

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **044656**

(13) **B1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2023.09.20**

**(51)** Int. Cl. **G01M 13/045 (2019.01)**

**(21)** Номер заявки  
**202390109**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2020.11.27**

---

**(54) СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РОТОРНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**

---

**(31)** 2020128922

**(32)** 2020.09.01

**(33)** RU

**(43)** 2023.04.27

**(86)** PCT/RU2020/000639

**(87)** WO 2022/050865 2022.03.10

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:  
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
"РОССИЙСКИЙ КОНЦЕРН  
ПО ПРОИЗВОДСТВУ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОЙ  
ЭНЕРГИИ НА АТОМНЫХ  
СТАНЦИЯХ"; ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
"НАЦИОНАЛЬНЫЙ**

**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ "МИФИ" (НИЯУ  
МИФИ); ЧАСТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ  
НАУЧНОГО РАЗВИТИЯ  
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ "НАУКА  
И ИННОВАЦИИ" (ЧАСТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ "НАУКА И  
ИННОВАЦИИ") (RU)**

**(72)** Изобретатель:  
**Абидова Елена Александровна,  
Бабенко Роман Геннадьевич (RU)**

**(74)** Представитель:  
**Снегов К.Г. (RU)**

**(56)** RU-C2-2552854  
RU-C1-2456629  
CN-A-101363901  
US-A1-20070156373

**(57)** Изобретение относится к способам диагностики технического состояния электроприводного оборудования и может быть использовано для мониторинга вибраций роторного оборудования атомных станций. В способе за контрольный промежуток времени измеряют и записывают диагностические сигналы в процессе работы проверяемого оборудования, разбивают записи эталонного сигнала и сигнала проверяемого оборудования на пять участков продолжительностью не менее двух секунд, каждый участок записи эталонного и проверяемого сигналов, преобразовывают в спектр, представляющий собой распределение амплитуд по частотам, осуществляют выборку амплитуд спектров диагностических сигналов проверяемого и исправного оборудования на частотах проявления отклонений проверяемого и эталонного сигналов, вычисляют модули разности амплитуд спектров проверяемого и исправного оборудования и осуществляют ранжирование модулей разности и суммирование полученных рангов. Сумму полученных рангов сравнивают с критическим значением и делают вывод о превышении роторным оборудованием регламентированных значений вибрации и неисправности в случае, если сумма полученных рангов превышает критическое значение.

**B1**

**044656**

**044656**

**B1**

Изобретение относится к области технической диагностики, в частности к способам диагностики технического состояния электроприводного оборудования, и может быть использовано для мониторинга вибраций роторного оборудования атомных станций.

Контроль технического состояния роторного оборудования необходим для выявления дефектов, связанных с явлениями износа вращающихся элементов; перекосом, дефектом подшипников; неравномерностью воздушного зазора между ротором и статором двигателя; идентификацией дефектов деталей редуктора - подшипников, кинематических пар.

Известен способ диагностирования электрооборудования (патент РФ на изобретение № 2117957), заключающийся в определении технического состояния электроприводного оборудования непосредственно по "портрету" внешнего низкочастотного электромагнитного поля, при этом сигнал, индуцируемый под действием магнитной напряженности в катушке измерительного элемента, размещенного в зоне лобовых частей обмотки статора электродвигателя, после его преобразования и регистрации сравнивают с исходными величинами внешнего поля, хранящимися в банке данных и соответствующих различным режимам работы электродвигателя.

Недостатками вышеуказанных технических решений является использование дополнительного оборудования, что повышает материальные и эксплуатационные затраты и усложняет процесс диагностики.

Наиболее близким аналогом к заявляемому техническому решению является способ диагностики технического состояния электроприводной арматуры (патент РФ на изобретение № 2456629), заключающийся в сравнении измеряемых величин спектра тока электродвигателя с исходными величинами, хранящимися в базе данных, и включающий измерение в процессе работы электродвигателя механических вибраций, фиксируемых в электрическом сигнале тока в обмотках статора асинхронного электродвигателя, который используют в качестве датчика вибраций, причем после измерения сигнала тока со статора асинхронного двигателя осуществляют его обработку и преобразование, при этом в качестве диагностического параметра используют спектр тока, причем частота сигнала тока нормирована к частоте сети, а по изменению амплитуды собственных частот узлов арматуры и электропривода судят о развитии дефекта, при этом при неизменной амплитуде ставят диагностическое заключение "норма", при слабом линейном росте амплитуды - диагностическое заключение "работоспособное состояние", при экспоненциальном или параболическом росте - диагностическое заключение "состояние, предшествующее отказу оборудования", а при появлении различий между измеряемыми и базовыми величинами спектра, превышающих допустимые параметры рассогласования, делают вывод о неисправности конкретного узла электроприводной арматуры.

Недостатком ближайшего аналога является низкая точность измерений диагностических сигналов, определяемых в виде амплитуд и отличающихся на разных временных участках.

Задачей, достигаемой предлагаемым изобретением является повышение качества обнаружения неисправности роторного оборудования для анализа возможности его дальнейшей эксплуатации.

Технический результат, достигаемый настоящим изобретением, заключается в снижении погрешности измерений и анализа диагностических сигналов.

Сущность изобретения состоит в том, что в способе диагностики технического состояния роторного оборудования, заключающемся в определении и оценке механических вибраций оборудования, предложено предварительно измерять и записывать за контрольный промежуток времени величину эталонного диагностического сигнала заведомо исправного оборудования того же типа, что и проверяемое роторное оборудование, а затем за контрольный промежуток времени измерять и записывать диагностические сигналы в процессе работы проверяемого оборудования, после чего разбивать произведённые записи эталонного сигнала и сигнала проверяемого оборудования на не менее чем пять участков продолжительностью не менее двух секунд, каждый участок записи эталонного и проверяемого сигналов преобразовывать в спектр, представляющий собой распределение амплитуд по частотам, осуществлять выборку амплитуд спектров диагностических сигналов проверяемого и исправного оборудования на частотах проявления отклонений проверяемого и эталонного сигналов, а затем вычислять модули разности амплитуд спектров проверяемого и исправного оборудования и осуществлять ранжирование модулей разности и суммирование полученных рангов, а сумму полученных рангов сравнивать с критическим значением, после чего делать вывод о превышении роторным оборудованием регламентированных значений вибрации и, как следствие, его неисправности в случае, если сумма полученных рангов превышает критическое значение, или об исправности оборудования электродвигателя, если сумма полученных рангов меньше критического значения.

Также предложено в качестве диагностического сигнала использовать виброускорение.

Критическое значение предложено определять в зависимости от уровня значимости и объёма выборки по Т-критерию Уилкоксона.

Предлагаемый способ осуществляется следующим образом.

Диагностику вибраций роторного оборудования осуществляют виброакустическими датчиками АР2043 путем измерений значения виброускорения. Виброакустические датчики устанавливают в соответствии с ГОСТ ИСО 10816. Требования к периодичности диагностирования в зависимости от состоя-

ния оборудования устанавливаются нормативными документами предприятия.

Сначала предварительно измеряют и записывают за контрольный промежуток времени величину эталонного диагностического сигнала заведомо исправного оборудования того же типа, что и проверяемое роторное оборудование. Затем за контрольный промежуток времени измеряют и записывают диагностические сигналы в процессе работы проверяемого оборудования.

После чего разбивают произведённые записи эталонного сигнала и сигнала проверяемого оборудования на не менее чем пять участков продолжительностью не менее двух секунд, а каждый участок записи эталонного и проверяемого сигналов преобразуют в спектр, представляющий собой распределение амплитуд по частотам.

Затем осуществляют выборку амплитуд спектров диагностических сигналов проверяемого и исправного оборудования на частотах проявления отклонений проверяемого и эталонного сигналов и вычисляют модули разности амплитуд спектров проверяемого и исправного оборудования.

После этого осуществляют ранжирование модулей разности и суммирование полученных рангов, а сумму полученных рангов сравнивают с критическим значением.

На основании проведенных операций делают вывод о превышении роторным оборудованием регламентированных значений вибрации и, как следствие, его неисправности в случае, если сумма полученных рангов превышает критическое значение, или об исправности оборудования электродвигателя, если сумма полученных рангов меньше критического значения.

Способ диагностики технического состояния роторного оборудования был реализован на Нововоронежской АЭС и поясняется следующим примером. Результат полученных измерений и анализа приведен на фиг. 1, где представлен полученный график спектров исправного и неисправного оборудования, и в таблице на фиг. 2.

Были измерены сигналы вибрации исправного оборудования и оборудования подшипника роторного оборудования с предполагаемым дефектом подшипника. Каждый сигнал был разбит на десять фрагментов длительностью в две секунды и на каждом участке был построен спектр Фурье. Амплитуды были измерены на характерных частотах сепаратора 7 Гц и тел качения 83 Гц, при этом результаты занесены в колонки 1-4 таблицы на фиг. 1. Для обеих частот были вычислены разности амплитуд спектров в исправном и неисправном состояниях (колонки 5 и 6 таблицы на фиг. 1). Модули разностей отсортированы по возрастанию, при этом меньшей разности приписан меньший ранг (колонки 7 и 8 таблицы на фиг. 1). Инверсные ранги просуммированы (строка 11 таблицы на фиг. 1) и сравнены с критическими значениями для двух различных уровней значимости (строки 12 и 13 таблицы на фиг. 1). Амплитуда на частоте сепаратора 7 Гц в четырех случаях из десяти увеличивалась при наличии дефекта, в двух не изменялась, а в четырех уменьшалась. Сумма рангов оказалась значительно больше критической, следовательно, амплитуда на данной частоте не характеризует состояние. Амплитуды на частоте наружного кольца в большинстве случаев растут, а если снижаются, то редко и незначительно, в соответствии с критерием Вилкоксона, данные амплитуды являются надежными диагностическими признаками. Анализ спектра, включающий оценку диагностических признаков по критерию Вилкоксона, указал на наличие дефекта подшипника диагностируемого роторного оборудования.

Предлагаемый способ может быть использован на АЭС, а также для контроля технического состояния роторного оборудования на предприятиях и объектах техники, теплоэнергетики и других отраслей промышленности.

Использование предлагаемого способа позволяет повысить качество обнаружения неисправности роторного оборудования, например, динамических насосов и вентиляторов, входящих в состав систем энергоблоков АЭС, что позволит повысить уровень безопасной эксплуатации атомных станций.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ диагностики технического состояния роторного оборудования, заключающийся в определении и оценке механических вибраций оборудования, отличающийся тем, что предварительно измеряют и записывают за контрольный промежуток времени величину эталонного диагностического сигнала заведомо исправного оборудования того же типа, что и проверяемое роторное оборудование, а затем за контрольный промежуток времени измеряют и записывают диагностические сигналы в процессе работы проверяемого оборудования, после чего разбивают произведённые записи эталонного сигнала и сигнала проверяемого оборудования на не менее чем пять участков продолжительностью не менее двух секунд, каждый участок записи эталонного и проверяемого сигналов преобразуют в спектр, представляющий собой распределение амплитуд по частотам, осуществляют выборку амплитуд спектров диагностических сигналов проверяемого и исправного оборудования на частотах проявления отклонений проверяемого и эталонного сигналов, а затем вычисляют модули разности амплитуд спектров проверяемого и исправного оборудования и осуществляют ранжирование модулей разности и суммирование полученных рангов, а сумму полученных рангов сравнивают с критическим значением, после чего делают вывод о превышении роторным оборудованием регламентированных значений вибрации и, как следствие, его неисправности в случае, если сумма полученных рангов превышает критическое значение, или об исправности

оборудования электродвигателя, если сумма полученных рангов меньше критического значения.

2. Способ диагностики технического состояния роторного оборудования по п.1, отличающийся тем, что в качестве диагностического сигнала используют виброускорение.

3. Способ диагностики технического состояния роторного оборудования по п.1, отличающийся тем, что критическое значение определяют в зависимости от уровня значимости и объёма выборки по Т-критерию Уилкоксона.



Фиг. 1

Выборки	Амплитуда (эталон), -дБ		Амплитуда, -дБ		Сдвиги		Ранги	
	7	83	7	83	7	83	7	83
Частота, Гц	1	2	3	4	5	6	7	8
1	48,3	48	40	48,2	8,3	-0,2	7	1
2	45	57	45	41	0	16		9
3	46	43	59	21	-13	22	8	10
4	46,2	50	48	47	-1,8	3	1	4
5	47,1	41	45	36	2,1	5	2	6
6	41	57	49	42	-8	15	6	8
7	43	47	46	43	-3	4	4	5
8	42	53	42	45	0	8		7
9	51,2	47	49	48	2,2	-1	3	2
10	47	46	43	44	4	2	5	3
11	Сумма инверсных рангов						19	3
12	Критическая сумма при уровне значимости $p=0,05$						5	10
13	Критическая сумма при уровне значимости $p=0,05$						1	5

Фиг. 2



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2