

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОПИТКИ И СУШКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ

С.О. Хомутов, Е.В. Кобозев, П.И. Семичевский

Общее представление о причинах и закономерностях появления отказов оборудования можно получить при анализе надежности его отдельных элементов. Рассмотрим, к примеру, обмотку асинхронного двигателя и выясним причины ее неработоспособности. Известно, что обмотка работоспособна до тех пор, пока имеет правильное соединение и достаточную прочность (электрическую, тепловую и механическую). Нарушение любого из названных параметров приводит к выходу обмотки из строя. Такие нарушения могут возникнуть из-за выбора заниженного класса изоляции привода при конструировании, а также из-за повреждения проводов при укладке обмотки в статор при изготовлении и ошибочном включении двигателя на повышенное напряжение при эксплуатации. Все это образует группу субъективных причин отказов. Вместе с тем, при эксплуатации на обмотку воздействует множество факторов, обусловленных объективными причинами: влажность, запыленность, вибрация и т. д. Те из них, которые приводят к отказам из-за старения или износа элементов электрооборудования, условно называют внутренними объективными причинами, а остальные – внешними. Таким образом, к субъективным причинам относят конструкционные, производственные и эксплуатационные, а к объективным – внутренние и внешние дестабилизирующие воздействия.

Из проведенного авторами анализа статистических данных причин выхода электродвигателей (ЭД) из строя можно сделать вывод о том, что значительную их долю составляют отказы, вызванные старением изоляции обмоток статора под воздействием ряда факторов, таких как влага, агрессивные газы, тепловые и механические нагрузки. Обеспечение современными устройствами защиты и диагностики минимального воздействия внешних и внутренних факторов на обмотку электрических машин в процессе эксплуатации, а также ремонтными службами высокого качества восстановления работоспособности электродвигателей на стадии технического обслуживания и ремонта, позволит максимально снизить спрос на ремонтную услугу за

счет повышения надежности узлов электрооборудования и повысить уровень сельскохозяйственного производства.

Обобщая полученные данные о повреждениях изоляции, можно назвать наиболее характерные из них:

- короткое замыкание на корпус;
- пробой;
- короткие витковые замыкания;
- пробой и обугливание изоляции;
- обрыв обмотки статора.

Наиболее частое сочетание встречающихся видов повреждений – это пробой и обугливание изоляции с витковым коротким замыканием и повреждением провода. Такое сочетание видов повреждений имеют 51,2 % из всех вышедших из строя и обследованных электродвигателей. Обугливание изоляции в сочетании с пробоем наблюдается у 10,2 % двигателей, а обугливание изоляции в сочетании с витковым коротким замыканием и пробоем – у 13,1 %. В «чистом» виде пробой изоляции имеет место у 4,8 %, обугливание изоляции – у 13,5 %, витковое короткое замыкание – у 4,3 % электродвигателей. Лишь 29% двигателей имели механические повреждения без повреждения обмотки. Кроме этого, по данным некоторых исследований, пробой на корпус наблюдался у 16 %, а сгорание обмоток – у 46 % ЭД.

Все это говорит о том, насколько высокими должны быть требования к технологии ремонта электродвигателей с учетом того, что сам процесс ремонта в настоящее время является длительным и несовершенным в большинстве случаев.

В процессе изучения физико-химических явлений, протекающих при восстановлении изоляции статорных обмоток, особое место необходимо отвести переносу энергии и массы вещества, являющимся одним из важнейших предметов исследования в современной науке и имеющим большое практическое значение в стационарной и промышленной энергетике. Несмотря на то, что существующие на сегодняшний день методы восстановления электрической изоляции, в частности, пропитки и сушки обмоток ЭД, не позволяют в полной мере реализовать основные положе-

ния теории тепломассообмена, данные вопросы в теплоэнергетических процессах приобретают особое значение при их значительной интенсификации в связи с переходом на высокие режимные параметры [1].

Теория тепло- и массопереноса, являющаяся научной основой многих теплоэнергетических процессов, очень сложна, разработана недостаточно, и поэтому современная теория тепло- и массообмена в основном является феноменологической теорией, базирующейся на гидродинамике и термодинамике сплошных сред. Получаемые решения, несмотря на значительные математические трудности, представляют несомненный интерес не только для расчета процессов тепло- и массопереноса, но и для изучения основных закономерностей тепло- и массообмена, в частности, для разработки новых методов пропитки и сушки обмоток статоров ЭД.

Для понимания процессов тепломассопереноса в обмотке электрических машин нам необходимо знать физико-химическую структуру как самой обмотки, так и изоляционных материалов, являющихся неотъемлемой ее частью.

Очевидно, что обмотку двигателя можно считать пористым телом, состоящим из капилляров или узких каналов, которые расположены по длине статорного паза прямолинейно. Сечение таких капилляров есть криволинейный треугольник. Пористое тело характеризуется такими параметрами как пористость, проницаемость и рядом других. Под пористостью обмотки статора электродвигателя понимается отношение объема пор $V_{пор}$ к объему тела обмотки $V_{мел.}$. В нашем случае объемная пористость Π_V будет равна поверхностной пористости Π_S , которая равна отношению поверхности пор к общей поверхности тела обмотки статора.

Как известно, механическая пористость любых покрытий уменьшается с увеличением их толщины и ростом числа наносимых слоев. Для каждого покрытия существует минимальная толщина беспористых покрытий δ_{min} , которая зависит от материала, вида подложки, способа нанесения и других факторов. Она весьма мала (составляет доли или единицы микрометров) при получении покрытий из газовой фазы и гораздо больше (достигает десятков и сотен микрометров) при получении их из жидких сред. В соответствии с пористостью изменяется и проницаемость покрытий K_f , являющаяся свойством пористого материала пропускать через себя

жидкость, и представляющая собой проводимость материала по отношению к жидкости.

С точки зрения обеспечения защитных свойств покрытий проницаемость играет большую роль. Являясь показателем, определяемым свойствами материала пленки и внешней контактирующей с ней среды, она характеризует комплекс изолирующих свойств покрытий, их способность противодействовать проникновению жидкостей, паров и газов к поверхности подложки из окружающей среды.

Как известно, проникновение вещества через пленку складывается из:

- адсорбции (растворения);
- диффузии;
- десорбции с другой стороны пленки.

В процессе адсорбции участвуют как минимум два компонента:

1) твердое вещество, на поверхности или в объеме пор которого происходит концентрирование поглощаемого вещества, называется адсорбентом;

2) поглощаемое вещество, находящееся в газовой или жидкой фазе, называется адсорбтивом, а после того как оно перешло в адсорбированное состояние – адсорбатом.

Любое твердое вещество обладает поверхностью и, следовательно, потенциально является адсорбентом. Таким образом, обмотка статоров асинхронных электродвигателей с развитой внутренней поверхностью может быть представлена как твердый адсорбент [2].

Несмотря на многообразие характера адсорбционных сил, все адсорбционные явления можно разделить на два основных типа: физическую адсорбцию и сорбцию, основанную на силах химического взаимодействия. Разновидностью адсорбции является капиллярная конденсация, зависящая от связи адсорбируемого вещества, находящегося в жидком состоянии, с поверхностью адсорбента. Иногда перечисленные виды адсорбции сопутствуют друг другу. Так, в процессах поглощения адсорбентами, имеющими поры различных размеров, часто совмещаются как физическая адсорбция, так и капиллярная конденсация. При отсутствии сильного взаимодействия между сорбентом и сорбатом равновесие устанавливается довольно быстро и скорость суммарного процесса определяется скоростью процесса диффузии. Однако на практике для оценки количества прошедшего через пленку вещества чаще используют коэффициент проницаемости, который представляет собой произведение ко-

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОПИТКИ И СУШКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ

эффициента диффузии D на коэффициент сорбции δ .

Анализ и изучение процессов переноса вещества в капиллярно-пористом теле обмотки статора позволило выделить одно из важнейших условий качественной пропитки обмоток электрических двигателей – обеспечение высокой степени смачивания внутренней и внешней поверхностей пропитываемого материала, поскольку в противном случае образование прочной адгезионной связи между пропиточным составом (адгезивом), и обмоткой (субстратом), будет практически невозможно. Поэтому адгезия и смачивание, как правило, взаимосвязаны и соответствующим образом характеризуют межфазное взаимодействие, которое подчиняется закону Юнга [3-8].

В соответствии с законом Юнга и законом сохранения энергии для системы «твердое тело – жидкость – газ», в которой жидкость и твердое тело взаимно не растворимы и не вступают в химическую реакцию, то есть остаются постоянными и поверхностные натяжения жидкости на границе с твердым телом и газом, проекции всех сил, действующих на границе раздела фаз в точке O на любую ось, проходящую через эту точку, равны нулю [9]. В ходе ранее выполненных исследований [8] была рассмотрена величина, которая носит название критерия смачивания и может быть определена следующим образом:

$$B = \cos\theta = \frac{\sigma_{1,3} - \sigma_{2,3}}{\sigma_{1,2}}. \quad (1)$$

Значения данного критерия варьируются в пределах $+1 \geq B \geq -1$. Это означает, что при $B > 0$ пропитывающая жидкость смачивает поверхность тела обмотки ЭД, а при $B < 0$ – не смачивает. Следует отметить, что при неполном смачивании поверхности указанного объекта, когда $\theta > 0$, в уравнение расчета коэффициента поверхностного натяжения необходимо вводить соответствующую поправку [3, 5].

Кроме того, как уже было сказано, на поверхности твердого тела могут адсорбироваться молекулы смачивающей жидкости, что приводит к снижению его поверхностного натяжения. Особенно сильно адсорбция на поверхности пропитываемого материала влияет на смачивание в тех случаях, когда окружающей средой является газ, снижая поверхностное натяжение твердого тела от значения $\sigma_{1,3}$ до меньшего значения $\sigma_{1,3}^a$.

Разность $\pi_{\text{нв}} = \sigma_{1,3} - \sigma_{1,3}^a$ называется поверхностным давлением, зависящим от природы жидкости и твердого тела [10]. В состоянии термодинамического равновесия периметр смачивания граничит не с исходной поверхностью твердой подложки, а с поверхностью, на которой адсорбированы молекулы воды и воздуха.

Таким образом, может быть сделан вывод о том, что добиться улучшения смачиваемости можно уменьшением поверхностного натяжения поверхности смачивания $\sigma_{2,3}$.

Известно, что при образовании поверхности теплота поглощается [11], то есть для каждой отдельной поверхности скрытая теплота образования поверхности всегда положительна, а, следовательно, температурный коэффициент поверхностного натяжения отрицателен. Другими словами, поверхностное натяжение твердого тела относительно пропитывающей жидкости снижается с повышением температуры.

Более точное описание зависимости поверхностного натяжения на границе раздела от температуры предложил Л. Этвеш [5], сделав вывод о том, что с повышением температуры пропитываемого состава и пропитываемой поверхности твердого тела можно добиться улучшения смачиваемости и, как следствие, качества пропитки.

В рамках исследования был сделан вывод о том, что даже не смачивающие поверхность твердого тела жидкости могут проникать в поры, каналы и капилляры тела обмотки под действием некоторого градиента давления, создание которого возможно не только за счет избыточного давления, но и за счет вакуума определенной глубины [8]. Но сама по себе данная возможность еще не означает получение прочной адгезионной связи, поэтому была найдена зависимость критерия смачивания от работы адгезии $W_a = \sigma_{1,3} + \sigma_{1,2} - \sigma_{2,3}$ и работы когезии $W_k = 2 \cdot \sigma_{1,2}$.

Из выражения (1) следует, что

$$W_a = \sigma_{1,2} \cdot (1 + \cos\theta). \quad (2)$$

В таком случае искомая зависимость, носящая название закона Дюпре, примет следующий вид:

$$\cos\theta = \frac{2 \cdot W_a - W_k}{W_k}. \quad (3)$$

Таким образом, в соответствии с законами Юнга (1) и Дюпре (3), большей разности между работой адгезии и когезии соответствует лучшая смачиваемость пропитываемым составом поверхности проводников обмотки. То есть, чем выше влияние адсорбции на по-

верхностное натяжение пропитываемого материала, тем меньше величина работы адгезии, а, следовательно, тем хуже и адгезионная связь между поверхностью тела обмотки и пропитывающим составом. Исследование закономерностей формирования адгезионного контакта в реальных изоляционных системах показало, что следует учитывать кинетику процессов смачивания и растекания, изменение вязкости во время пропитки, а также микрорельеф поверхности проводников [3, 8].

Остановимся подробнее на таких показателях качества пропитки, как высота поднятия жидкого адгезива в щелях и порах твердой поверхности, а также глубина проникновения пропитывающего состава внутрь тела обмотки. Высотой капиллярного поднятия пропитывающей жидкости может быть охарактеризована пропитка образцов типа пучка проволоки или волокон, а закон Пуазейля, полученный экспериментально в 1840 году, позволяет удовлетворительно описать движение жидкости в капиллярах твердого тела:

$$\frac{\partial \ell}{\partial \tau} = \frac{\rho_{\text{ос.}} \cdot r^2}{8 \cdot \eta \cdot \ell}, \quad (4)$$

где $\frac{\partial \ell}{\partial \tau}$ – средняя линейная скорость; ℓ – глубина затекания; η – коэффициент динамической вязкости; $\rho_{\text{ос.}} = \rho_k - \rho \cdot g \cdot \ell \cdot \sin \alpha$ – движущее давление, α – угол наклона капилляра.

Путем преобразования уравнения (4) была получена зависимость, которая означает, что глубина затекания жидкости в капилляр уменьшается с уменьшением его радиуса [8]. Напротив, высота равновесного поднятия жидкости в капилляре, в соответствии с законом капиллярности, с уменьшением r увеличивается. Время подъема τ до установления гидростатического равновесия столба жидкости будет равно:

$$\tau = \frac{2 \cdot \eta \cdot \ell^2}{\sigma \cdot r \cdot \cos \theta}. \quad (5)$$

Из приведенных выражений видно, что пропитка и смачивание реальных капиллярно-пористых объектов представляет собой очень сложный процесс. Поэтому в ряде случаев пользуются общими зависимостями, позволяющими описывать пропитку многих реальных пористых тел [8]:

$$\ell^2 = k \cdot \tau, \quad (6)$$

$$\ell = k \cdot \tau^{1/2}. \quad (7)$$

В данном случае реальную систему рассматривают упрощенно, например, вводя по-

нятия об эквивалентном радиусе капилляров, принятия капилляров сквозными и т. д.

На основании рассмотренных закономерностей был сделан вывод о том, что основными факторами, определяющими полноту заполнения неровностей и пор по поверхности подложки, являются вязкость, плотность и поверхностное натяжение лакокрасочного материала, а также размеры, форма и расположение пор на поверхности тела обмотки. При этом форма капилляра играет существенную роль, так как возможно возникновение таких условий, при которых перемещение фронта пропитывающего состава будет тормозиться заземленным в тупиковых порах воздухом [12]. Также, при рассмотрении влияния процесса адсорбции на качество пропитки обмоток электрических двигателей был сделан вывод о том, что при неучете адсорбции жидкости и газа происходит ухудшение растекания пропиточного состава по поверхности проводников обмотки, резкое снижение образования прочной адгезионной связи, снижение проникновения пропиточного состава внутрь тела обмотки. Удаление молекул воды и воздуха из трещин, пор и капилляров позволяет увеличить смачиваемую поверхность. Как показали исследования [8, 13, 14], добиться этого можно путем вакуумирования, используя зависимость температуры кипения жидкости от величины и скорости изменения давления.

Как известно, явление переноса энергии и вещества при сушке подчиняется общим закономерностям термодинамики необратимых процессов [15]. Исходя из общей теории систем, эти процессы можно объединить в одну систему, в следствии чего проявляется тесная внутренняя связь между абстрактной, сложной вероятностной системой и ее физической реализацией. Для изучения физической системы ее заменяют абстрактной системой с теми же отношениями, и задача становится чисто математической. Такого рода аналогия имеет место и в динамическом случае, где физическая система представляется системой дифференциальных уравнений.

Аналитическая задача, устанавливающая связь между временными и пространственными изменениями потенциалов переноса при сушке влажных капиллярно-пористых материалов, сформулирована на основе системы дифференциальных уравнений молярно-молекулярного тепломассопереноса, являющейся математической моделью процессов переноса при сушке [8]. При выводе системы

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОПИТКИ И СУШКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ

уравнений были сделаны следующие допущения:

- температура связанного вещества (влаги) равна температуре скелета тела;
- конвективный перенос – величина малая и ей можно пренебречь.

Анализ данной системы с учетом уравнения кинетики сушки позволил выделить три основных способа интенсификации процессов переноса вещества в теле обмотки: увеличение разности потенциалов $\langle t, \Delta u, \Delta p \rangle$, увеличение поверхности контактов материала с теплоносителем, увеличение кинетических коэффициентов (коэффициентов диффузии, сушки, тепло- и массопереноса) [8].

В результате решения системы дифференциальных уравнений молярно-молекулярного теплообмена в [8] была получена зависимость между безразмерными величинами U и P [12-14], которая при замене граничного условия третьего рода граничным условием первого рода будет иметь следующий вид:

$$U(X, Fo) = \frac{Pn \cdot Pd \cdot Lu}{Lu^2 - 1} \cdot F(\langle, Fo \rangle); \quad (8)$$

$$P(\langle, Fo \rangle) = Pd \cdot F(\langle, Fo \rangle); \quad (9)$$

$$F(\langle, Fo \rangle) = Fo + \frac{1}{2} \cdot (\langle^2 + 1) + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\cos g_m}{g_m^3 \cdot \langle^{2m+1}} \cdot \exp(\langle g_m^2 \cdot Fo \rangle) \quad (10)$$

Из приведенных выражений видно, что между безразмерными величинами U и P существует определенная связь:

$$U = \frac{Pn \cdot Lu}{Lu^2 - 1} \cdot P + 1, U = k_{c.e.} + 1. \quad (11)$$

Зависимость (11) справедлива для относительно больших значений критерия Фурье. Более точная связь между безразмерными потенциалами относительной концентрации и давления, позволяющая задавать рациональные режимы пропитки и сушки, будет иметь следующий вид [13, 14, 16]:

$$U(\langle, Fo \rangle) = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot \cos(\mu_n \cdot X)}{\mu_n \cdot \langle^{2n+1}} \times \exp(\langle \mu_n^2 \cdot Fo \rangle) \frac{Pn \cdot Lu}{Lu^2 - 1} \cdot P. \quad (12)$$

Непосредственное же определение и непрерывная регистрация массосодержания в процессе пропитки обмотки статора связаны с существенными трудностями. Используя **ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1-2 2009**

выражение (12) и зная критерии подобия Лыкова и Поснова, можно определить относительную безразмерную концентрацию U , регистрируя показания прибора контроля изменения вакуума в автоклаве, что означает, что по характеру изменения P , определяющего режим вакуумной пропитки и сушки, можно судить о значениях U [8].

Рассмотрим термовакuumный процесс сушки изоляции электродвигателей в математическом представлении. Решение системы дифференциальных уравнений молярно-молекулярного теплообмена при линейном характере сброса давления в упрощенном виде на основе предположений, что молекулярное слагаемое переноса вещества мало по сравнению с членом фазового перехода, и что за счет только конвективного подвода тепла при вакуумировании можно удалить из обмотки незначительную часть связанного вещества от всей удаляемой массы, можно представить как:

$$p_c(\langle) = p_0 - e_p \cdot \tau, \quad t_c(\langle) = t_c - e_p \cdot \tau. \quad (13)$$

На основе анализа полученных зависимостей был сделан вывод о том, что связь между безразмерной температурой и безразмерным потенциалом массосодержания имеет вид [8]:

$$U = \frac{1}{\langle - \& \rangle K_0} \cdot T. \quad (14)$$

Критерием K_0 в формуле (14) характеризуются компоненты связанного вещества в обмотке статора. Зная физические параметры удаляемого компонента из обмотки, критерий термомеханического увлечения и безразмерную температуру T , можно определить количество удаляемого компонента.

На основе рассмотренных решений математических моделей пропитки и сушки обмоток электрических двигателей был сделан вывод, что безразмерный потенциал массосодержания прямо пропорционален безразмерным величинам температуры и давления, а, следовательно, скорости их изменения [8]. То есть, за одинаковые промежутки времени безразмерная относительная концентрация больше изменится в том случае, в котором скорость изменения указанных величин выше.

Приведенные в [12, 17] параметры процесса восстановления электрической изоляции давали хорошие результаты при их использовании на макетах лобовых и пазовых частей обмоток. Однако, как показала практика, при глубине вакуума 1-100 мм рт. ст. и времени вакуумирования до 10 с, несмотря

на высокую степень проникновения лака и монолитность статорной обмотки, в межвитковом пространстве возникают некоторые неоднородности лакового покрытия, пористость. Практическая же реализация сделанных теоретических предпосылок позволила внести необходимые коррективы в выбор режимов термовакuumной пропитки и сушки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хомутов, О. И. Перспективные направления развития современных вакуумных безотходных технологий восстановления работоспособности электрических машин на стадии технического обслуживания и ремонта [Текст] / О. И. Хомутов, А. А. Сошников, С. О. Хомутов // Передовые технологии на пороге XXI века : Сборник тезисов докладов Международной конференции, посвященной 145-летию со дня рождения В.Г. Шухова. Ч. 1. – М. : Науч.-изд. центр "Инженер", 1998. – С. 326-328.
2. Хомутов, О. И. Анализ влияния адсорбции на пропитку обмоток электродвигателей [Текст] / О. И. Хомутов, В. В. Крайнев, Д. А. Мананников, С. О. Хомутов // Научно-техническое творчество студентов : Сборник тезисов докладов 56-ой научно-технической конференции студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава Алтайского государственного технического университета, посвященная 270-летию со дня рождения И.И. Ползунова. Ч. 1. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1998. – С. 136-137.
3. Захарченко, В. Н. Коллоидная химия [Текст] / В. Н. Захарченко. – М. : Высшая школа, 1989. – 238 с.
4. Адамсон, А. Физическая химия поверхностей [Текст] / А. Адамсон. – М. : Мир, 1979. – 568 с.
5. Фролов, Ю. Г. Курс коллоидной химии [Текст] / Ю. Г. Фролов. – М. : Химия, 1982. – 400 с.
6. Берлин, А. А. Основы адгезии полимеров [Текст] / А. А. Берлин, В. Е. Басин. – М. : Химия, 1974. – 404 с.
7. Тагер, А. А. Физико - химия полимеров [Текст] / А. А. Тагер. – М. : Госхимиздат, 1968. – 598 с.
8. Хомутов, С. О. Повышение эффективности восстановления и ремонта изоляции электродвигателей в агропромышленном комплексе : Дис. ... канд. техн. наук / Хомутов Станислав Олегович. – Барнаул, 1999. – 260 с.
9. Хомутов, С. О. Исследование и анализ влияния технологических параметров на качество пропитки и сушки изоляции электрических машин [Текст] / С. О. Хомутов // Наука, техника, образование : Межвузовский сборник научных трудов. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1998. – С. 61-66.
10. Кельцев, Н. В. Основы адсорбционной техники [Текст] / Н. В. Кельцев. – М. : Химия, 1984. – 350 с.
11. Филиппов, Ю. В. Физическая химия [Текст] / Ю. В. Филиппов, М. П. Попович. – М. : Изд-во МГУ, 1980. – 400 с.
12. Хомутов, О. И. Система технических средств и мероприятий повышения эксплуатационной надежности изоляции электродвигателей, используемых в сельскохозяйственном производстве : Дис. ... док. техн. наук / Хомутов Олег Иванович. – Челябинск, 1990. – 450 с.
13. Исследование надежности электрооборудования и разработка энергосберегающих, экологически чистых технологий его восстановления : Отчет о НИР (заключит.) / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова; руководитель О. И. Хомутов. – № ГР 01970000744; Инв. № 02990001280. – Барнаул, 1999. – 221 с.
14. Хомутов, О. И. Эксплуатация, диагностика и ремонт изоляции электрических машин : Учеб. пособие для студентов вузов [Текст] / О. И. Хомутов, В. И. Сташко, С. О. Хомутов. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1999. – 146 с.
15. Лыков, А. В. О системах диффузионных уравнений тепломассопереноса в капиллярно - пористых телах [Текст] / А. В. Лыков // ИФЖ. – М. : Химия, 1974. – Т.16. – С. 18-24.
16. Хомутов, С. О. Предпосылки к созданию перспективных направлений повышения эффективности процессов пропитки и сушки [Текст] / С. О. Хомутов // Наука, техника, образование : Межвузовский сборник научных трудов. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1998. – С. 73-76.
17. Хомутов, О. И. Совершенствование технологии ремонта электрических машин [Текст] / О. И. Хомутов. – М. : Росагропромиздат, 1990. – 63 с.