

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2626231

**СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО  
СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО АГРЕГАТА С  
АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Жуковский Юрий Леонидович (RU), Бабанова Ирина Сергеевна (RU), Королёв Николай Александрович (RU)*

Заявка № 2016144271

Приоритет изобретения 10 ноября 2016 г.

Дата государственной регистрации в  
Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации 24 июля 2017 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 10 ноября 2036 г.

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

 Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016144271, 10.11.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
10.11.2016Дата регистрации:  
24.07.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.11.2016

(45) Опубликовано: 24.07.2017 Бюл. № 21

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,  
ФГБОУ ВО СПГУ, отдел интеллектуальной  
собственности и трансфера технологий (отдел  
ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

**Жуковский Юрий Леонидович (RU),  
Бабанова Ирина Сергеевна (RU),  
Королёв Николай Александрович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский горный  
университет" (RU)**(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 146950 U1, 20.10.2014.**"ДИАГНОСТИКА И ОЦЕНКА  
ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО В  
ТЯЖЕЛЫХ УСЛОВИЯХ, ПО  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ",  
2011. US 6128583 A1, 03.10.2000;. US 6297742  
B1, 02.10.2001.**

## (54) СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО АГРЕГАТА С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

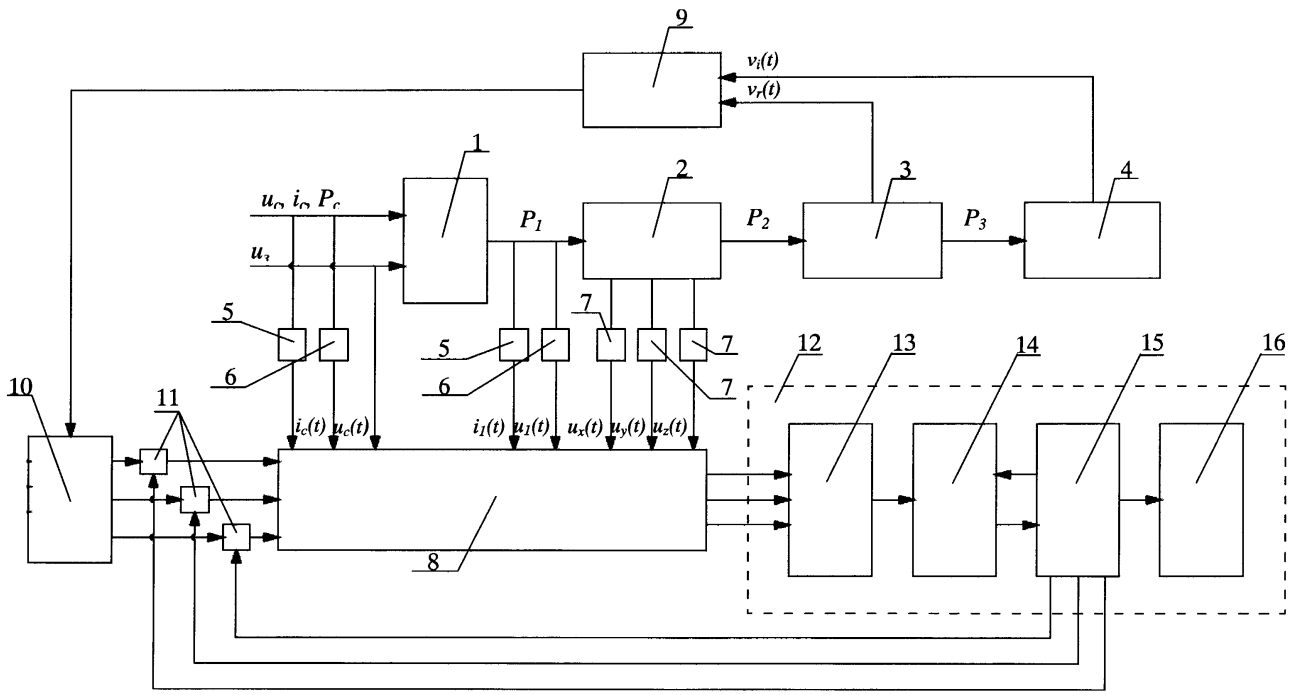
(57) Реферат:

Изобретение относится к области диагностики технического состояния электромеханического оборудования, позволяющей производить диагностику и оценку остаточного ресурса асинхронного двигателя (АД), работающего в различных условиях эксплуатации, путем записи электрических и вибрационных параметров, с помощью датчиков вибрации, тока и напряжения, и использование искусственной нейронной сети (ИНС) для комплексного анализа электрических, вибрационных и косвенных параметров с дальнейшей оценкой технического состояния и прогнозирования вероятности безотказной работы электродвигателя (ЭД). Способ позволяет производить диагностику и оценку остаточного ресурса электропривода на базе асинхронного двигателя, работающего в различных условиях

эксплуатации, путем записи электрических и вибрационных параметров, с помощью датчиков вибрации, тока и напряжения и их комплексного анализа с использованием искусственной нейронной сети, позволяющей осуществлять прогнозирование и оценку остаточного ресурса. Технический результат заключается в повышении точности и качества оценки состояния и остаточного ресурса электромеханического оборудования с учетом качества питающей сети и условий эксплуатации, по полученным значениям остаточного ресурса с учетом выявленных состояний на основе работы ИНС, включающей анализ электрических, вибрационных и косвенных параметров и обнаруженных дефектов. 5 ил.

RU  
2 6 2 6 2 3 1  
С 1

С 1  
2 6 2 6 2 3 1  
RU



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2016144271, 10.11.2016**

(24) Effective date for property rights:  
**10.11.2016**

Registration date:  
**24.07.2017**

Priority:

(22) Date of filing: **10.11.2016**

(45) Date of publication: **24.07.2017** Bull. № 21

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU  
VO SPGU, otdel intellektualnoj sobstvennosti i  
transfera tekhnologij (otdel IS i TT)**

(72) Inventor(s):

**Zhukovskij Yuriy Leonidovich (RU),  
Babanova Irina Sergeevna (RU),  
Korolev Nikolaj Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj  
universitet" (RU)**

(54) **METHOD OF DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION AND ELECTROMECHANICAL DEVICE REMAINING LIFETIME ESTIMATION WITH ASYNCHRONOUS MOTOR**

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: invention relates to the field of diagnostics of electromechanical equipment technical condition that allows to diagnose and estimate the residual life of an asynchronous motor operating in various operating conditions by recording electrical and vibration parameters using vibration, current and voltage sensors and using an artificial neural network (ANN) for complex analysis of electrical, vibration and indirect parameters with further evaluation of technical condition and forecasting the probability of failure-free operation of the electric motor (EM). The method allows to diagnose and estimate the residual life of an electric drive based on an asynchronous motor operating in various operating conditions by recording electrical and

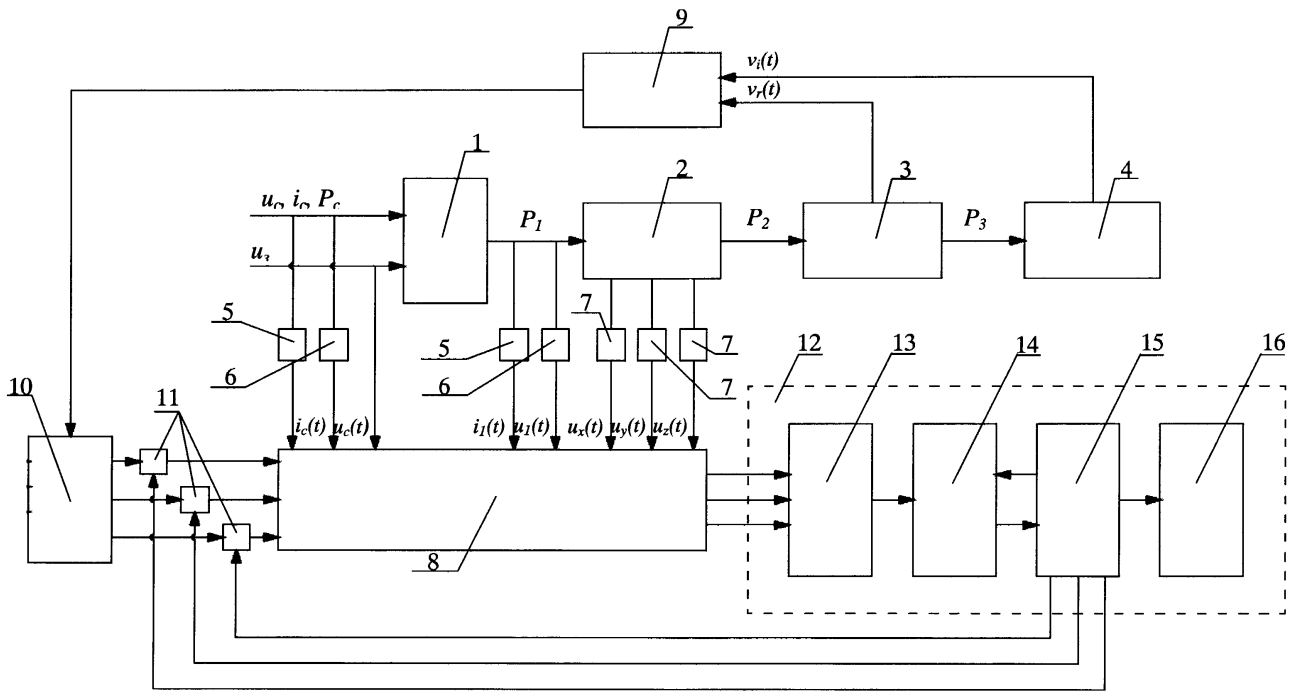
vibration parameters, using vibration, current and voltage sensors and their complex analysis using an artificial neural network that allows for prediction and estimation of residual resource.

EFFECT: improved accuracy and quality of the electromechanical equipment condition and residual life estimation, taking into account the quality of the supply network and the operating conditions, based on the obtained values of the residual resource, taking into account the detected conditions based on the work of an artificial neural network, including analysis of electrical, vibrational and indirect parameters and detected defects.

5 dwg

RU 2 626 231 C1

RU 2 626 231 C1



Фиг. 1

Изобретение относится к области диагностики технического состояния электромеханического оборудования и позволяет производить диагностику и оценку остаточного ресурса асинхронного двигателя (АД), работающего в различных условиях эксплуатации, путем записи электрических и вибрационных параметров, с помощью датчиков вибрации, тока и напряжения, и использование искусственной нейронной сети (ИНС) для комплексного анализа электрических, вибрационных и косвенных параметров с дальнейшей оценкой технического состояния и прогнозирования вероятности безотказной работы электродвигателя (ЭД).

Известен способ диагностики электродвигателя переменного тока и связанных с ним механических устройств (патент РФ №2339049, опубл. 20.11.2008), согласно которому в трех фазах ЭД производятся запись напряжения и потребляемого тока в зависимости от времени. Полученные сигналы пропускают через фильтр низких частот, преобразуют в цифровую форму и формируют спектры тока и напряжения, после чего производят их спектральный анализ. Выделяют характерные частоты электродвигателя и связанных с ним устройств, а характер и степень развития неисправности выявляют путем сравнения значений амплитуд тока на характерных частотах.

Недостатками способа является то, что не учитывается переменный характер нагрузки ЭД, оказывающий влияние на амплитуду обобщенного вектора тока, гармонический состав питающего напряжения, наблюдаемый при питании ЭД от статического силового преобразователя. Также данный способ практически неприменим для регулируемого ЭД, так как не учитывает изменение режимов при регулировании выходной координаты (положения, скорости, момента) электропривода и не учитывает влияние дефектов механической части агрегата на электрические параметры электродвигателя и наоборот.

Известен способ диагностики электромеханического оборудования (патент РФ №2574315, опубл. 10.02.2016), согласно которому измеряют сигнал тока двигателя диагностируемого электромеханического оборудования, проводят демодуляцию полученного сигнала тока, рассчитывают спектр демодулированного сигнала и вычитают из него спектр демодулированного сигнала тока исправного оборудования того же типа. При этом разницу спектров преобразуют в кепстр, а полученный кепстр строят в частотной области. Оценивают амплитуды информативных компонентов кепстра, соответствующих дефектам объекта, после чего линеаризуют шаг расположения информативных составляющих путем нелинейного преобразования масштаба частот и определяют частоты дефектов по величине информативных кепстральных компонент, по которым оценивают состояние объекта.

Недостатком данного способа является то, что диагностика технического состояния, производимая путем оценки разницы между спектрами демодулированного сигнала тока исправного и находящегося в работе двигателей позволяет выявить только ряд дефектов при условии отсутствия искажений напряжения питающей сети и статических силовых преобразователей.

Известен способ диагностики механизмов и систем с электрическим приводом (патент РФ №2431152, опубл. 10.10.2011), заключающийся в записи в течение заданного интервала времени значений фазных токов и напряжений электродвигателя, их разложение на гармонические составляющие и измерение амплитуды и фазы гармонических составляющих, при этом производится фильтрация гармонических составляющих, поступающих из сети. По совокупности параметров гармонических составляющих с помощью искусственной нейронной сети производятся идентификация технического состояния и прогнозирование ресурса безаварийной работы диагностируемого объекта.

Недостатком способа является то, что при определении остаточного ресурса анализируются только гармонические составляющие напряжения, генерируемые только двигателем электропривода, а составляющие, генерируемые сетью питающего напряжения, отфильтровываются и не рассматриваются. Однако значительные  
5 искажения питающего напряжения, которые имеют нерегулярный характер, обусловленный изменением режима работы двигателя, непостоянством нагрузки, наличием статических преобразователей, а также характеристиками питающей сети, негативно сказываются на изоляции диагностируемого оборудования, вызывая ее преждевременное старение, что, в свою очередь, может привести к пробое изоляции  
10 и выходу из строя оборудования.

Известен способ диагностики технического состояния электроприводной арматуры (патент РФ №2456629, опубл. 20.07.2012), согласно которому, измеряют механические вибрации, фиксируемые в электрическом сигнале тока в обмотках статора АД, используемых в качестве датчика вибраций. После измерения сигнала тока со статора  
15 АД происходят его обработка и преобразование. В качестве диагностического параметра используют спектр тока. Частота сигнала тока нормирована к частоте сети, а по изменению амплитуды собственных частот узлов арматуры и электропривода судят о развитии дефекта. При появлении различий между измеряемыми и базовыми величинами спектра, превышающих допустимые параметры рассогласования, делают вывод о  
20 неисправности конкретного узла электроприводной арматуры.

Недостатком данного способа является то, что не производится оценка технического состояния электродвигателя, являющегося одним из основных источников вибрации, а также использование статора как датчика вибрации не позволяет достоверно распознать дефекты, возникающие в приводной арматуре.

Известен способ диагностики и оценки остаточного ресурса электроприводов переменного тока (патент РФ №2532762, опубл. 10.11.2014), принятый за прототип, согласно которому производится запись напряжения и тока, потребляемых электродвигателем в зависимости от времени, выполняемая с помощью датчиков тока и напряжения, обработку сигналов фильтром низких частот с последующей  
30 программной обработкой полученных сигналов для диагностики и оценки остаточного ресурса на персональном компьютере.

Недостатками является то, что не учитываются косвенные параметры, влияющие на техническое состояние и качество прогнозирования, отсутствует оценка точности прогнозирования технического состояния и вероятности пригодности к эксплуатации  
35 в условиях неопределенности и неполноты информации.

Техническим результатом способа является повышение точности диагностики технического состояния и оценки остаточного ресурса электромеханического агрегата с АД путем измерения электрических параметров на входе статического силового преобразователя и входе ЭД, позволяющее оценить качество питающей сети и учесть  
40 искажения, вносимые преобразователем, а также вибрационных параметров, учитывающих влияние механических дефектов агрегата на работу электродвигателя, с последующей обработкой на портативном компьютере.

Технический результат достигается тем, что дополнительно производят одновременную запись величин напряжения, тока на входах силового преобразователя  
45 и электродвигателя и вибрации корпуса электродвигателя, далее регистрируют косвенные параметры, например влажность, средняя температура окружающей среды, прочность изоляции, влияющие на техническое состояние электродвигателя, а затем обрабатываем полученные данные с помощью программного обеспечения, основанного

на работе искусственной нейронной сети, на выходе которого получаем количественную и качественную оценку технического состояния и остаточного ресурса.

Способ поясняется следующими чертежами:

5     фиг. 1 - структурная схема устройства диагностики технического состояния и оценки остаточного ресурса электромеханического агрегата с асинхронным двигателем;

фиг. 2 - структурная схема системы прогнозирования оценки вероятности безотказной работы по диагностируемым электрическим и вибрационным параметрам АД с использованием ИНС;

10    фиг. 3 - диаграмма вероятностного технического состояния: нормальное состояние агрегата;

фиг. 4 - диаграмма вероятностного технического состояния: предкризисное состояние агрегата;

фиг. 5 - диаграмма вероятностного технического состояния: кризисное состояние агрегата, где

15     1 - статический силовой преобразователь;

2 - электродвигатель;

3 - механический преобразователь;

4 - исполнительный орган;

5 - датчики тока на клеммах преобразователя и двигателя в фазах А, В, С;

20     6 - датчики напряжения на клеммах преобразователя и двигателя в фазах А, Б, С;

7 - датчики вибрации на корпусе ЭД;

8 - плата сбора данных;

9 - система автоматизации технологического процесса;

10 - блок предобработки данных;

25     11 - ключи каналов связи между выходами блока предобработки данных и входами платы сбора данных;

12 - портативный компьютер;

13 - программный фильтр высоких и низких частот;

14 - постоянное запоминающее устройство;

30     15 - искусственная нейронная сеть;

16 - блок визуализации;

17 - вход для настройки ИНС;

18 - блок формирования обучающих данных;

19 - блок создания ИНС;

35     20 - блок обучения ИНС;

21 - блок тестирования ИНС;

22 - блок оценки качества прогноза;

23 - выход ИНС;

$P_c$  - мощность питающей сети;

40      $P_1$  - мощность, подводимая к электродвигателю 2;

$P_2$  - мощность на входе механического преобразователя 3;

$P_3$  - мощность, поступающая на исполнительный орган 4;

$u_c, i_c$  - напряжение и ток на входе статического преобразователя,

45      $u_c(t), i_c(t)$  - измеряемый сигнал фазных напряжений и токов в фазах А, В, С на входе статического преобразователя;

$u_1(t), i_1(t)$  - измеряемый сигнал фазных напряжений и токов в фазах А, В, С на входе ЭД;



$u_3$  - сигнал задания (мощности, координаты, момента);

$u_x(t)$ ,  $u_y(t)$ ,  $u_z(t)$ , - сигналы напряжения, пропорциональные вибрации ЭД по горизонтальному, поперечному и осевому направлениям;

$v_r(t)$  - сигнал скорости редуктора;

$v_i(t)$  - сигнал скорости исполнительного органа;

Способ осуществляется следующим образом.

Согласно фиг. 1, на вход статического силового преобразователя 1 подаются мощность питающей сети  $P_c$  и сигнал управления координатами скорости, моментом и положением электродвигателя  $u_3$ . С выхода преобразователя 1 мощность величиной  $P_1$  подводится к электродвигателю 2 и после электромеханического преобразования в нем на выходе равна  $P_2$ , в дальнейшем поступает на вход механического преобразователя 3, с выхода которого мощность  $P_3$  передается на исполнительный орган 4. Измерительная аппаратура, состоящая из датчиков тока 5, датчиков напряжения 6, фиксирующих сигналы трехфазного тока  $i_c(t)$ ,  $i_1(t)$  и трехфазного напряжения  $u_c(t)$ ,  $u_1(t)$  с входа статического силового преобразователя 1 и входа ЭД 2 и датчиков вибрации 7а, установленных на корпусе ЭД 2 и регистрирующих вибрации в виде электрического сигнала, осуществляет запись всех измерительных сигналов и сигнала управления координатами скорости, моментом и положением электродвигателя  $u_3$  на плату сбора данных 8, также на плату сбора данных 8 поступают данные с блока предобработки 10, на который поступают данные о внешних факторах ( $T$  - средняя температура окружающего воздуха,  $\rho$  - влажность,  $\xi$  - прочность изоляции) и данные системы автоматизации технологическим процессом ( $v_r(t)$  - сигнал скорости редуктора,  $v_i(t)$  - сигнал скорости исполнительного органа). Из параметров, поступивших на плату сбора данных 8, формируется основная ретроспективная база данных, которая в дальнейшем программно обрабатывается на портативном компьютере 12 с использованием программного фильтра высоких и низких частот 13, исключая высокие и низкочастотные составляющие спектра с целью повышения точности и достоверности измерений, постоянного запоминающего устройства 14, хранящего базу данных измерений и результатов их анализа, и ИНС 15, реализующей оценку технического состояния и прогнозирования вероятности безотказной работы электромеханического агрегата с АД с дальнейшим графическим представлением результата в блоке визуализации 16.

Система прогнозирования вероятности безотказной работы ЭД на основе ИНС (фиг. 2) реализована следующим образом. От системы автоматизации 9, учитывающей скорости редуктора  $v_r(t)$  и исполнительного органа  $v_i(t)$ , данные поступают на блок предобработки данных 10, на который также поступают данные о внешних факторах ( $T$  - средняя температура окружающего воздуха,  $\rho$  - влажность,  $\xi$  - прочность изоляции), формируя дополнительную базу данных косвенных параметров, и в ходе регрессионного анализа выявляются ключевые переменные с учетом оценки коэффициентов множественной регрессии, влияющие на качество составления прогноза вероятности безотказной работы для АД, а остальные отсеиваются с учетом оценки значимости коэффициентов корреляции путем закрытия ключей каналов связи 11 между выходами блока предобработки данных 10 и входами платы сбора данных 8. Диагностируемые показатели и переменные, влияющие на качество составления прогноза и полученные после регрессионного анализа, поступают на блок 8, которые после прохождения

программного фильтра 13 и сохранения на постоянном запоминающем устройстве 14 используют как дополнительные входные данные для формирования базы данных для ИНС 15. Вход ИНС 17 состоит из следующих блоков: блока формирования обучающих данных 18 и блока создания ИНС 19, определяющего тип нейронной сети, количество промежуточных слоев, количество нейронов и функцию активации. В блоке обучения ИНС 20 задаются параметры и выбранный алгоритм обучения. В блоках тестирования ИНС 21 оценки качества прогнозирования 22 производится оценка вероятности безотказной работы ЭД по электрическим вибрационным и косвенным параметрам в сравнении с эталонными значениями ЭД. В качестве эталонного значения по прогнозированию вероятности безотказной работы для ЭД по электрическим, вибрационным и косвенным параметрам формируется таблица 1.

Таблица 1 – Матрица составления вероятностей безотказной работы для ЭД по электрическим и вибрационным параметрам

Вероятности состояния/ Дефекты	Повреждение изоляции обмотки относительно корпуса	Повреждение межфазной изоляции	Межвитковые замыкания	Дефект обмотки статора	Короткие замыкания в обмотке статора	Дефекты обмотки ротора	Повреждения подшипников	Повреждения ротора	Повреждение магнитопровода ротора	Повреждение магнитопровода статора	Повреждение магнитопровода статора	Динамический эксцентриситет	Статический эксцентриситет	Дефект контактных соединений	Небаланс масс ротора	Механические ослабления	Дефект релюкатора	Расцентровка валов	
																			Норм. сост
Норм. сост	$P_{ij}$	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	$P_{in}$	
Предкриз. сост	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Криз. сост	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Эталонного сост	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Состояния границ оценки по вибрации с учетом наступления дефектов в момент времени t	прогноз для кризисного состояния	$P_{инс}$ нижний ов ин-л	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
		$P_{инс}$ верх лев ин-л	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	прогноз для предкризисного состояния	$P_{инс}$ нижний ов ин-л	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		$P_{инс}$ верх лев ин-л	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	прогноз для норм состояния	$P_{инс}$ нижний ов ин-л	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		$P_{инс}$ верх лев ин-л	$P_{ij}$	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	$P_{mn}$

Определение вероятности безотказной работы ЭД при условии имеющейся базы ретроспективных данных (выявление диагностических параметров и видов дефектов) при требованиях к относительной погрешности, то есть к пределу доверительного интервала прогнозирования  $\lambda$  при  $p \geq 95\%$  - менее 5% можно представить как построение функции (1)

$$P = F(t, \Delta t, n, k, l, N_i, P_i(t), P(t - \Delta t), \dots, P_{im}(m_i), P_i(t - n\Delta t), \dots, P_{ih}(h_i), P_{ih}(t - n\Delta t)), (1)$$

где  $P_i$  - прогноз вероятности;

$t$  - текущий момент времени;

$\Delta t$  - интервал времени между измерениями;

$\lambda$  - интервал прогнозирования;

5  $n$  - число интервалов в прошлое;

$k$  - число интервалов в будущее;

$l$  - количество измеряемых характеристик;

$P_{im}(m_i), P_{ih}(h_i)$  - значения вероятностей по электрическим и вибрационным параметрам;

10  $N_i$  - косвенные параметры, влияющие на составление прогноза по оценке вероятности безотказной работы ( $T$  - средняя температура окружающего воздуха,  $\rho$  - влажность,  $\xi$  - прочность изоляции, количество измеряемых вибрационных и электрических параметров, интервала времени между измерениями, число интервалов в прошлое).

После завершения процесса обучения ИНС анализируется качество прогноза на  
 15 основании полученной вероятности и оценки вхождения ее в диапазон с учетом диагностики электрических и вибрационных параметров, а также оценки следующих характеристик нейронной сети: производительность обучения, тестовая производительность, среднее значение целевой выходной переменной, среднеквадратичное отклонение целевой выходной переменной, средняя ошибка  
 20 выходной переменной, средняя абсолютная ошибка, отношение стандартного отклонения ошибки к стандартному отклонению данных, коэффициент корреляции Спирмена, вычисленный между целевым вектором и реальным выходным вектором. Величину остаточного ресурса электромеханического оборудования, прогнозируемого с учетом работы ИНС, представляют как (2).

$$\begin{aligned}
 25 \quad \delta &= K_1 \cdot P_{ih}^{прог.ИНС}(h) + K_2 \cdot P_{im}^{прог.ИНС}(m) + K_3 \cdot P_{ih}^{прог.ИНС}(h) + \\
 &+ K_4 \cdot P_{im}^{прог.ИНС}(m) = K_1 \cdot F\left(\sum_{i=1}^{17} (\Delta w_{ij} \cdot x_{ij} - \Delta \theta_j)\right) + K_2 \cdot F\left(\sum_{i=1}^{17} (\Delta w_{ij} \cdot x_{ij} - \Delta \theta_j)\right) \\
 30 \quad &+ K_3 \cdot F\left(\sum_{i=1}^{21} (\Delta w_{ij} \cdot x_{ij} - \Delta \theta_j)\right) + K_4 \cdot F\left(\sum_{i=1}^{21} (\Delta w_{ij} \cdot x_{ij} - \Delta \theta_j)\right), (2)
 \end{aligned}$$

где  $K_1$  - коэффициент, учитывающий состояния границ оценки вибрационных параметров с учетом обнаруженных дефектов в момент времени  $t$  и в зависимости от  
 35 нормального, предкризисного и кризисного состояний;

$K_2$  - коэффициент, учитывающий состояния границ оценки электрических параметров с учетом наступления (обнаружения) дефектов в момент времени  $t$  и в зависимости от нормального, предкризисного и кризисного состояний;

40  $K_3$  - коэффициент, учитывающий состояния границ оценки вибрационных параметров с учетом измеряемых параметров и факторов, влияющих на составление прогноза остаточного ресурса, в момент времени  $t$  и в зависимости от нормального, предкризисного и кризисного состояний;

45  $K_4$  - коэффициент, учитывающий состояния границ оценки электрических параметров с учетом измеряемых параметров и факторов, влияющих на составление прогноза остаточного ресурса, в момент времени  $t$  и в зависимости от нормального, предкризисного и кризисного состояний;

$P_{ih}^{прог.ИНС}(h), P_{im}^{прог.ИНС}(m)$  - прогнозируемые значения оценки вероятности по

вибрационным и электрическим параметрам с учетом работы ИНС;

$$\Delta w_{ij} = \varepsilon(d_j^s - y_j^s) \cdot x_{ij}, \Delta \theta_j = -\varepsilon(d_j^s - y_j^s) - \text{коррекция для весовых коэффициентов и}$$

5 пороговых уровней с учетом рассчитанного выхода и сравнения полученного выходного вектора  $y_s$  с эталоном  $d_s$ ;

$\varepsilon$  - скорость обучения ИНС.

10 Результатами работы способа диагностики технического состояния и оценки остаточного ресурса электромеханического агрегата с асинхронным двигателем являются диагностическая картина вероятностей технического состояния фиг. 3, 4, 5, и расчетное значение остаточного ресурса, полученное на основе работы ИНС, с учетом электрических, вибрационных и косвенных параметров и обнаруженных дефектов и оцененное в соответствии с границами:  $0 < \delta \leq 0,1$  - эталонное,  $0,1 < \delta \leq 0,2$  - нормальное,  $0,2 < \delta \leq 0,4$  - предкризисное,  $0,4 < \delta \leq 1$  - кризисное, на основании которых принимают  
15 решения о сроках проведения ремонта, дальнейшем сверхнормативном сроке работе агрегата или его остановке с целью проведения углубленной диагностики.

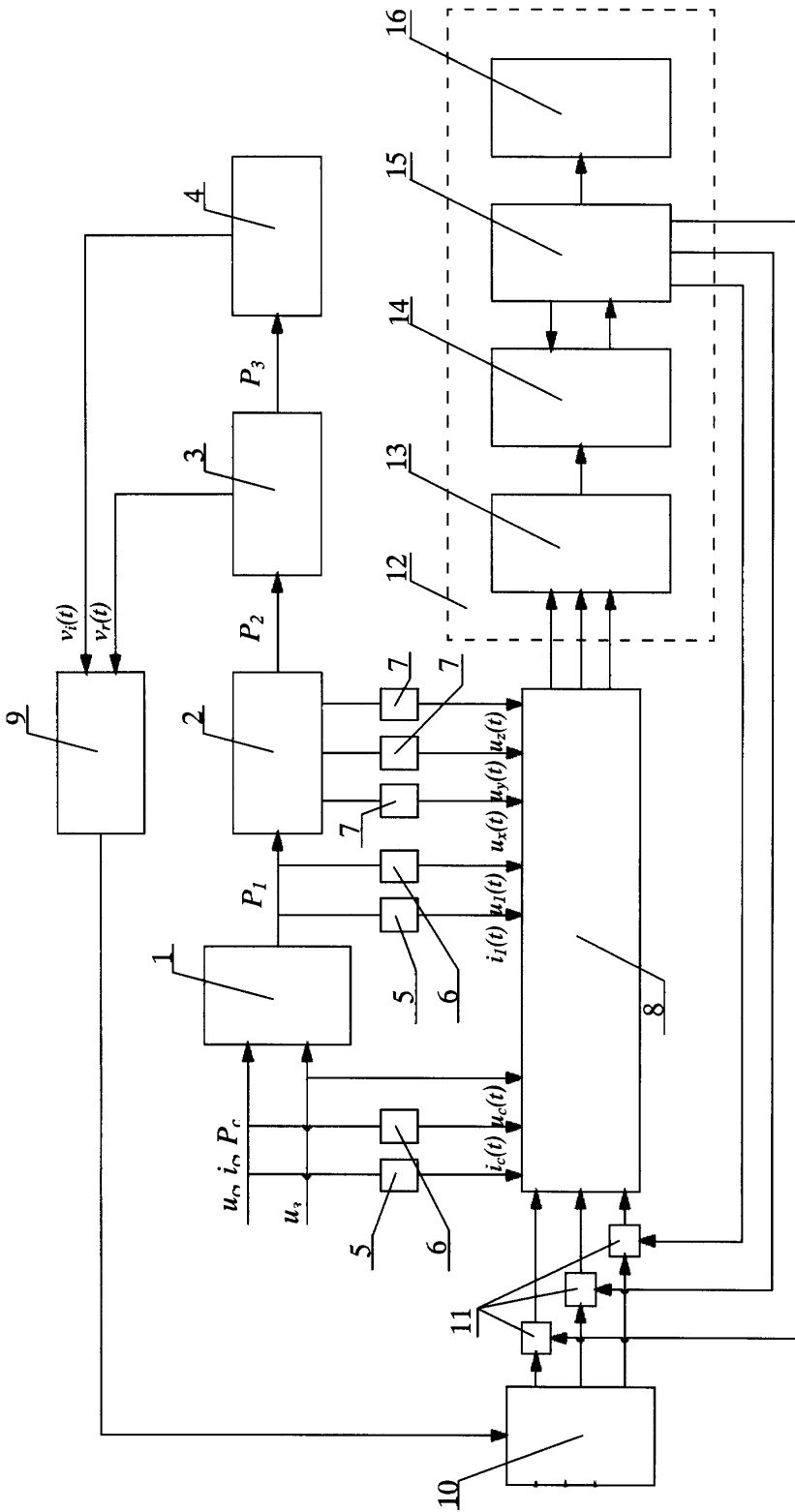
#### (57) Формула изобретения

Способ диагностики технического состояния и оценки остаточного ресурса электромеханического агрегата с асинхронным двигателем, включающий запись  
20 зависимостей напряжения и тока, потребляемых электродвигателем, с последующим пропуском полученных сигналов через программный фильтр высоких и низких частот и программной обработкой, определением расхождения амплитуд сигналов токов, напряжений и мощности каждой фазы, коэффициентов несимметрии тока, напряжений, мощности и коэффициентов гармонических колебаний, уровня влияния  
25 качества питающего напряжения в части наличия несимметрии, импульсов перенапряжения и высших гармонических составляющих, отличающийся тем, что дополнительно производят одновременную запись величин напряжения, тока на входах силового преобразователя и электродвигателя и вибрации корпуса электродвигателя, далее регистрируют косвенные параметры, включая влажность, среднюю температуру  
30 окружающей среды, прочность изоляции, влияющих на техническое состояние электродвигателя, а затем обрабатывают полученные данные с помощью программного обеспечения, основанного на работе искусственной нейронной сети, на выходе которого получают количественную и качественную оценку технического состояния и остаточного  
35 ресурса.

40

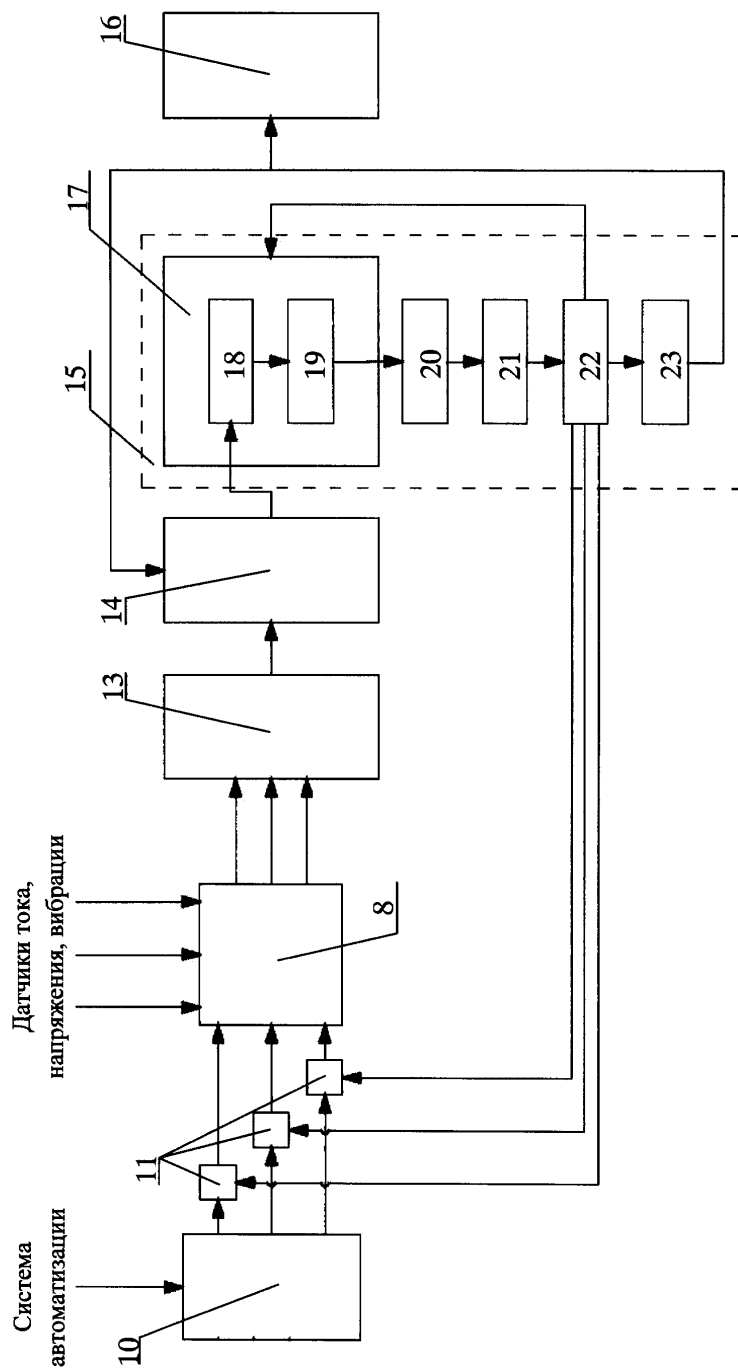
45

СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО АГРЕГАТА С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ



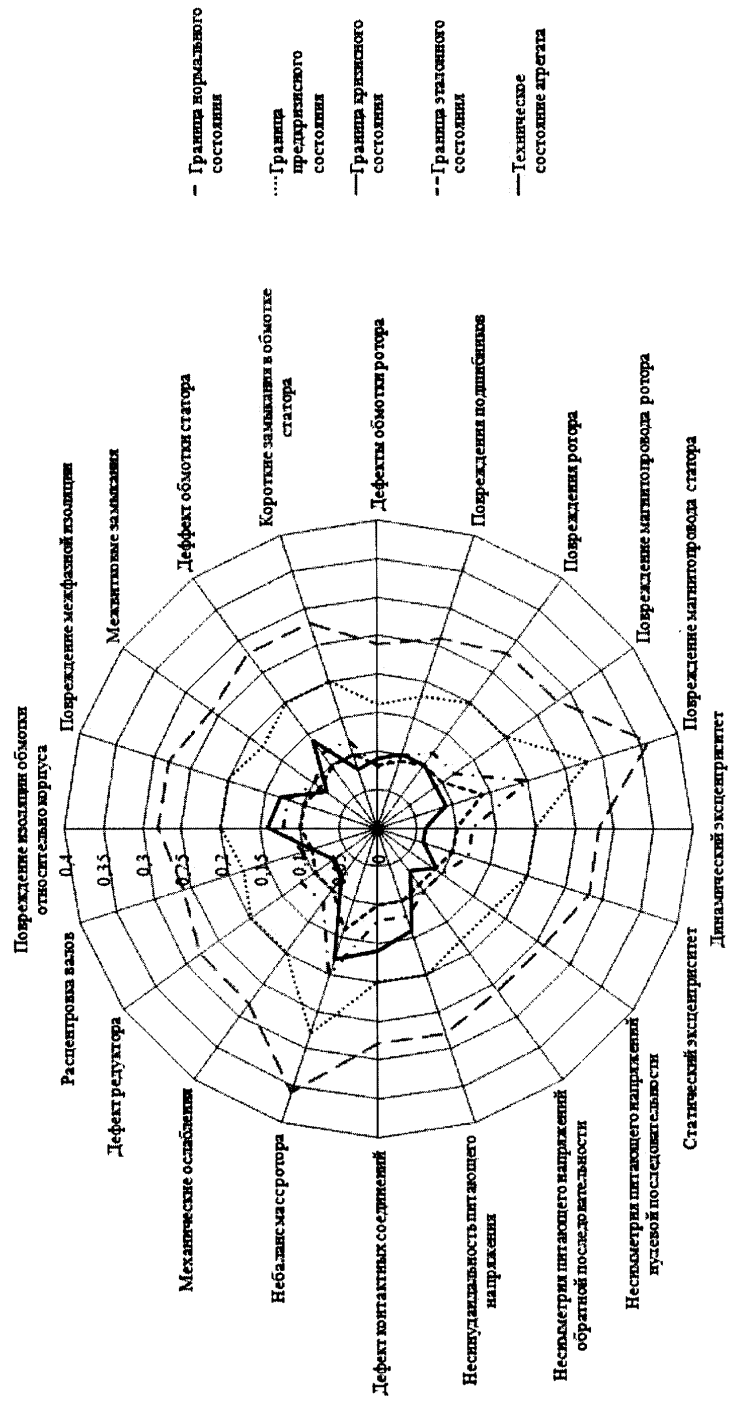
Фиг. 1

**СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО АГРЕГАТА С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**



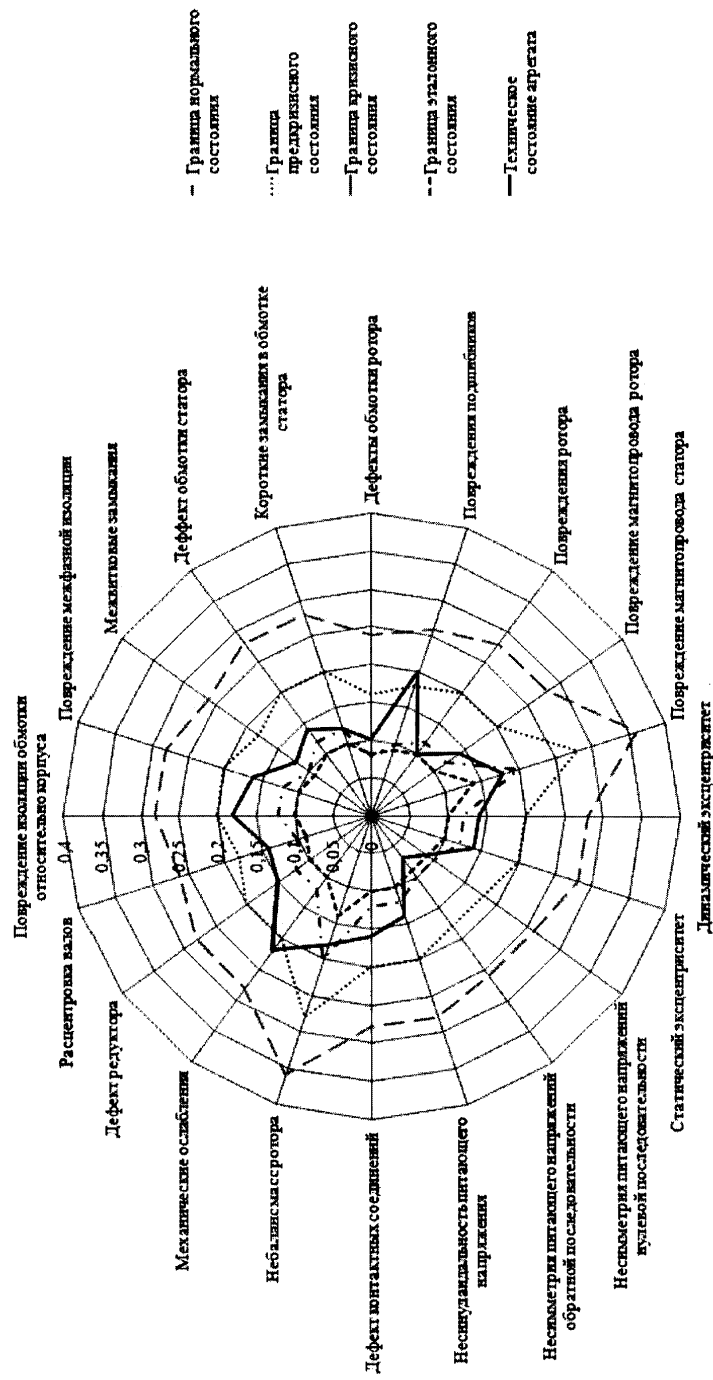
Фиг. 2

**СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО АГРЕГАТА С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**



Фиг. 3

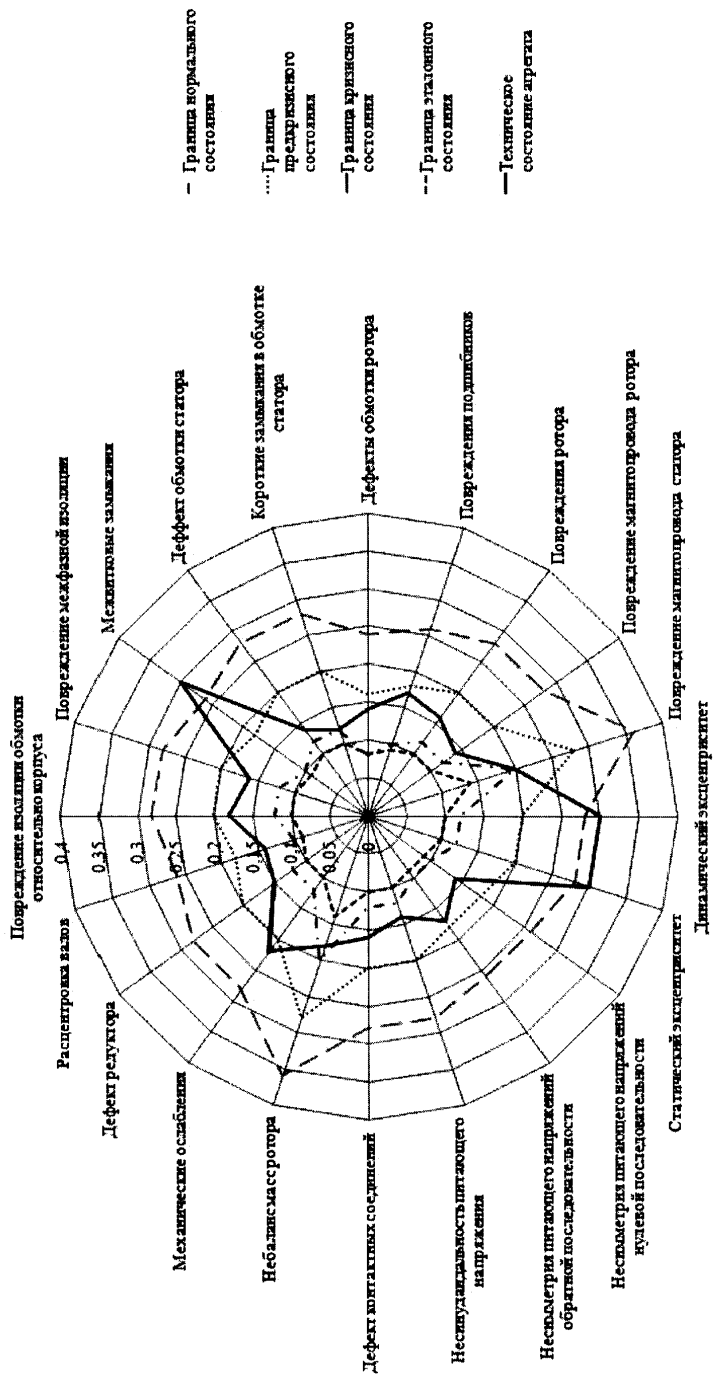
**СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО АГРЕГАТА С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**



**Фиг. 4**



**СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО АГРЕГАТА С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**



Фиг. 5