

## ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Т.Е. Годацкая, А.А. Грибанов, О.И. Хомутов, С.О. Хомутов

*В статье рассмотрено применение теории информации для получения количественной характеристики информативности диагностики изоляции асинхронных двигателей при использовании различных диагностических методов и параметров. Рассмотрены задачи получения информации о состоянии всей электроизоляционной системы по информации о её определённом элементе, а также оценена возможность диагностики элемента электроизоляционной системы при измерении параметров, характеризующих другой её элемент. Приведены результаты статистических исследований по сравнению достоверности информации, получаемой с помощью различных методов диагностики изоляции электродвигателей.*

*Ключевые слова:* асинхронный двигатель, изоляция, диагностика.

Современная экономика построена по принципу полного использования всех имеющихся средств и ресурсов для достижения максимального эффекта. Этот эффект, как правило, выражается в денежном эквиваленте в виде прибыли. Прибыль будет тем больше, чем больше разница между издержками и суммой выручки. Это прямо связано с жёсткой эксплуатацией различного технологического оборудования. Как правило, это оборачивается снижением работоспособности отдельных элементов и оборудования в целом и, как следствие, преждевременным выходом его из строя. Аварийная остановка технологического процесса приводит к ущербу, связанному не только с необходимостью ремонта или закупки нового оборудования, но и с невыпуском продукции, а значит недополучением прибыли. Поэтому вопросам рациональной организации эксплуатации технологических машин и механизмов в условиях рыночной экономики должно уделяться особое внимание.

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, как наиболее распространённый вид электрооборудования, задействованного в различных технологических процессах, также нуждаются в систематическом уходе и обслуживании. Однако экономические требования поставили под сомнение целесообразность использования системы планово-предупредительных ремонтов в том виде, в котором она использовалась в условиях плановой экономики из-за высокой затратности. В связи с этим в настоящее время актуальным является переход к новой более экономически и технически обоснованной системе обслуживания оборудования [1].

Одной из наиболее приемлемых альтернатив является использование принципа обслуживания «по состоянию». Согласно основной концепции этого принципа для принятия решения о необходимости выполнения каких-либо восстановительных и ремонтных работ следует иметь оперативную информацию о техническом состоянии узлов или двигателя в целом. Поэтому и стоит задача выбора метода диагностики для получения информации о техническом состоянии с заданной достоверностью.

В настоящее время на практике получил распространение ряд методов оценки технического состояния изоляции. Каждый из них основан на определённых физических принципах, в связи с чем может характеризовать техническое состояние электроизоляционной системы лишь только в определённом объёме. Другими словами, при использовании одного метода диагностики не удаётся получить исчерпывающую информацию о состоянии изоляции. В общем случае информация, полученная при использовании того или иного метода, может быть определена по выражению [2]

$$J = H - H^*, \quad (1)$$

где  $H$  – начальная энтропия электроизоляционной системы;

$H^*$  – энтропия электроизоляционной системы после получения информации.

Энтропия характеризует степень неопределённости электроизоляционной системы. Чем меньше в нашем распоряжении информации о системе, тем большей энтропией она обладает. В ходе проведения диагностики энтропию пытаются как можно больше снизить. Для этого можно использовать способ, по которому диагностика проводится не-

## ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

сколькими методами одновременно (с измерением диагностических параметров, используемых различными методами, через малые промежутки времени, за которые получаемая информация не может быть полностью обработана) или последовательно (с измерением диагностических параметров, используемых различными методами, через сравнительно большие промежутки времени, когда оценена информация, полученная с помощью предыдущего измерения). В первом случае информация, получаемая с помощью ряда методов диагностики, часто дублируется и встаёт задача оценки доли информации, которую несёт каждый диагностический параметр. Во втором случае основная доля информации о состоянии электроизоляционной системы может быть получена при измерении первого диагностического параметра. Последующие измерения других диагностических параметров способствуют лишь повышению общей доли информации о системе. В общем случае на настоящем этапе развития науки достижимые значения  $H=0$  не представляется возможным. Поэтому информация о состоянии электроизоляционной системы носит вероятностный характер [3].

Как известно, техническая диагностика основана на связи двух статических систем, которыми являются система диагнозов и система признаков [2]. Анализ используемых на практике методов диагностики изоляции показывает, что все они могут давать информацию лишь о какой-то определённой части электроизоляционной системы. Поэтому целесообразно произвести выделение в общей системе трёх подсистем: изоляции обмотки относительно корпуса, междуфазной изоляции и междувитковой изоляции.

Из приведённой структуры видно, что при использовании технических средств можно получить значения диагностических параметров. На практике используется сравнительно много диагностических параметров и их количество возрастает. При внедрении технических устройств и методик диагностики, использующих эти параметры, встаёт проблема сопоставления их измеряемых значений с диагнозами (отдельными состояниями) электроизоляционной системы. Эта проблема решается путём использования методов разделения диагнозов в пространстве признаков, для чего используются различные обучающие последовательности, основанные на результатах проведённых экспериментальных исследований.

Целью использования диагностического пространства является минимизация рассматриваемых параметров при сохранении получаемой с их помощью информации. Для этого в рассмотрение вводятся обобщающие диагностические параметры, которые могут быть получены путём суммирования измеряемых диагностических параметров с учётом их ранжирования и нормирования при использовании критериев аддитивности или мультипликативности.

Как уже было показано выше, информация о техническом состоянии электроизоляционной системы имеет вероятностный характер. Получим выражение для определения энтропии системы при наблюдении за состоянием отдельных её составляющих.

Введём следующие обозначения:  $M$  – электроизоляционная система,  $A$  – изоляция обмоток относительно корпуса,  $B$  – междуфазная изоляция,  $C$  – междувитковая изоляция.  $A, B, C$  – статические зависимые системы. В соответствии с общим определением энтропии будем иметь [2]

$$H(M) = H(ABC) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r P(A_i B_j C_k) \ln P(A_i B_j C_k), \quad (2)$$

где  $P(A_i B_j C_k)$  – вероятность одновременного возникновения соответствующих состояний систем  $A, B$  и  $C$ ;

$n, m, r$  – соответственно, количество возможных состояний изоляции обмотки относительно корпуса, междуфазной изоляции и междувитковой изоляции.

Представив  $P(A_i B_j C_k) = P(A_i) P(B_j C_k / A_i)$ , получим

$$H(ABC) = H(A) + H(BC / A), \quad (3)$$

где

$$H(BC / A) = \sum_{i=1}^n (P(A_i) H(BC / A_i)) =$$

$$= - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r P(A_i) P(B_j C_k / A_i) \ln P(B_j C_k / A_i), \quad (4)$$

$$P(B_j C_k / A_i) = P(B_j / A_i) P(C_k / A_i B_j); \quad (5)$$

$P(B_j / A_i)$  – вероятность наступления  $j$ -го состояния междуфазной изоляции после наступления  $i$ -го состояния изоляции обмотки относительно корпуса;

$P(C_k / A_i B_j)$  – вероятность наступления  $k$ -го состояния междувитковой изоляции после одновременного наступления  $i$ -го состояния изоляции обмотки относительно корпуса и  $j$ -го состояния междуфазной изоляции.

Учитывая (5), получим

$$H(BC/A) = H(B/A) + H(C/AB), \quad (6)$$

где

$$H(C/AB) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r P(A_i)P(B_j/A_i)H(C_k/A_iB_j). \quad (7)$$

Подставив (6) в выражение (3) получим  

$$H(M) = H(ABC) = H(A) + H(B/A) + H(C/AB). \quad (8)$$

Выражение (8) показывает, что структуры формул для определения энтропии и для определения вероятности совместного появления событий совпадают. При использовании для определения энтропии суммы вероятностей отдельных событий логарифм условной вероятности события суммируется по всем состояниям системы:

$$H(C/AB) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r P(A_iB_jC_k) \ln P(C_k/A_iB_j); \quad (9)$$

$$H(AB/C) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r P(A_iB_jC_k) \times \ln P(A_iB_j/C_k); \quad (10)$$

$$H(A) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r P(A_iB_jC_k) \ln P(A_i) = -\sum_{i=1}^n P(A_i) \ln P(A_i). \quad (11)$$

Очень часто информация относительно системы  $M$  получается с помощью наблюдения за другими, связанными с ней системами  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Обычно элементы электроизоляционной системы позволяют дать информацию о состоянии всей системы. Так, например, среднюю величину информации, которую можно получить обо всей электроизоляционной системе  $M$  при диагностировании корпусной изоляции  $A$  (информативность системы  $A$  относительно системы  $M$ ) можно получить из равенства

$$J_M(A) = H(M) - H(M/A). \quad (12)$$

В правой части последнего соотношения содержится разность первоначальной энтропии системы  $M$  и её энтропии, после того как стало известным состояние системы  $A$ .

На практике может встречаться и другая задача. Она связана с определением информативности одной системы относительно другой. Например, по состоянию изоляции обмотки относительно корпуса необходимо сделать выводы о состоянии межвитковой изоляции. В этом случае необходимо знать информативность корпусной изоляции относительно межвитковой изоляции. В этом случае следует пользоваться выражением

$$J_C(A) = H(C) - H(C/A). \quad (13)$$

При этом необходимо учитывать, что  

$$J_A(C) = J_C(A). \quad (14)$$

Выражение (14) описывает важное свойство взаимности информации.

Так как

$$J(M/A) = H(M/A) - H(A), \quad (15)$$

то из формулы

$$J_M(A) = H(A) - H(M/A) \quad (16)$$

вытекает важное соотношение

$$J_M(A) = H(M) + H(A) - H(M/A). \quad (17)$$

Принимая во внимание зависимость

$$H(M/A) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(M_iA_j) \ln P(M_iA_j), \quad (18)$$

получим:

$$J_M(A) = -\sum_{i=1}^n P(M_i) \ln P(M_i) - \sum_{j=1}^m P(A_j) \ln P(A_j) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (M_iA_j) \ln P(M_iA_j). \quad (19)$$

Если учесть равенства

$$P(M_i) = \sum_{j=1}^m (M_iA_j); \quad (20)$$

$$P(A_i) = \sum_{j=1}^m (M_iA_j), \quad (21)$$

то

$$J_M(A) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(M_iA_j) \ln P(M_i) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(M_iA_j) \ln P(A_j) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (M_iA_j) \ln P(A_j) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(M_iA_j) \ln P(M_iA_j). \quad (22)$$

В итоге получаем формулу для информации, которую несет система  $A$  относительно состояния системы  $M$ :

$$J_M(A) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(M_iA_j) \ln \frac{P(M_iA_j)}{P(M_i)P(A_j)}. \quad (23)$$

Состояние признака обозначим  $k_j$ , если это двухразрядный признак, то  $k_{j1}$  и  $k_{j2}$ , если 3-х разрядный, то  $k_{j1}$ ,  $k_{j2}$  и  $k_{j3}$ .

Если в результате обследования выявлено, что признак  $k_j$  имеет для данного объекта значение  $k_{j3}$ , то

$$Z_{D_j}(k_{j3}) = \ln \frac{P(D_i/k_{j3})}{P(D_i)}, \quad (24)$$

где  $P(D_i/k_{j3})$  – вероятность диагноза  $D_i$  при условии, что признак  $k_j$  получил значение  $k_{j3}$ ;

$P(D_i)$  – априорная вероятность диагноза;  
 $Z_{D_i}(k_{ij})$  – ценность информации.

$$Z_{D_j}(k_{j3}) = \ln \frac{P(k_{j3}/D_i)}{P(k_{j3})}, \quad (25)$$

## ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

где  $P(k_{js} / D_i)$  – вероятность появления интервала  $S$  признака  $k_j$  для объектов с диагнозом  $D_i$ ;

$P(k_{js})$  – вероятность появления этого интервала у всех объектов с различными диагнозами.

Диагностическая ценность признака:

$$Z_D(k_j) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(D_i k_{js}) \ln \frac{P(D_i k_{js})}{P(D_i)P(k_{js})}. \quad (26)$$

Определение диагностической ценности реализации признака для всей системы диагнозов:

$$Z_D(k_j) = \sum_{s=1}^m P(k_{js}) Z_D(k_{js}); \quad (27)$$

$$Z_D(k_{js}) = \sum_{s=1}^m P(D_i / k_{js}) \ln \frac{P(D_i / k_{js})}{P(D_i)}; \quad (28)$$

$$Z_{D_i}(k_j) = \sum_{s=1}^m P(k_{js} / D_i) \ln \frac{P(D_i / k_{js})}{P(D_i)}. \quad (29)$$

Рассмотрим диагностический вес реализации комплекса признаков  $K$ , состоящего из признака  $k_1$  с реализациями  $k_{1S}$  и признака  $k_2$  с реализациями  $k_{2P}$ . Возможны два варианта проведения обследования по комплексу признаков, последовательный и переменный.

При последовательном обследовании обследуем сначала по признаку  $k_1$ , затем по признаку  $k_2$  следовательно будем иметь следующие диагностические веса для диагноза  $D_i$ :

$$Z_{D_i}(k_{1S}) = \log_2 \left[ \frac{P(k_{1S} / D_i)}{P(k_{1S})} \right]; \quad (30)$$

$$Z_{D_i}(k_{2P} / k_{1S}) = \log_2 \left[ \frac{P(k_{2P} / D_i k_{1S})}{P(k_{2P} / k_{1S})} \right]. \quad (31)$$

Диагностический вес комплекса признаков при поэтапном обследовании:

$$Z_{D_i}(k_{1S} k_{2P}) = Z_{D_i}(k_{1S}) + Z_{D_i}(k_{2P} / k_{1S}). \quad (32)$$

При параллельном (одновременном) обследовании по комплексу признаков  $k_1$  и  $k_2$  диагностический вес реализации:

$$Z_{D_i}(k_{1S} k_{2P}) = \log_2 \left[ \frac{P(k_{1S} k_{2P})}{D_i P(k_{1S} / k_{2P})} \right], \quad (33)$$

учитывая равенства

$$P(k_{1S} k_{2P} / D_i) = P(k_{1S} / D_i) P(k_{2P} / D_i k_{1S}); \quad (34)$$

$$P(k_{1S} k_{2P}) = P(k_{1S}) P(k_{2P} / k_{1S}), \quad (35)$$

получим, что соотношение (32) и (33) совпадают.

Диагностический вес реализации комплекса признаков не зависит от порядка проведения обследования.

Если проводится обследование по комплексу признаков  $K^{(\mu)}$  после проведения обследования по комплексу признаков  $K^{(s)}$ , то диагностический вес реализации комплекса  $K^{(\mu)}$  для диагноза  $D_i$ :

$$Z_{D_i}(K_\alpha^{(\mu)} / K^{(n)}) = \log \left[ P(K_\alpha^{(\mu)} / D_i K_\alpha^{(n)}) \times (P(K_\alpha^{(\mu)} / K_\alpha^{(n)})) \right]. \quad (36)$$

Полученные соотношения использовались при оценке неопределённости состояния электроизоляционной системы на основе совместного анализа выборок диагнозов и диагностических параметров, полученных путём проведения подконтрольной эксплуатации и экспериментальных исследований.

Как уже отмечалось выше, в проведённых исследованиях электроизоляционная система асинхронного двигателя была разделена на три подсистемы. В результате анализа используемых на практике методов диагностики все диагностические показатели в соответствии с тем, для получения информации о состоянии какой из описанных подсистем они используются, были разделены на три группы:

- 1) параметры корпусной изоляции:
  - $\gamma_{\text{корп}}$  – удельная объемная проводимость изоляции обмотки относительно корпуса;
  - $R_{\text{корп}}$  – сопротивление изоляции обмотки относительно корпуса;
  - $C_{\text{корп}}$  – ёмкость изоляции относительно корпуса;
  - $\epsilon_{\text{корп}}$  – электрическая проницаемость изоляции обмотки относительно корпуса;
  - $\text{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь;
  - $T_{\text{ср}}$  – постоянная времени саморазряда;
  - $P_{\text{из}}$  – обобщенный диэлектрический параметр метода волновых затухающих колебаний;
  - $\Omega$  – добротность колебательного контура.
- 2) параметры междуфазной изоляции:
  - $R_{\text{мф}}$  – сопротивление изоляции между фазами;
  - $C_{\text{мф}}$  – ёмкость изоляции между фазами;
  - $\epsilon_{\text{мф}}$  – диэлектрическая проницаемость изоляции между фазами;
  - $\gamma_{\text{вмф}}$  – удельная объемная проводимость изоляции между фазами.
- 3) параметры межвитковой изоляции:
  - $t_{\text{зап}}$  – время запаздывания отражённого импульса относительно зондирующего;
  - $P_{\text{из}}$  – обобщенный диагностический параметр метода волновых затухающих колебаний.

Разработанный математический аппарат использовался при обработке результатов выполненного комплекса экспериментальных

исследований, целью которого было получение количественных зависимостей для последующего их использования в практике диагностики асинхронных двигателей.

У всех исследуемых двигателей устанавливалась принадлежность изоляции к одному из двух условных диагнозов  $D_1$  и  $D_2$ . Корпусная изоляция исследовалась у 268 двигателей, междуфазная – у 72, а межвитковая – у 47. Из них диагноз  $D_1$  имелся у 149, 42 и 25 двигателей при исследовании изоляции обмотки относительно корпуса, междуфазной и межвитковой изоляции, соответственно, а  $D_2$  – у 119, 30 и 22, соответственно.

На первом этапе фиксировалось количество двигателей, которые диагностический параметр отнёс к каждому диагнозу. При этом учитывалось количество только тех двигателей, где диагноз был поставлен правильно. На втором этапе определялась вероятность появления данного диагноза:

$$P_{D_i/k_i} = \frac{m_{D_i/k_i}}{n_{D_i}}, \quad (37)$$

где  $m$  – число объектов, в котором наблюдалось данное событие;

$n$  – общее число опытов;

$P$  – параметр, который показывает в скольких случаях с помощью данного параметра удалось определить данный диагноз правильно.

На третьем этапе оценивалась энтропия каждой системы. Например, для корпусной изоляции выражение имеет вид:

$$H(A_i) = -P(A_{D_i}) \ln P(A_{D_i} / k_i), \quad (38)$$

где

$$P(A_{D_i}) = \frac{D_i}{D_1 + D_2}. \quad (39)$$

На четвертом этапе выполнялся расчёт диагностического веса реализации  $k_j$  для диагноза  $D_i$ . При этом использовалось выражение (пример для корпусной изоляции):

$$Z_{D_i}(Ak_j) = \ln \frac{P(AD_i / k_j)}{P(AD_i)}. \quad (40)$$

Наконец, на пятом этапе определялась независимая диагностическая ценность обследования, для чего использовалось выражение:

$$Z_{D_i}(k_j) = P(D_i / k_j) \ln \frac{P(D_i / k_j)}{P(D_i)}. \quad (41)$$

Результаты исследований сведены в таблицы 1 – 3.

Анализ полученных результатов показывает, что один и тот же диагностический параметр имеет различную восприимчивость к разным диагнозам. То есть один диагноз он позволяет установить достовернее, чем другой. Причём у ряда параметров разница независимой диагностической ценности для двух диагнозов отличается в десятки раз. Использование таких параметров и методов на их основе на практике, на наш взгляд, должно быть сведено к минимуму, поскольку если значение диагностического параметра достоверно описывает лишь работоспособное состояние изоляции и слабо меняется в диапазоне, близком к критическому её состоянию, то своевременно выявить близость этого состояния будет трудно. Следовательно, трудно будет принять решение о проведении профилактических мероприятий для обеспечения надёжной работы оборудования.

Таблица 1

Результаты исследований диагностической ценности обследования для корпусной изоляции

	$\gamma_{\text{корп}}$	$R_{\text{корп}}$	$C_{\text{корп}}$	$\epsilon_{\text{корп}}$	$\text{tg}\delta$	$T_{\text{ср}}$	$P_{\text{из}}$	$\Omega$
$m_{D_1}$	91	108	113	117	118	110	137	106
$m_{D_2}$	51	47	54	57	53	66	100	47
$P_{D_1/k_i}$	0,611	0,725	0,758	0,785	0,792	0,738	0,919	0,717
$P_{D_2/k_i}$	0,428	0,395	0,454	0,479	0,445	0,555	0,84	0,395
$H(A_{D_1}/k_i)$	0,274	0,179	0,154	0,135	0,129	0,169	0,047	0,189
$H(A_{D_2}/k_i)$	0,377	0,412	0,351	0,327	0,359	0,261	0,077	0,412
$Z_{D_1}(Ak_i)$	0,094	0,265	0,309	0,345	0,354	0,283	0,503	0,246
$Z_{D_2}(Ak_i)$	0,037	0,117	0,022	0,076	0,002	0,223	0,638	0,117
$Z_{D_1}(k_i)$	0,057	0,192	0,234	0,271	0,28	0,209	0,462	0,175
$Z_{D_2}(k_i)$	0,016	0,046	0,01	0,036	0,001	0,124	0,536	0,046

## ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Таблица 2  
Результаты исследований диагностической ценности обследования для междуфазной изоляции

	$R_{мф}$	$C_{мф}$	$\epsilon_{мф}$	$\gamma_{вмф}$
$m_{D_1}$	29	27	29	28
$m_{D_2}$	18	13	20	22
$P_{D_1/k_i}$	0,69	0,643	0,69	0,666
$P_{D_2/k_i}$	0,6	0,434	0,667	0,734
$H(B_{D_1}/k_i)$	0,217	0,258	0,217	0,237
$H(B_{D_2}/k_i)$	0,213	0,348	0,169	0,129
$Z_{D_1}(Bk_i)$	0,167	0,096	0,167	0,131
$Z_{D_2}(Bk_i)$	0,364	0,04	0,47	0,565
$Z_{D_1}(k_i)$	0,115	0,062	0,115	0,087
$Z_{D_2}(k_i)$	0,218	0,017	0,313	0,415

Таблица 3  
Результаты исследований диагностической ценности обследования для межвитковой изоляции

	$t_{зап}$	$P_{из}$
$m_{D_1}$	20	20
$m_{D_2}$	13	16
$P_{D_1/k_i}$	0,8	0,8
$P_{D_2/k_i}$	0,59	0,727
$H(C_{D_1}/k_i)$	0,119	0,119
$H(C_{D_2}/k_i)$	0,247	0,149
$Z_{D_1}(Ck_i)$	0,408	0,408
$Z_{D_2}(Ck_i)$	0,232	0,44
$Z_{D_1}(k_i)$	0,326	0,326
$Z_{D_2}(k_i)$	0,137	0,32

Проведённые статистические исследования показывают, что наибольшей вероятностью правильного определения текущего состояния изоляции при диагностике корпусной изоляции обладает обобщённый диагностический параметр, междуфазной – удельная объёмная проводимость между фазами,

межвитковой – обобщённый диагностический параметр. Наибольшей энтропией при диагностике корпусной изоляции обладает добротность колебательного контура, междуфазной изоляции – ёмкость изоляции между фазами, межвитковой изоляции – время запаздывания отражённого импульса относительно зондирующего. Максимальное значение диагностического веса при диагностике изоляции обмотки относительно корпуса имеет обобщённый диэлектрический параметр метода волновых затухающих колебаний, междуфазной изоляции – удельная объёмная проводимость изоляции между фазами, межвитковой изоляции – обобщённый диагностический параметр метода волновых затухающих колебаний. Наибольшее значение независимой диагностической ценности при диагностике изоляции обмотки относительно корпуса имеет обобщённый диагностический параметр метода волновых затухающих колебаний, междуфазной изоляции – удельная объёмная проводимость изоляции между фазами, межвитковой изоляции – обобщённый диагностический параметр метода волновых затухающих колебаний.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хомутов, О.И. Проблема комплексной оценки изменения физико-химических свойств электроизоляционных материалов в реальных условиях эксплуатации электрооборудования [Текст] / О.И. Хомутов, Т.Е. Бондаренко, А.А. Грибанов // Ползуновский вестник. – №1. – 2002. – С. 4-9.
2. Биргер, И.А. Техническая диагностика [Текст] / И.А. Биргер. – М.: «Машиностроение», 1978.-240 с., ил.- (Надежность и качество).
3. Хомутов, О.И. Использование теории информации для оценки неопределённости состояния изоляции асинхронных двигателей [Текст] / О.И. Хомутов, А.А. Грибанов, Т.Е. Бондаренко, В.И. Сташко// Сборник научных трудов кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»/ Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2004. – С. 26-30.

**Годецкая Т.Е., Грибанов А.А., к.т.н., доцент, Хомутов О.И., д.т.н., проф., зав. кафедрой, Хомутов С.О., к.т.н., доц., кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3852) 36-77-72**