

Ф. Р. Исмагилов, И. Х. Хайруллин, Д. Ю. Пашали, О. А. Бойкова

## УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Предложены оригинальные конструкции средств оперативной диагностики. *Оперативная диагностика технического состояния; диагностический комплекс; электромеханический преобразователь энергии; диагностический параметр; диагностический критерий*

Оперативная диагностика (ОД) электромеханических преобразователей энергии (ЭМПЭ) необходима для обеспечения бесперебойной работы ЭМПЭ, обнаружения дефектов и их координат, оценки степени развития дефектов.

Для получения наиболее достоверной информации при оперативной диагностике технического состояния ЭМПЭ необходимо применять диагностические комплексы.

Проведенный обзор современных диагностических комплексов позволил выявить, что:

- отсутствуют диагностические комплексы (ДК), позволяющие проводить оперативную диагностику тепловым, вибрационным, электрическим и магнитным методами [3];
- часть ДК промышленно не выпускается, т. е. имеют место только опытные образцы;
- не позволяют диагностировать экранированные ЭМПЭ;
- выдают однозначные результаты: «годен» – «брак»;
- оценивают не функциональное состояние ЭМПЭ, а выявляют только последствия неисправностей.

Таким образом, для повышения достоверности оперативной диагностики технического состояния ЭМПЭ выявлена необходимость

- совершенствования существующих и разработки новых методов и средств оперативной диагностики ЭМПЭ;
- разработки средств комплексной диагностики ЭМПЭ средней и малой мощности, на основе магнитного (по внешнему магнитному полю), теплового, электрического и вибрационного методов.

В связи с этим предлагается разработанное авторами оригинальное устройство контроля подшипников [4], которое может быть использовано при ремонте, диагностике и эксплуатации ЭМПЭ, в специализированных или универсальных ДК.

Структурная схема этого ДК приведена на рис. 1.

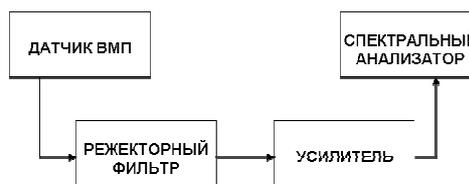
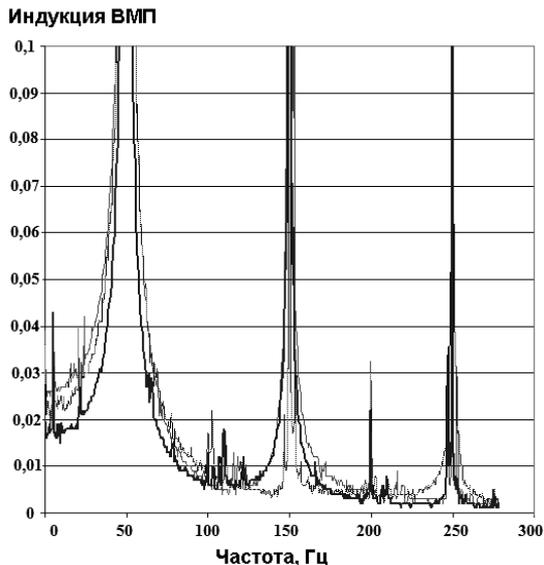
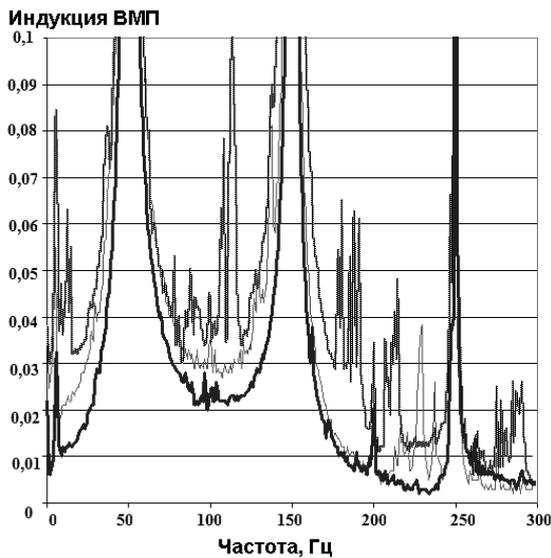


Рис. 1. Структурная схема ДК

Спектр электрического сигнала с датчика внешнего магнитного поля (ДВМП), установленного на поверхности ЭМПЭ, поступает в перестраиваемый режекторный фильтр, (в качестве ДВМП использован индукционный датчик), режекторный фильтр перестраивается в зависимости от того, увеличилась или уменьшилась частота основной гармоники источника питания электрической машины, с режекторного фильтра сигнал поступает на усилитель (усилитель реализован на базе микросхемы К140УД6 в инвертирующем включении с коэффициентом усиления – 10) и далее в цифровой спектральный анализатор. В качестве цифрового спектрального анализатора использовано многофункциональное измерительное устройство аналого-цифрового преобразования и ввода данных – Handyprobe HP-2 (фирма производитель Tie-Pie, Голландия) и персональный компьютер. Спектр сигнала с ДВМП отображается на экране монитора спектрального анализатора. ДК позволяет сравнивать сигнал, полученный с диагностируемого ЭМПЭ, и сигнал-эталон, полученный с исправного ЭМПЭ. Также возможно указание спектральных компонент (выделение другим цветом на экране), появление

которых в спектре внешнего магнитного поля (ВМП) ЭМПЭ свидетельствует о наличии и степени развития дефекта(ов) подшипников (рис. 2, *a* и *б*). В цифровом спектральном анализаторе процесс сравнения сигнала, полученного с объекта диагностирования, и сигнала эталона производится как визуально, так и с помощью программы обработки и контроля, которая по результатам сравнения спектрограмм выдает информацию: «исправен» («неисправен») и вид имеющегося дефекта(ов).

*a**б*

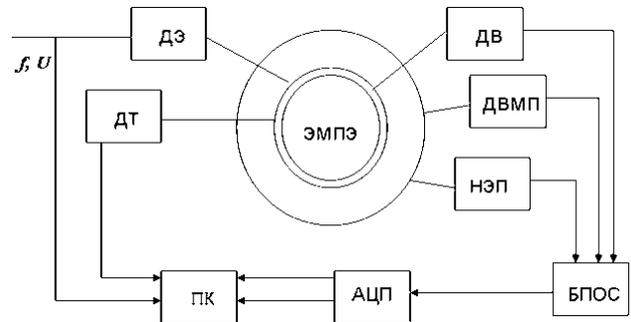
**Рис. 2.** Спектральный состав радиальной составляющей ВМП ЭМПЭ:  
*a* – при отсутствии дефекта;  
*б* – при наличии дефекта

Устройство позволяет упростить процесс диагностики ЭМПЭ за счет исключения разборки машины для установки датчиков.

Авторами при разработке устройства [4] не исследовалось влияние физических и геометрических факторов поверхностного слоя на изменение ВМП как диагностического параметра, отражающего изменение поля в рабочем зазоре машины, вызванное влиянием технологических и эксплуатационных факторов.

Для повышения достоверности диагностики ЭМПЭ средней и малой мощности, на основе вышеописанного устройства авторами разработан диагностический комплекс, позволяющий диагностировать ЭМПЭ магнитным (по внешнему полю), тепловым, электрическим и вибрационным методами, и программное обеспечение для него.

Структурная схема ДК приведена на рис. 3.



**Рис. 3.** Диагностический комплекс: ЭМПЭ – исследуемый преобразователь; ДЭ – датчик тока питающей сети; ДТ – датчик температуры; ДВ – датчик вибрации; ДВМП – датчик внешнего магнитного поля; НЭП – накладной электромагнитный преобразователь; АЦП – аналого-цифровой преобразователь (*Handyprobe HP-2*), БПОС – блок предварительной обработки сигнала (усилитель сигнала ДВМП и режекторный фильтр); ПК – персональный компьютер

Предлагаемый ДК позволяет:

- контролировать тепловое и вибрационное состояние ЭМПЭ;
- фиксировать частотные всплески в спектре ВМП;
- измерять основные механические или электромеханические характеристики ЭМПЭ;
- задавать определенный режим работы;
- моделировать неисправные состояния ЭМПЭ;
- измерять внешнее магнитное поле в окружающем объект пространстве в заданных координатах и рабочих режимах ЭМПЭ;
- проводить в режиме непрерывного мониторинга неразрушающий контроль всей поверхности деталей и узлов ЭМПЭ, диагностику внутренних дефектов, обусловленных фазовой,

структурной и геометрическими неоднородностями;

- обрабатывать данные измерений, проводить спектральный анализ, сохранять результаты.

При этом, в отличие от [4], с целью повышения достоверности оперативной диагностики ЭМПЭ ДК оснащен накладным электромагнитным преобразователем (НЭП) [1, 2], позволяющим проводить в режиме непрерывного мониторинга оперативную диагностику поверхности внешнего магнитопровода ЭМПЭ, диагностику внутренних дефектов, в том числе обусловленных фазовой, структурной и геометрическими неоднородностями.

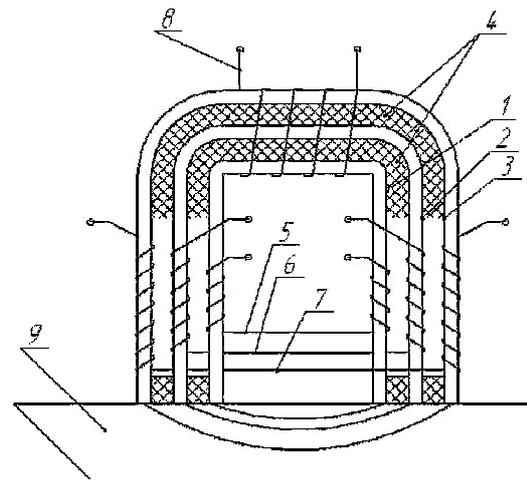
Наличие данных неоднородностей является причиной снижения магнитной проницаемости слоев внешнего магнитопровода ЭМПЭ и усиления ВМП над поверхностью электрической машины при отсутствии явно выраженных магнитопроводящих элементов конструкции.

Разработана оригинальная конструкция НЭП с расширенными функциональными возможностями [5], позволяющая проводить диагностику по всей длине внешнего магнитопровода ЭМПЭ и точно определять месторасположение дефектного слоя.

Конструкция накладного электромагнитного преобразователя приведена на рис. 4.

НЭП содержит возбуждающую и измерительные обмотки,  $m$  П-образных магнитопроводов, установленных друг за другом и разделенных по периметру немагнитными зазорами. Магнитопровода выполнены составными из  $n$  П-образных элементов, установленных один в другом и разделенных по периметру немагнитными зазорами, при этом возбуждающая обмотка является общей для всех П-образных элементов накладного электромагнитного преобразователя, а количество измерительных обмоток соответствует числу П-образных элементов накладного электромагнитного преобразователя. Каждая обмотка охватывает один П-образный элемент, а общая ширина составного магнитопровода больше максимального значения контролируемых глубины упрочненного слоя, дефекта или магнитной неоднородности контролируемых элементов конструкции ЭМПЭ. Принцип действия НЭП заключается в следующем: переменный ток, подаваемый от источника, создает магнитный поток во всех девяти элементах составного П-образного магнитопровода и в контролируемом изделии. Поскольку магнитные силовые линии не пересекаются между собой, то величина магнитного потока в каждом элементе, а следовательно,

и ЭДС всех девяти измерительных обмоток будут зависеть от магнитных свойств контролируемых элементов конструкции на выбранной глубине и по всей длине изделия. Общая ширина составного магнитопровода больше заданного значения контролируемой толщины поверхностного слоя (упрочненного слоя, дефекта или магнитной неоднородности) элементов конструкции ЭМПЭ.



**Рис. 4.** Накладной электромагнитный преобразователь: 1, 2, 3 – П-образные элементы, 4 – немагнитный зазор, 5, 6, 7 – измерительные обмотки, 8 – возбуждающая обмотка преобразователя, 9 – контролируемое изделие

Авторами составлен алгоритм и разработана оригинальная программа [6], позволяющие оператору:

- производить автоматизированный расчет электромагнитного поля в рабочем зазоре и внешнего магнитного поля ЭМПЭ в реальном времени;
- формировать базы данных диагностических критериев и отображать результаты контроля с учетом степени развития дефекта в режиме онлайн;
- отображать информацию о состоянии ЭМПЭ на видеокдрах монитора;
- непрерывно и циклически измерять параметры внешнего магнитного поля ЭМПЭ (напряженности электромагнитного поля) с идентификацией диагностических признаков дефектов (повреждения подшипников, статического эксцентриситета, осевых сдвигов вала, относительного расширения ротора и т. д.);
- оценивать магнитную совместимость ЭМПЭ, применяемых в сложных навигационных системах.

Программа реализована на языке Visual Basic 6.0; персональный компьютер, рабочая стан-

ция оперативного контроля и рабочая станция диагностирования ВМП работают под управлением операционной системы Microsoft не ниже версии XP. База данных реализована в редакторе MS Excel. Динамическая информация о состоянии ЭМПЭ отображается на мониторе ПК.

В главное окно пользователь вводит основные геометрические размеры ЭМПЭ, нажимает кнопку «Рассчитать», после чего запускается основной алгоритм, в результате работы которого на экран выводится результат расчета диагностического параметра и отображается окно «Результаты диагностики», в котором наглядно отображается степень развития дефекта. После нажатия кнопки «Записать в БД» в окне «Результаты диагностики» сохраняется текущее значение внешнего магнитного поля ЭМПЭ и соответствующее ему значение диагностического параметра, дату и время измерения, типоразмер ЭМПЭ. После нажатия кнопки «Построить эскиз» в главном меню отображается окно «Эскиз», в котором наглядно показано развитие дефекта (например, текущее положение ротора при оценке статического эксцентриситета).

Разработанное авторами оригинальное программное обеспечение позволяет оценить степень развития дефекта в процентном отношении к исправному состоянию ЭМПЭ, контролировать развитие дефекта, а также прогнозировать и своевременно производить ремонт и/или замену элементов ЭМПЭ, что в итоге позволяет сократить затраты на плановый ремонт, избежать экономических убытков.

## ВЫВОДЫ

На основе проведенного обзора современных методов и средств оперативной диагностики выявлено, что:

- необходима разработка диагностических комплексов для ЭМПЭ средней и малой мощности;
- необходима разработка программного обеспечения диагностических комплексов, осуществляющих формирование диагностических критериев, для повышения достоверности диагностической информации на основе теплового, вибрационного, электрического и магнитного (по картине ВМП) методов.

Для упрощения процесса оперативной диагностики разработана оригинальная конструкция устройства контроля подшипников ЭМПЭ.

Для повышения достоверности диагностической информации разработана оригинальная конструкция датчика внешнего магнитного поля – накладного электромагнитного преобразователя. Разработаны алгоритм и программа на

языке VisualBasic, осуществляющая: автоматизированный расчет магнитного поля в рабочем зазоре и внешнего магнитного поля исправного и неисправного ЭМПЭ, сравнение полученных результатов и выдачу информации о наличии и степени развития дефекта оператору для формирования диагностических критериев технического состояния электромеханических преобразователей энергии по внешнему магнитному полю.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пашали Д. Ю., Бойкова О. А. К вопросу разработки средств контроля электромеханических преобразователей // Актуальные проблемы науки и техники: Сб. тр. IV всероссийск. зимн. шк.-семинара аспирантов и молодых ученых. Т. 2. Уфа: Диалог, 2009. С. 36–39.
2. Хайруллин И. Х., Пашали Д. Ю., Бойкова О. А. Накладной электромагнитный преобразователь для контроля оболочек электрических машин // Электронные устройства и системы: Сб. науч.-техн. тр. Уфа: УГАТУ, 2008. С. 137–139.
3. Хайруллин И. Х., Пашали Д. Ю. Диагностика электромеханических преобразователей по внешнему магнитному полю // Вестник УГАТУ. 2006. Т. 7, № 1(14). С. 165–170.
4. Устройство для диагностики подшипников электрической машины / Д. Ю. Пашали [и др.] // Патент RU № 68802, 2007. Бюл. № 33.
5. Хайруллин И. Х., Пашали Д. Ю., Бойкова О. А. Накладной электромагнитный преобразователь // Патент RU № 68700, 2007. Бюл. № 33.
6. Хайруллин И. Х., Пашали Д. Ю., Бойкова О. А. Программа расчета внешнего магнитного поля асинхронных двигателей: Свид-во о гос. рег. программы для ЭВМ № 2010615107, 2010.

## ОБ АВТОРАХ

**Исмагилов Флюр Рашитович**, проф., зав. каф. электромеханики, проректор УГАТУ. Дипл. инж.-электромех. (УАИ, 1973). Д-р техн. наук по элементам и устройствам управления (УГАТУ, 1998). Иссл. в обл. электромеханических преобразователей энергии.

**Хайруллин Ирек Ханифович**, проф. той же каф. Дипл. инж.-электромех. (Ивановск. энергетич. ин-т, 1963). Д-р техн. наук по элементам и устройствам управления (УАИ, 1981). Иссл. в обл. электромеханических преобразователей энергии.

**Пашали Диана Юрьевна**, доц. той же каф. Дипл. инженер по приборостроению (УГАТУ, 1994). Канд. техн. наук по электромех. и электрич. аппаратам (УГАТУ, 2004). Иссл. в обл. надежности электромех. систем.

**Бойкова Оксана Алексеевна**, асп. той же каф. Дипл. магистр техники и технологий (УГАТУ, 2008). Иссл. в обл. электромеханических преобразователей энергии.