из строя двигателей за период времени t ; $S_{\text{м.и}}$ – стоимость материалов, расходуемых на ремонт одного электродвигателя; A – постоянные затраты на текущее содержание мастерской и амортизационные отчисления; $Z_{\text{раб}}$ – заработная плата рабочих; $Y_{\text{пр.и}}$ – убытки от простоя i -го ЭД в единицу времени; $t_{\text{пр}}$ – длительность простоя электродвигателей, состоящая из времени ожидания ремонта $t_{\text{ож}}$ и времени самого ремонта $t_{\text{рем}}$; $Z_{\text{тр}}$ – транспортные расходы; $Z_{\text{обсл}}$ – затраты на ежегодное обслуживание.

Тогда при использовании для диагностики изоляции метода волновых затухающих колебаний [7] постановки задач оптимизации примут следующий вид:

при $\tilde{\Psi}_{\text{зад}} \leq \tilde{\Psi}$ и $t_{\text{рем}} \leq t_{\text{рем. зад}}$

$$\min\{Z_{\Sigma}(U, X) \forall U \in \bar{U}, X \in \bar{X}\}; \quad (17)$$

при $Z_{\Sigma \text{ зад}} \geq Z_{\Sigma}$ и $t_{\text{рем}} \leq t_{\text{рем. зад}}$

$$\max\{\tilde{\Psi}(U, X) \forall U \in \bar{U}, X \in \bar{X}\}; \quad (18)$$

при $\tilde{\Psi}_{\text{зад}} \leq \tilde{\Psi}$ и $Z_{\Sigma \text{ зад}} \geq Z_{\Sigma}$

$$\min\{t_{\text{рем}}(U, X) \forall U \in \bar{U}, X \in \bar{X}\}, \quad (19)$$

где $\tilde{\Psi}_{\text{зад}}$ – заданное значение нормированного диагностического параметра (требуемое качество ремонта).

Для оптимизации режимов сушки до и после пропитки можно использовать минимизацию затрат на режим при условии завершения физико-химических процессов (20) – (21). Для определения рациональных режимов пропитки статоров ЭД предлагается применить стратегию максимизации нормированного разностного диагностического параметра или минимизации затрат на обеспечение режима работы технологической установки (22) – (23):

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РАЗРУШЕНИЯ СВЯЗУЮЩЕГО, ПРОПИТКИ И СУШКИ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

при сушке до пропитки

$$\min \{Z_{\text{реж}}(p, t_{\theta}, t_c, T_c, N_{\text{в.у}})\} \text{ при } \bar{\Psi}_{\text{III зад}} \leq \bar{\Psi}_{\text{III}}; (20)$$

$$\max \{\bar{\Psi}_{\text{III}}(p, t_{\theta}, t_c, T_c, N_{\text{в.у}})\} \text{ при } Z_{\text{реж}} \leq Z_{\text{реж.зад}}; (21)$$

при пропитке

$$\text{при } Z_{\text{реж}} \leq Z_{\text{реж.зад}}$$

$$\max \{\bar{\Psi}_{\text{IV}}(p, t_{\theta}, t_{\text{пр}}, T_{\text{пр}}, N_{\text{в.у}}, B, M_{\text{лак}})\}; \quad (22)$$

$$\text{при } \bar{\Psi}_{\text{IV зад}} \leq \bar{\Psi}_{\text{IV}}$$

$$\min \{Z_{\text{реж}}(p, t_{\theta}, t_{\text{пр}}, T_{\text{пр}}, N_{\text{в.у}}, B, M_{\text{лак}})\}, \quad (23)$$

где $Z_{\text{реж}}$ – затраты на реализацию заданного режима; $Z_{\text{реж.зад}}$ – заданный уровень затрат на реализацию режимов; B и $M_{\text{лак}}$ – вязкость и марка лака соответственно; $\bar{\Psi}_{\text{III}}$ и $\bar{\Psi}_{\text{IV}}$ – соответственно значения нормированного диагностического параметра для этапов сушки до пропитки и пропитки.

Предложенный подход к формированию постановок задач оптимизации стал основой для разработки ряда методик [8] (рисунок 4), позволивших сформировать рекомендации по пропитке и сушке электродвигателей (таблица 1), что обеспечивает повышение срока

службы изоляции в 1,7–2,2 раза и сокращает ежегодный ущерб, наносимый сельскохозяйственному производителю, в 1,3–1,8 раза.

Таким образом, итогом выполненной работы стало развитие теоретических и научно-технических основ построения электротехнологической системы повышения надежности электродвигателей, эксплуатирующихся в неблагоприятных условиях сельского хозяйства.

Научная новизна результатов исследований подтверждена патентами РФ, а созданные при участии автора установки неоднократно демонстрировались на различных краевых и всероссийских выставках-ярмарках (рисунок 5).

Весь комплекс представленных в данной статье исследований выполнялся на базе кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» АлтГТУ. Ряд исследований, выполненных совместно с учеными кафедры под руководством доктора технических наук, профессора Хомутова О. И., успешно завершился публикацией 93 печатных работ, в которых предложены эффективные решения задач в области обеспечения надежности ЭД.



Рисунок 4 – Блок-схема выбора оптимальной технологии пропитки и сушки изоляции в зависимости от условий эксплуатации ЭД

ХОМУТОВ С.О.

Таблица 1 – Режимы, обеспечивающие максимальное качество электротермовакuumной пропитки и сушки, в зависимости от объема затрат

Затра- ты, руб.	Темпера- тура про- питки, °С	Количество циклов создания вакуума, шт.	Темпера- тура сушки, °С	Глубина вакуума, о.е.	Время создания вакуума, с	Время пропит- ки, мин	Время сушки, мин
400	50	3	80	0,50	0,5 – 1	13	13
450	60	1	100	0,40	0,5 – 1	13	10
500	70	2	100	0,40	0,5 – 1	14	11
550	70	1	100	0,50	0,5 – 1	14	11
600	40	3	100	0,40	0,1 – 0,5	15	12
650	70	1	100	0,60	0,1 – 0,5	15	13
700	80	2	100	0,50	0,1 – 0,5	17	12
750	90	2	100	0,50	0,1 – 0,5	18	12
800	110	2	100	0,50	0,1 – 0,5	18	12



Рисунок 5 – Стационарная установка для использования на специализированных ремонтных предприятиях АПК

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хомутов, С.О. Электротермовакuumная пропитка и сушка электродвигателей [Текст] / С.О. Хомутов, А.А. Грибанов. – Новосибирск: Наука, 2006. – 325 с.
2. Хомутов, С.О. Система повышения надежности электродвигателей в сельском хозяйстве на основе комплексной диагностики и эффективной технологии восстановления изоляции [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / С.О. Хомутов. – Барнаул, 2010. – 430 с.
3. Пат. 2191461 Российская Федерация. Установка для электротермовакuumного восстановления

и ремонта изоляции электротехнических изделий [Текст] / Хомутов С.О., Хомутов С.О., Грибанов А.А., Левачев А.В., Сташко В.И.; заявитель и патентообладатель. – Барнаул, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – 2002. – Бюл. № 29.

4. Сташко, В.И. Методы диагностики изоляции электрических машин: учеб. пособие / В.И. Сташко, Г.В. Суханкин, С.О. Хомутов, Н.Т. Герцен. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – 204 с.

5. 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.

6. Хомутов, С.О. Электротехнологическая система повышения надежности электродвигателей, эксплуатирующихся в условиях сельскохозяйственного производства [Текст] / С.О. Хомутов // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 3. – С. 173–178.

7. Хомутов, С.О. Повышение надежности работы асинхронных двигателей путем разработки методики и технических средств для определения эталонных значений диагностического параметра их изоляции [Текст] / С. О. Хомутов // Ползуновский вестник. – 2002. – № 1. – С. 26-31.

8. Грибанов, А.А. Обобщающие показатели качества изоляции асинхронных двигателей для оптимизации технологического процесса ее пропитки и сушки [Текст] / А.А. Грибанов, С.О. Хомутов // Ползуновский альманах. – 2004. – № 1. – С. 34–39.

Хомутов С.О., д.т.н., проф., каф. «Электроснабжение промышленных предприятий», АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. 8(3852) 29-07-76, E-mail: soh@mail.ru