

ОБОБЩАЮЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЕЁ ПРОПИТКИ И СУШКИ

А.А. Грибанов, С.О. Хомутов

Обеспечение современных предприятий надёжными машинами на основе совершенствования производственных технологий – одно из приоритетных направлений приложения сил учёных-прикладников и товаропроизводителей.

Среди электрических машин наибольшее распространение на различных предприятиях получили асинхронные двигатели (АД). Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о всё ещё низкой надёжности изоляции обмотки статора [1, 2]. Одним из способов создания определённого ресурса её работы является пропитка и сушка обмоток [3, 4]. Дальнейший рост технического совершенства указанных мероприятий может быть достигнут двумя путями: разработкой технологий, основанных на не используемых до настоящего времени физико-химических закономерностях, и повышением эффективности используемых. Последнее может быть реализовано с помощью оптимизации параметров технологического процесса. Для успешного решения задачи оптимизации необходимо правильно выбрать критерии оптимизации и осуществить постановку задачи.

Показатели эффективности бывают трёх видов: технико-технологические (физические, механические, физико-химические характеристики продукта, выход продукта), технико-экономические (производительность, надёжность, к.п.д., долговечность), экономические (прибыль, себестоимость, рентабельность) и прочие (психологические, статистические и эстетические показатели) [5].

Применительно к технологиям пропитки и сушки изоляции электродвигателей наиболее приемлемым будет использование технико-технологических (характеристики состояния изоляции АД, время достижения заданных значений параметров состояния изоляции) и экономических (себестоимость) показателей. При описании процессов старения изоляции необходимо использовать технико-технологические (характеристики состояния электроизоляционной системы АД), технико-

экономические (надёжность, к.п.д., долговечность) и экономические (эксплуатационные затраты, ущербы, единые экономические показатели) показатели [4].

В широком смысле под качеством подразумевается либо совокупность существенных признаков, свойств, особенностей, отличающих предмет или явление от других и придающих ему определённую, либо свойство, признак, определяющий достоинство чего-либо. В нашем случае для оценки качества будем использовать значения параметра или группы параметров, количественно характеризующих состояние изоляции обмотки статора АД.

Поскольку технологический процесс ремонта электродвигателей состоит из нескольких этапов, то целесообразно производить оценку качества как по отдельным этапам, так и по группам этапов, в том числе и по всему процессу. Вызвано это тем, что очень часто бывает необходимо знать получаемое качество для сравнения нескольких технологий поэтапно, а также для проведения локальной оптимизации как параметров используемых методов (выбора наилучшего метода), так и режимов работы технологической установки [4].

В процессе проведения технологических операций ремонта электродвигателей измеряются некоторые величины, которые мы будем называть частными показателями качества. Каждый из частных показателей качества является характеристикой успешности выполняемых операций технологического процесса.

В силу того, что на разных этапах реализации технологии ремонта используются различные физические процессы, то и частные показатели качества будут присущими только конкретному этапу, либо комбинации этапов. В то же время два технологических этапа (сушка до пропитки и сушка после пропитки) имеют одинаковую физическую природу, вследствие чего описываются одними и теми же частными показателями качества. Поэтому необходимо ввести обозначения, позво-

ОБОБЩАЮЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЕЁ ПРОПИТКИ И СУШКИ

ляющие различать схожие частные показатели качества, характеризующие разные этапы технологического процесса. Для этого введём индексацию стадий. Первому этапу (деструкции) будет соответствовать индекс I, второму (конструкции) - II, третьему (сушки до пропитки) - III, четвертому (пропитки) - IV, пятому (сушки после пропитки) - V, комбинации первого и второго (деструкции и конструкции) - I+II, комбинации третьего и четвертого (сушки до пропитки и пропитки) - III+IV, комбинации четвертого и пятого (пропитки и сушки после пропитки) - IV+V, комбинации третьего, четвертого и пятого (сушки до пропитки, пропитки и сушки после пропитки) - III+IV+V, комбинации второго, третьего, четвертого и пятого (конструкции, сушки до пропитки, пропитки и сушки после пропитки) - II+III+IV+V, всему технологическому процессу - I+II+III+IV+V [4].

Основной интерес представляет технический аспект использования тех или иных показателей качества.

Все показатели качества можно разделить на электрические и неэлектрические величины. К электрическим величинам отнесём сопротивление витковое и корпусное, корпусную ёмкость и т.п. К неэлектрическим величинам отнесём глубину проникновения лака в обмотку, лакопоглощение, влагоудаление, коэффициент пропитки и т.п.

Результаты исследований, приведённые в [3], позволяют использовать для оценки каждого этапа технологического процесса следующие показатели. Качество выполнения обмоточно-изолирующих работ может быть оценено следующими величинами: сопротивлением изоляции относительно корпуса R_k и межвитковым сопротивлением $R_в$. Этапы сушки до пропитки и сушки после пропитки сходны по протекающим физическим процессам. Поэтому для них будут характерны одни и те же критерии качества: R_k , $R_в$, величина влагоудаления Δw , коэффициент пропитки K_p . Качество пропитки может быть оценено следующими частными показателями качества: глубиной проникновения лака h , лакопоглощением w , коэффициентом пропитки K_p .

При оценивании качества изоляции по группе этапов следует пользоваться следующим правилом: эффективность выполнения операций последующего этапа зависит от качества выполнения операций предыдущего этапа. Следовательно, качество изоляции по группам этапов может быть оценено с помощью показателей качества последнего этапа из выбранной группы.

Оценивание качества изоляции, обеспечиваемого всеми этапами технологии, заслуживает особого рассмотрения. Вызвано это тем, что проверить состояние изоляции обмотки можно рядом критериев, применяемых как для определения эффективности сушки после пропитки, так и для оценки состояния изоляции электрических машин. Кроме того, можно ввести ряд новых критериев, использовавшихся для оценки качества отдельных этапов технологии. В качестве частных показателей качества примем [4]: межвитковое сопротивление $R_{вI+II+III+IV+V}$, сопротивление изоляции относительно корпуса $R_{кI+II+III+IV+V}$, пробивное напряжение корпусное $U_{пк}$, пробивное напряжение витковое $U_{пв}$, влагоудаление $\Delta w_{I+II+III+IV+V}$, ёмкостный параметр ΔC_k .

При сравнении обеспечиваемого качества различными технологиями мы имеем дело с целым набором показателей качества. Если по всем показателям один из вариантов оказывается предпочтительнее другого, проблема выбора решается однозначно. В противном случае следует осуществлять свёртывание векторного критерия, состоящего из частных критериев качества, в единый скалярный критерий. Выбор наилучшего варианта с помощью такого критерия осуществляется по принципу «больше (меньше) – лучше» [3].

В настоящее время существуют стандартные решения таких задач. Первоначально необходимо определить области возможного изменения частных критериев качества, в которой целесообразно вести поиск оптимальных решений [6]. Традиционно эта проблема решается простым назначением ряда подлежащих рассмотрению вариантов. Но даже при небольшом количестве анализируемых вариантов, для каждого из которых имеется векторный показатель эффективности, интуитивный выбор одной из стратегий без использования единого скалярного критерия редко может привести к наилучшему результату [7].

Следующим шагом при многокритериальном выборе является нормирование частных критериев качества. Нормирование – это выражение численных значений всех частных показателей качества в относительных единицах и в одном масштабе [3, 7]. Необходимость нормирования обусловлена тем, что численные значения частных критериев качества отличаются единицами измерения и порядком величин, что затрудняет последующие операции с этими критериями [7].

Для некоторого критерия, состоящего из частных критериев ζ_r ($r = \overline{1, n}$), наиболее часто используют следующие способы нормирования [7]:

естественное:

$$\frac{\zeta_r - \zeta_{r \min}}{\zeta_{r \max} - \zeta_{r \min}} = \bar{\zeta}_r ; \quad (1)$$

по Сэвиджу:

$$\frac{\zeta_{r \max} - \zeta_r}{\zeta_{r \max} - \zeta_{r \min}} = \bar{\zeta}_r ; \quad (2)$$

относительное:

$$\frac{\zeta_r}{\zeta_{r \max}} = \bar{\zeta}_r ; \quad \frac{\zeta_r}{\zeta_{r \min}} = \bar{\zeta}_r , \quad (3)$$

где ζ_r - значение r -го критерия для одного из рассматриваемых решений [7].

Например, в состав некоторого нормированного векторного критерия эффективности Z могут входить n компонентов:

$$\bar{\zeta} = \frac{\zeta_r - \zeta_{r \min}}{\zeta_{r \max} - \zeta_{r \min}} , \quad (4)$$

при этом численные нормированные значения частных критериев качества лежат в интервале от 0 до 1 [7].

Для преобразования векторного критерия, который состоит из нормированных значений частных критериев, в скалярный целесообразно использовать принцип справедливого компромисса или справедливой уступки, имеющего два вида: справедливой абсолютной уступки и справедливой относительной уступки [6].

В результате проведенных исследований в работе [7] получены аддитивные и мультипликативные критерии оптимальности. При этом аддитивный критерий оптимальности равен

$$Z = \sum_{r=1}^n \bar{\zeta}_r \rightarrow \max , \quad (5)$$

а мультипликативный –

$$Z = \prod_{r=1}^n \bar{\zeta}_r . \quad (6)$$

В этой работе аддитивные и мультипликативные критерии оптимальности были получены на основе применения принципа справедливого компромисса. К этим же критериям приводят и аксиоматические методы оценки многокритериальных решений [8], основанные на использовании функции полезности, существование которой доказывается путем введения ряда аксиом [7].

Относительная строгость и логичность свёртки векторного критерия при использова-

нии формул (5) и (6) имеет место в случае одинаковой важности всех частных критериев. В случае необходимости учёта их приоритета формально это достигается введением в мультипликативный критерий показателей важности α_r , а в аддитивный критерий – коэффициентов важности λ_r :

$$\Omega = \prod_{r=1}^n (\bar{\zeta}_r)^{\alpha_r} \quad (7)$$

или

$$\Omega = \sum_{r=1}^n \lambda_r \bar{\zeta}_r , \quad \sum_{r=1}^n \lambda_r = 1 . \quad (8)$$

В то же время при таких преобразованиях логическое обоснование использования принципа справедливого компромисса (и, следовательно, методов свёртки) становится затруднительным [9].

Применение единого скалярного критерия в аддитивной или мультипликативной форме упрощает задачу выбора решения. Вместе с тем многие исследователи справедливо указывают на серьезные недостатки, присущие аддитивному и мультипликативному критериям. Их общим недостатком является то, что в них происходит взаимная компенсация частных критериев [7]. Влияние взаимной компенсации частных критериев можно ослабить путём введения показателей или коэффициентов важности. Их значения определяют с помощью экспертных оценок. Наиболее простой способ заключается в ранжировании экспертами этих коэффициентов и последующее преобразование присвоенных коэффициентам рангов в значения коэффициентов важности. Для этого можно, например, использовать следующие формулы [7]:

$$\beta_i = i \cdot 2^{1-i} , \quad (9)$$

или

$$\beta_i = 1 - \frac{i-1}{n} , \quad (10)$$

где n - общее число частных критериев.

В работе [3] проведено исследование, в результате которого получен ряд выражений для определения суммарных показателей качества из частных критериев качества при необходимости осуществления оптимизации с использованием стратегий максимизации суммарного показателя качества или минимизации времени достижения заданного значения каждым частным показателем качества.

В этой работе в качестве основного способа нормирования выбрано естественное, выражаемое формулой [7]:

ОБОБЩАЮЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЕЁ ПРОПИТКИ И СУШКИ

$$\frac{\zeta_r - \zeta_{r \min}}{\zeta_{r \max} - \zeta_{r \min}} = \bar{\zeta}_r, \quad (11)$$

где ζ_r - значение r -го критерия для одного из рассматриваемых решений;

$\zeta_{r \max}$ - максимальное значение, принимаемое r -м критерием;

$\zeta_{r \min}$ - минимальное значение, принимаемое r -м критерием.

В случае $\zeta_{r \min}=0$ для естественного нормирования справедлива формула одного из относительных способов нормирования [7]:

$$\frac{\zeta_r}{\zeta_{r \max}} = \bar{\zeta}_r. \quad (12)$$

В общем виде формулы для нахождения суммарных показателей качества выглядят следующим образом [3]:

для стратегии определения времени достижения фиксированных значений частных показателей качества

$$\tau_{\Sigma i} = \sum_{j=1}^n \tau_{ji} \lambda_{ji}; \quad (13)$$

для стратегии максимизации качества

$$q_{\Sigma i} = \sum \lambda_{ji} \frac{q_{ji} - q_{ji \min}}{q_{ji \max} - q_{ji \min}}; \quad (14)$$

где $\tau_{\Sigma i}$ - суммарный критерий качества для стратегии определения времени достижения установленных значений частных критериев качества;

τ_{ji} - время достижения установленного значения j -м частным показателем качества;

λ_{ji} - коэффициент важности частного показателя качества;

$q_{\Sigma i}$ - суммарный критерий качества для стратегии максимизации качества;

q_{ji} - значение j -го частного показателя качества;

$q_{ji \max}$ - максимально возможное значение, принимаемое j -м частным показателем качества;

$q_{ji \min}$ - минимально возможное значение, принимаемое j -м частным показателем качества;

n - количество частных показателей качества;

i - номер используемой технологии.

Распишем формулы (13) и (14) для каждого этапа, группы этапов и всего технологического процесса ремонта ЭД с учетом используемых стратегий.

Формулы для нахождения суммарных показателей качества по отдельным этапам выглядят следующим образом:

для этапа конструкции

$$q_{\Sigma iII} = \lambda_{R_{\theta}II} \frac{R_{\theta}II}{R_{\theta \max II}} + \lambda_{R_{\kappa}II} \frac{R_{\kappa}II}{R_{\kappa \max II}}; \quad (15)$$

для этапа сушки до пропитки

$$\tau_{\Sigma iIII} = \lambda_{R_{\kappa}III} \tau_{R_{\kappa}iIII} + \lambda_{R_{\theta}III} \tau_{R_{\theta}iIII} + \lambda_{K_{n}III} \tau_{K_{n}iIII} + \lambda_{\Delta wIII} \tau_{\Delta w iIII}; \quad (16)$$

для этапа пропитки

$$q_{\Sigma iIV} = \lambda_{hIV} \frac{h_{iIV}}{h_{\max IV}} + \lambda_{wIV} \frac{w_{iIV}}{w_{\max IV}} + \lambda_{K_{n}IV} \frac{K_{niIV}}{K_{n \max IV}}; \quad (17)$$

для этапа сушки после пропитки

$$\tau_{\Sigma iV} = \lambda_{R_{\kappa}V} \tau_{R_{\kappa}iV} + \lambda_{R_{\theta}V} \tau_{R_{\theta}iV} + \lambda_{\Delta wV} \tau_{\Delta w iV}. \quad (18)$$

Для комбинаций стадий технологии будут использоваться следующие выражения:

для комбинации деструкции и конструкции

$$q_{\Sigma iI+II} = \lambda_{R_{B}I+II} \frac{R_{B}I+II}{R_{B \max I+II}} + \lambda_{R_{K}I+II} \frac{R_{K}I+II}{R_{K \max I+II}}; \quad (19)$$

для комбинации сушки до пропитки и пропитки

$$q_{\Sigma iIII+IV} = \lambda_{hIII+IV} \frac{h_{iIII+IV}}{h_{\max III+IV}} + \lambda_{wIII+IV} \times \times \frac{w_{iIII+IV}}{w_{\max III+IV}} + \lambda_{K_{n}III+IV} \frac{K_{niIII+IV}}{K_{n \max III+IV}}; \quad (20)$$

для комбинации пропитки и сушки после пропитки при использовании стратегии минимизации времени достижения установленных значений частных показателей качества

$$\tau_{\Sigma iIV+V} = \lambda_{R_{\kappa}IV+V} \tau_{R_{\kappa}iIV+V} + \lambda_{R_{\theta}IV+V} \tau_{R_{\theta}iIV+V} + \lambda_{\Delta wIV+V} \tau_{\Delta w iIV+V}; \quad (21)$$

для комбинации пропитки и сушки после пропитки при использовании стратегии максимизации качества

$$q_{\Sigma IV+V} = \lambda_{R_{kIV+V}} \frac{R_{kiIV+V}}{R_{k \max IV+V}} + \lambda_{R_d IV+V} \times$$

$$\times \frac{R_{eiIV+V}}{R_{e \max IV+V}} + \lambda_{\Delta w IV+V} \frac{\Delta w_{iIV+V}}{\Delta w_{\max IV+V}}; \quad (22)$$

для комбинации сушки до пропитки, пропитки и сушки после пропитки при использовании стратегии максимизации качества

$$q_{\Sigma III+IV+V} = \lambda_{R_{kIII+IV+V}} \frac{R_{kiIII+IV+V}}{R_{k \max III+IV+V}} +$$

$$+ \lambda_{R_{eIII+IV+V}} \frac{R_{eiIII+IV+V}}{R_{e \max III+IV+V}} + \lambda_{U_{nk}} \frac{U_{nki}}{U_{nk \max}} +$$

$$+ \lambda_{U_{ne}} \frac{U_{nei}}{U_{ne \max}} + \lambda_{\Delta C_k} \frac{\Delta C_{ki}}{\Delta C_{k \max}} +$$

$$+ \lambda_{\Delta w III+IV+V} \frac{\Delta w_{iIII+IV+V}}{\Delta w_{\max III+IV+V}}; \quad (23)$$

для комбинации сушки до пропитки, пропитки и сушки после пропитки при использовании стратегии минимизации времён достижения фиксированных значений частных показателей качества

$$\tau_{\Sigma III+IV+V} = \lambda_{R_{kIII+IV+V}} \tau_{R_{kiIII+IV+V}} +$$

$$+ \lambda_{R_{eIII+IV+V}} \tau_{R_{eiIII+IV+V}} + \lambda_{U_{nk}} \tau_{U_{nki}} + \lambda_{U_{ne}} \times$$

$$\times \tau_{U_{nei}} + \lambda_{\Delta C_k} \tau_{\Delta C_{ki}} + \lambda_{\Delta w III+IV+V} \tau_{\Delta w_{iIII+IV+V}}; \quad (24)$$

для всего технологического процесса при использовании стратегии максимизации качества

$$q_{\Sigma I+II+III+IV+V} = \lambda_{R_{kI+II+III+IV+V}} \times$$

$$\times \frac{R_{kiI+II+III+IV+V}}{R_{k \max I+II+III+IV+V}} + \lambda_{R_{eI+II+III+IV+V}} \times$$

$$\times \frac{R_{eiI+II+III+IV+V}}{R_{e \max I+II+III+IV+V}} + \lambda_{U_{nk}} \frac{U_{nki}}{U_{nk \max}} +$$

$$+ \lambda_{U_{ne}} \frac{U_{nei}}{U_{ne \max}} + \lambda_{\Delta C_r} \frac{\Delta C_{ki}}{\Delta C_{k \max}} +$$

$$+ \lambda_{\Delta w I+II+III+IV+V} \frac{\Delta w_{iI+II+III+IV+V}}{\Delta w_{\max I+II+III+IV+V}}; \quad (25)$$

для всего технологического процесса при использовании стратегии минимизации времён достижения фиксированных значений частных показателей качества

$$\tau_{\Sigma I+II+III+IV+V} = \lambda_{R_{kI+II+III+IV+V}} \times$$

$$\times \tau_{R_{kiI+II+III+IV+V}} + \lambda_{R_{eI+II+III+IV+V}} \times$$

$$\times \tau_{R_{eiI+II+III+IV+V}} + \lambda_{U_{nk}} \tau_{U_{nki}} +$$

$$+ \lambda_{U_{ne}} \tau_{U_{nei}} + \lambda_{\Delta C_k} \tau_{\Delta C_{ki}} +$$

$$+ \lambda_{\Delta w I+II+III+IV+V} \tau_{\Delta w_{iI+II+III+IV+V}}.$$

Таким образом, определены суммарные показатели качества по отдельным этапам, группам этапов и всему технологическому процессу ремонта электродвигателей при использовании стратегий максимизации качества и минимизации времени достижения фиксированных значений частных показателей качества.

Однако в работе [3] предлагается и другой способ определения качества изоляции, обеспечиваемого группой этапов технологии. Он заключается в суммировании вкладов в качество группы этапов от каждого отдельного этапа технологии. В данном случае имеет место аналогия с определением суммарного показателя качества, только суммарные показатели качества каждого из этапов выступают в роли частных критериев качества. В этом случае также возникают проблемы ранжирования и нормирования суммарных показателей качества.

Проблема нормирования возникает в том случае, когда величины, от которых находят вклады во что-то общее, имеют различные размерности. В нашем случае такое возможно, когда для нахождения суммарных показателей качества использовалась для одного или нескольких технологических этапов стратегия максимизации качества, а для другого этапа – стратегия минимизации времени достижения установленного значения частных критериев качества. В результате применения стратегии максимизации качества суммарный критерий качества выражается в относительных единицах, а при использовании стратегии минимизации времени достижения фиксированного значения частного критерия качества – в часах. В первом случае нормирование можно не производить, поскольку величина уже выражена в относительных единицах, а во втором случае оно является обязательным [4].

Проблема взаимосвязи критериев с различным видом экстремума решается путём преобразования характеристики, подвергавшейся минимизации, к характеристике с результатом максимизации и наоборот. Наиболее целесообразным представляется сведе-

ОБОБЩАЮЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЕЁ ПРОПИТКИ И СУШКИ

ние как стратегии максимизации, так и стратегии минимизации к общей стратегии максимизации качества. В пользу этого свидетельствуют следующие факты:

а) качество стремятся повысить, и чем больше показатели качества, тем лучше для потребителя;

б) в стратегии минимизации наилучшим считается вариант с меньшей величиной сравниваемого параметра, что не соответствует физическому смыслу качества продукции.

Одним из вариантов такого преобразования может служить особый метод нормирования, такой как нормирование по Сэвиджу, описываемый формулой (11).

Как и для суммарного критерия качества требуется найти вклад в показатель качества группы этапов всех составляющих. Для этого необходимо ввести коэффициенты важности каждого из этапов технологии при определении качества комбинации фаз процесса.

Учитывая изложенное выше соотношение для определения показателей качества по группам этапов примут следующий вид:

для сушки до пропитки и пропитки

$$q_{\Sigma iIII+IV} = \gamma_{III+IV}^{III} \frac{\tau_{\Sigma \max III} - \tau_{\Sigma iIII}}{\tau_{\Sigma \max III} - \tau_{\Sigma \min III}} + \gamma_{III+IV}^{IV} q_{\Sigma iIV}; \quad (27)$$

для пропитки и сушки после пропитки

$$q_{\Sigma iIV+V} = \gamma_{IV+V}^{IV} q_{\Sigma iIV} + \gamma_{IV+V}^V \frac{\tau_{\Sigma \max V} - \tau_{\Sigma iV}}{\tau_{\Sigma \max V} - \tau_{\Sigma \min V}}; \quad (28)$$

для всего технологического процесса

$$q_{\Sigma iIII+IV+V} = \gamma_{III+IV+V}^{III} \frac{\tau_{\Sigma \max III} - \tau_{\Sigma iIII}}{\tau_{\Sigma \max III} - \tau_{\Sigma \min III}} + \gamma_{III+IV+V}^{IV} q_{\Sigma iIV} + \gamma_{III+IV+V}^V \frac{\tau_{\Sigma \max V} - \tau_{\Sigma iV}}{\tau_{\Sigma \max V} - \tau_{\Sigma \min V}}. \quad (29)$$

Таким образом, мы получили ряд выражений, позволяющих сравнивать получаемое

качество не только по отдельным этапам, но и по всей технологии в целом.

Работа проведена при финансовой поддержке Минобразования России в рамках конкурса 2003 года «Студенты, аспиранты и молодые учёные – малому наукоёмкому бизнесу «Ползуновские гранты».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Разработка основ проектирования и технологии производства систем изоляции низковольтных обмоток электрооборудования: Отчёт по НИР (заключит.) /Томский политехн. ун-т; Руководитель Ю.П. Похолков. – № ГР01960008019; Инв. №02990003905. – Томск, 1999. – 58 с.
3. Хомутов С.О. Повышение эффективности восстановления и ремонта изоляции электродвигателей в агропромышленном комплексе: Дис ... канд. техн. наук. – Барнаул, 1999.
4. Грибанов А.А. Обоснование параметров технологических процессов пропитки и сушки изоляции асинхронных электродвигателей, используемых в агропромышленном комплексе: Дисс. ... канд. техн. наук; Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2001. – 168 с.
5. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
6. Брахман Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. – М.: Радио и связь, 1984.
7. Левин М.С., Лещинская Т.Б. Методы теории решений в задачах оптимизации систем электроснабжения: Учебное пособие /Под ред. акад. ВАСХНИЛ И.А. Будзко. – М.: ВИПКэнерго, 1989. – 130 с.: ил.
8. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений. – М.: Наука, 1979.
9. Исследование операций. Методологические аспекты. – М.: Наука, 1972.