

Научная статья

УДК 681.5.08:62-83

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-59-66

Лобур Ирина Анатольевна, кандидат техн. наук, доцент, Негадаев Владислав Александрович, кандидат техн. наук, доцент, Гаргаев Андрей Николаевич, кандидат техн. наук, доцент, Котляров Роман Витальевич*, кандидат техн. наук, доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

*E-mail: kotlyarovrv@kuzstu.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ



Информация о статье

Поступила:

10 декабря 2021 г.

Одобрена после

рецензирования:

14 мая 2022 г.

Принята к печати:

22 июня 2022 г.

Ключевые слова:

электропривод, автоматизированная система диагностики, цифровые датчики, ZETLAB, Python.

Аннотация.

Эффективное функционирование современных предприятий энергетической отрасли основано на надежной работе агрегатов с электроприводом. Актуальной задачей является поддержание электропривода в рабочем состоянии. Решение задачи осуществляется не только регулярным техническим обслуживанием электродвигателя, но и непрерывным контролем его состояния во время работы. Предложена автоматизированная система диагностики состояния агрегатов с электроприводом, которая выполняет поиск, определение, выявление и предупреждение отказов и неисправностей электродвигателей, поддержание эксплуатационных показателей в установленных пределах, прогнозирование состояния в целях максимального использования ресурса агрегатов собственных нужд. Выявлены возможные источники неисправности и методы их диагностики. Выбраны технические средства ZETLAB, которые позволяют своевременно диагностировать аварийный режим, обнаруживать возникающие проблемы и избежать поломки оборудования. Автоматизированная система диагностики состояния агрегатов с электроприводом в целях повышения надежности работы и сбора данных предполагает ввод нескольких сигналов о параметрах в режиме резервирования. Разработаны блок-схемы алгоритмов обработки входных сигналов системой резервирования. Для реализации алгоритмов использован язык Python. Определены суммарные затраты на создание автоматизированной системы диагностики без учета затрат на потребление электроэнергии. Авторы считают, что внедрение автоматизированной системы диагностики экономически целесообразно.

Для цитирования: Лобур И.А., Негадаев В.А., Гаргаев А.Н., Котляров Р.В. Автоматизированная система диагностики состояния агрегатов с электроприводом // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 3 (161). С. 59-66. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-59-66

Эффективное функционирование современных предприятий энергетической отрасли основано на надежной работе технологического оборудования, в том числе оборудования, неотъемлемой частью которого является электродвигатель. Поломка электродвигателя приводит не только к материальным и временным затратам на его ремонт или замену. В случае с производством это еще и нарушение технологических процессов, выпуск брака, финансовые потери и пр. Конечно, в некоторых случаях возможна работа двигателя в неисправном состоянии, но это может привести к повышенному

потреблению электроэнергии, износу оборудования, возгоранию и даже к несчастным случаям.

Таким образом, необходимо обеспечить не только регулярное техническое обслуживание электродвигателя, но и непрерывный контроль его состояния во время работы [1, 2]. Однако технологическое оборудование предприятий насчитывает десятки, иногда сотни единиц. При этом отличаются функциональные особенности технологического оборудования, технические характеристики, режимы и условия работы электродвигателей.

В связи с этим разработана автоматизированная система диагностики оборудования с электроприводом, осуществляющей определение, выявление и предупреждение отказов и неисправностей электродвигателей, поддержание эксплуатационных показателей в установленных пределах, прогнозирование состояния в целях максимального использования ресурса оборудования является актуальной задачей. Внедрение автоматизированной системы диагностики является одним из ключевых факторов роста экономической эффективности предприятия.

В качестве объекта исследования выбрана автоматизированная система диагностики состояния агрегатов с электроприводом.

Автоматизированная система диагностики состояния агрегатов с электроприводом выполняет определение, выявление и предупреждение отказов и неисправностей электродвигателей, поддержание эксплуатационных показателей в установленных пределах, прогнозирование состояния в целях максимального использования ресурса агрегатов [3].

На основе литературного обзора выявлены возможные источники неисправности и методы их диагностики. К основным могут быть отнесены:

1) Уровень вибрации. Повышение уровня вибрации электродвигателя может возникнуть в результате неисправности подшипников, наличия дефектов их посадочных мест, поломок корпуса, повреждений механического привода и элементов монтажа. Повышение уровня вибрации значительно снижает надежность электродвигателя и главным образом губительна для его подшипников. Повышенный уровень вибрации вызывает изгибы и изломы вала, появление трещин в станине статора

и в торцевой крышке, повреждения опорной рамы и фундамента. Повышение уровня вибрации ускоряет износ изоляции обмоток.

Изменение уровня вибрации может быть зафиксировано акустическим методом, предполагающим использование вибродатчиков, или токовым методом [4, 5, 6, 7, 8].

2) Нагрев обмотки статора и подшипников. Нагрев может оказывать негативное воздействие на работоспособность электродвигателя, значительно снижать сроки его эксплуатации. Причиной нагрева обмотки статора и подшипников чаще всего является работа электродвигателя в режиме круглоскоростной нагрузки. В результате нагрева может произойти заклинивание подшипников, частичное или полное разрушение изоляции обмоток, которое в свою очередь приводит к межвитковому замыканию. Также возможен перегрев обмоток и корпуса электродвигателя, который может быть вызван изменением параметров питающей сети, неисправностью электродвигателя, ухудшением условий охлаждения, увеличением момента на валу и т.д.

Поэтому для электродвигателей, работоспособность которых является критически важной, необходима постоянная диагностика температуры с помощью термодатчиков, например, терморезистивного, термисторного или биметаллического.

Установка датчиков температуры и уровня вибрации является наиболее эффективным способом продления срока эксплуатации электродвигателя и предотвращения его преждевременного выхода из строя, а следовательно, повышения надежности электропривода в целом. Датчики позволяют своевременно диагностировать аварийный режим, т.е.

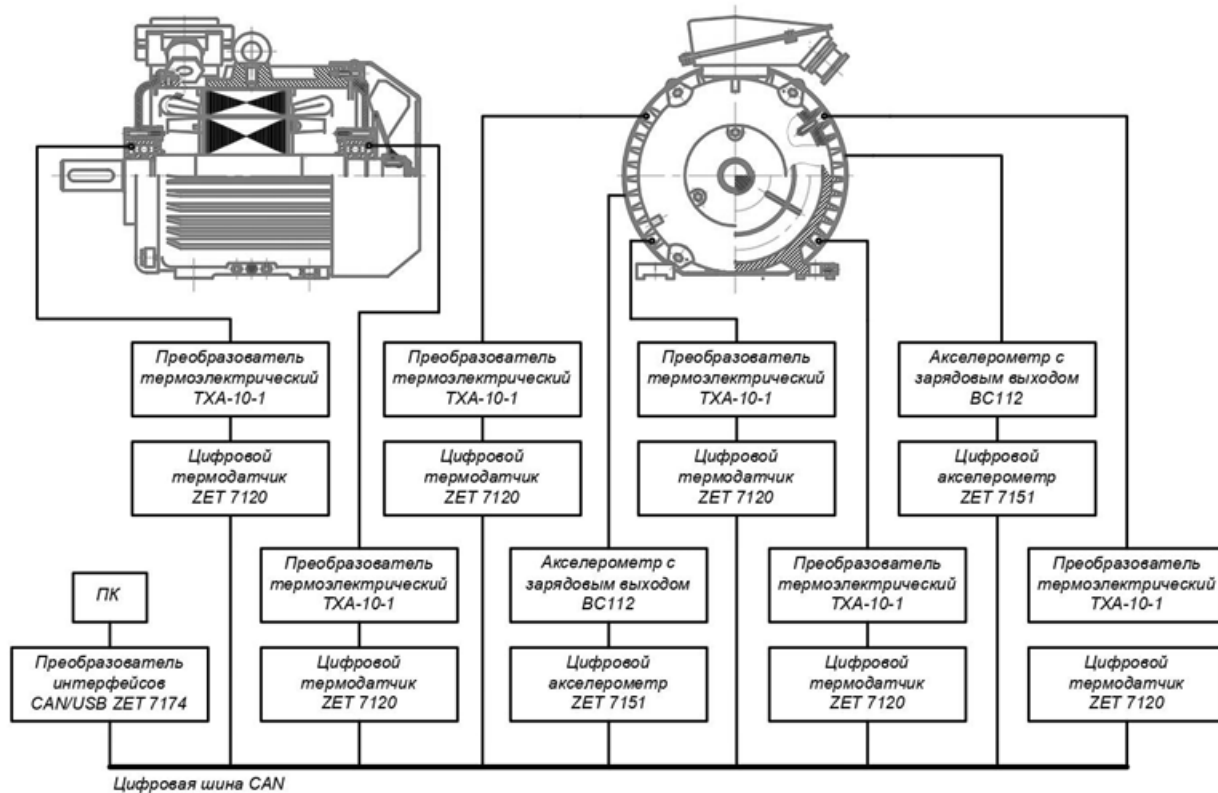


Рис. 1. Автоматизированная система диагностики
Fig. 1. Automated diagnostic system

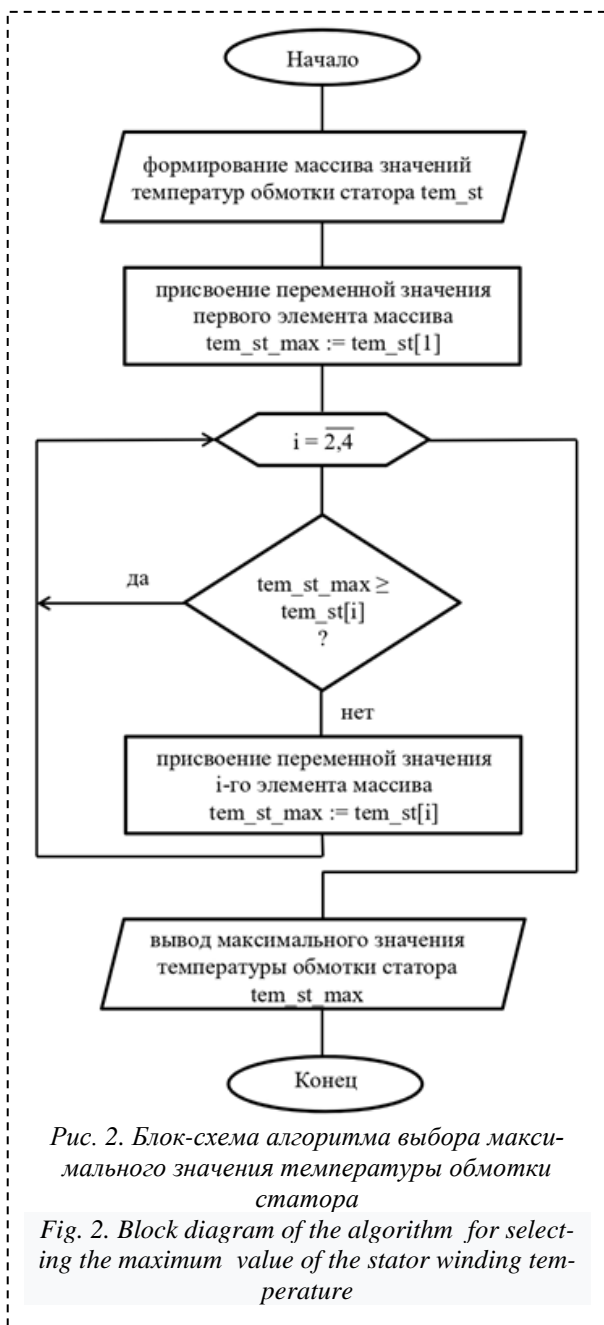


Рис. 2. Блок-схема алгоритма выбора максимального значения температуры обмотки статора

Fig. 2. Block diagram of the algorithm for selecting the maximum value of the stator winding temperature

своевременно обнаружить возникающие проблемы и избежать поломки оборудования [9, 10, 11].

Автоматизированная система диагностики должна обеспечивать измерение следующих параметров состояния асинхронного электродвигателя:

- 1) Температура обмотки статора 100-180°C.
- 2) Температура подшипников 90-100°C.

3) Уровень вибрации корпуса электродвигателя: не более 30 мкм при частоте вращения электродвигателя до 3000 об/мин, 60 мкм при частоте вращения 1500 об/мин, 80 мкм – до 1000 об/мин и 90 мкм – до 750 об/мин.

Средства автоматизации в составе автоматизированной системы диагностики должны обеспечить непрерывное измерение и преобразование сигналов в цифровой код. Передача информации должна осуществляться в цифровом коде по стандартному интерфейсу/протоколу [12, 13, 14].

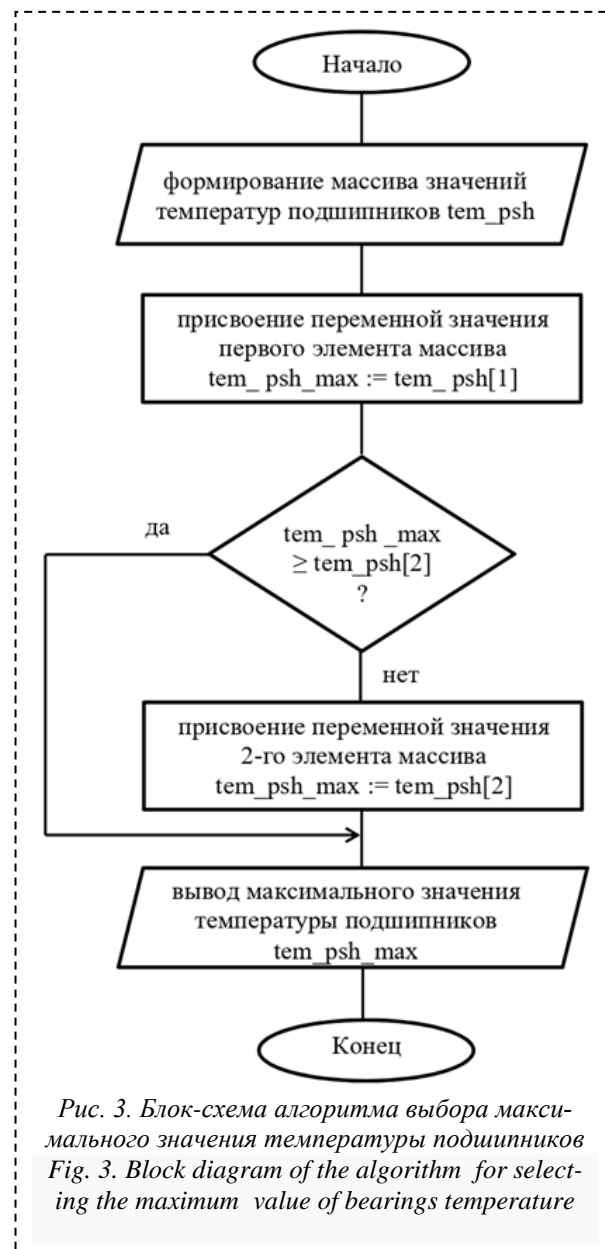


Рис. 3. Блок-схема алгоритма выбора максимального значения температуры подшипников
Fig. 3. Block diagram of the algorithm for selecting the maximum value of bearings temperature

Для измерения температуры обмотки статора и температуры подшипников выбран комплект приборов:

- а) преобразователь термоэлектрический ТХА-10-1;
- б) цифровой термодатчик ZET 7120.

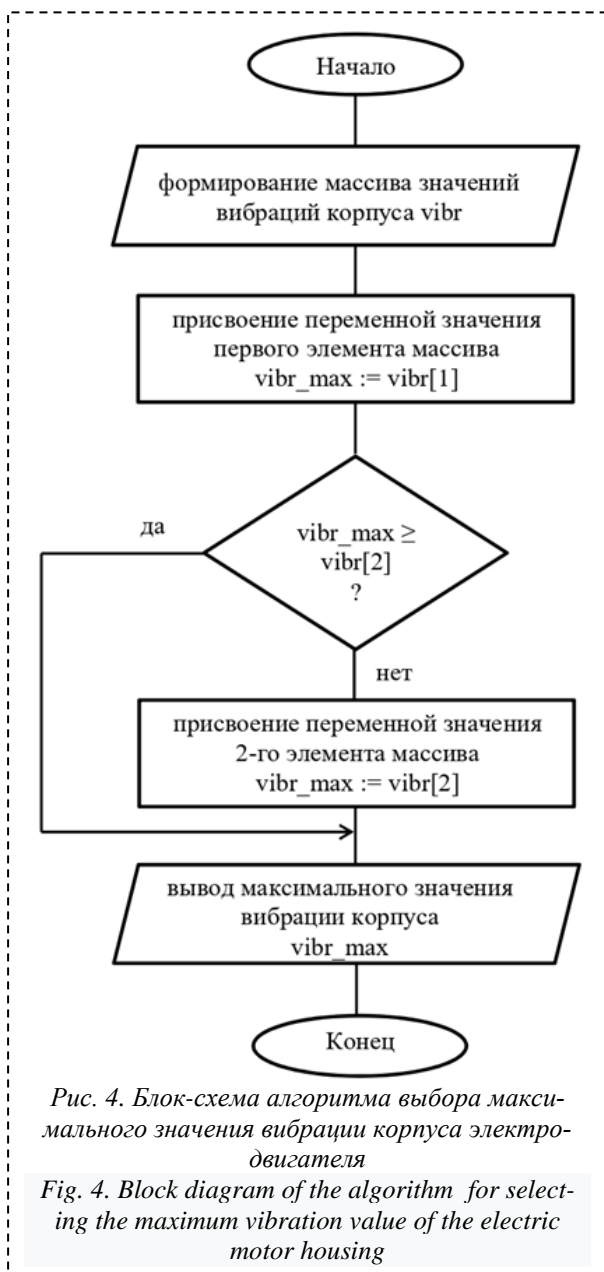
Для измерения уровня вибрации корпуса электродвигателя выбран комплект приборов:

- а) акселерометр с зарядовым выходом BC112;
- б) цифровой акселерометр ZET 7151.

Схема автоматизированной системы диагностики показана на рис. 1.

Питание выбранных приборов осуществляется напряжением 12 В постоянного тока. В качестве вторичного источника питания выбран блок питания ОВЕН БП15Б-Д2-12.

Для подключения выбранных комплектов приборов к ПК с целью организации единой системы сбора данных о состоянии электродвигателя используется преобразователь интерфейса CAN/USB ZET 7174.



Автоматизированная система диагностики состояния агрегатов с электроприводом в целях повышения надежности работы и сбора данных предполагает ввод нескольких сигналов о параметрах:

- а) температура обмотки статора – 4 точки ввода;
- б) температура подшипников – 2 точки ввода;
- в) уровень вибрации корпуса электродвигателя – 2 точки ввода.

Автоматизированная система формирует массив значений каждого параметра состояния, а затем выбирает максимальное значение по стандартному алгоритму поиска максимального элемента массива. Реализация алгоритма выбора максимального значения позволяет автоматизированной системе принимать решение о состоянии электродвигателя в условиях его максимального износа.

Блок-схема алгоритма выбора максимального значения температуры обмотки статора показана на рис. 2. Блок-схемы алгоритмов выбора максимального значения температуры подшипников и вибра-

ции корпуса электродвигателя показаны на рис. 3 и 4 соответственно.

Система сбора и регистрации данных, поступающих с выбранных приборов, в качестве программного обеспечения использует программную среду ZETLAB, которая включает следующие компоненты.

Программа записи сигналов в файлы предназначена для непрерывной регистрации сигналов в реальном масштабе времени, поступающих на входные каналы измерительных приборов. Для удобства последующей обработки сигналов предусмотрена возможность неограниченного числа записей текстовых и голосовых комментариев. Запись сигналов может осуществляться в кольцевой или прямой буфер оперативной памяти с последующей перезаписью на накопитель. Запись в таком режиме позволяет зарегистрировать с предысторией любое заранее неизвестное событие.

Записанные файлы проигрываются с помощью программы воспроизведения сигналов и при этом обрабатываются программами из состава ZETLAB так же, как в режиме реального времени. При включении воспроизведения проигрываемые сигналы становятся доступны для анализа и измерений во всех программах ZETLAB.

Программа позволяет выбрать скорость воспроизведения сигналов – ускоренное или в режиме реального времени. Также есть возможность воспроизводить сигнал не с начала, а с любого места записи. Интерфейс программы позволяет просматривать осциллограмму считываемого сигнала. Кроме того, записанные файлы могут быть конвертированы в текстовый формат и открыты программой просмотра и обработки результатов. Считывание записанных сигналов, поступающих от датчиков системы диагностики состояния агрегатов, осуществляется с помощью конвертера файлов.

Программа «Конвертер файлов» предназначена для открытия бинарных файлов и перевода хранимой информации в текстовый вид, более понятный для восприятия человеком. В дальнейшем созданный текстовый файл может быть открыт в любом текстовом редакторе, либо информация может быть скопирована в табличный редактор, в нашем случае MS Excel для дальнейшего более подробного анализа. Также созданный с помощью Конвертера файлов документ может быть открыт в различных программах ZETLAB. Для реализации алгоритмов обработки входных сигналов, разработанных в предыдущем разделе, использован язык Python. Python – популярный и динамический язык программирования, который позволяет решать разные задачи по разработке программного обеспечения, при выполнении которых часто используются массивы [15, 16, 17].

Реализация алгоритма выбора максимального значения температуры обмотки статора представлена на рис. 5, алгоритма выбора максимального значения температуры подшипников – на рис. 6, алгоритма выбора максимального значения вибрации корпуса электродвигателя – на рис. 7.

```

1 # получение данных из excel
2 tem_st[1] = sheet['A1'].value
3 tem_st[2] = sheet['B1'].value
4 tem_st[3] = sheet['C1'].value
5 tem_st[4] = sheet['D1'].value
6 # присвоение первого элемента массива
7 tem_st_max := tem_st[1]
8 # выбор максимального значения
9 for i in range(2, 4):
10     if tem_st_max < tem_st[i]:
11         tem_st_max = tem_st[i]
12 print(tem_st_max)

```

Рис. 5. Реализация алгоритма выбора максимального значения температуры обмотки статора

Fig. 5. Implementation of the algorithm for selecting the maximum value of the stator winding temperature

```

1 # получение данных из excel
2 tem_psh[1] = sheet['E1'].value
3 tem_psh[2] = sheet['F1'].value
4 # присвоение первого элемента массива
5 tem_psh_max := tem_psh[1]
6 # выбор максимального значения
7 if tem_psh_max < tem_psh[2]:
8     tem_psh_max = tem_psh[2]
9 print(tem_psh_max)

```

Рис. 6. Реализация алгоритма выбора максимального значения температуры подшипников

Fig. 6. Implementation of the algorithm for selecting the maximum temperature of bearings

```

1 # получение данных из excel
2 vibr[1] = sheet['G1'].value
3 vibr[2] = sheet['H1'].value
4 # присвоение первого элемента массива
5 vibr_max := vibr[1]
6 # выбор максимального значения
7 if vibr_max < vibr[2]:
8     vibr_max = vibr[2]
9 print(vibr_max)

```

Рис. 7. Реализация алгоритма выбора максимального значения вибрации корпуса электродвигателя

Fig. 7. Implementation of the algorithm for selecting the maximum vibration value of the motor housing

Затраты на приобретение приборов и средств автоматизации представлены в табл. 1.

Суммарные затраты без учета затрат на потребление электроэнергии составляют не так мало. Однако использование автоматизированной системы диагностики электродвигателя в составе электропривода, например, котлоагрегата ТЭЦ, позволяет значительно повысить надежность его работы, следовательно, обеспечить непрерывную выработку тепловой и электрической энергии. В этом случае потери, связанные с простоем котлоагрегата, на несколько порядков выше стоимости технического обеспечения автоматизированной системы диагностики. Поэтому можно считать, что ее внедрение экономически целесообразно.

Выводы

1. Предложено научно-техническое решение по предотвращению отказов электрооборудования в виде автоматизированной системы диагностики состояния агрегатов с электроприводом.

2. Выбрано техническое обеспечение фирмы ZETLAB, позволяющее обеспечить непрерывное измерение сигналов о состоянии электродвигателя, их преобразование в цифровой код и передачу на рабочее место оператора.

3. Разработаны алгоритмы обработки сигналов, поступающих от датчиков, находящихся в режиме «горячего» резервирования. Выполнена их программная реализация на языке Python.

4. Внедрение автоматизированной системы диагностики состояния агрегатов с электроприводом позволяет повысить вероятность безотказной работы электродвигателей, агрегатов, снизить интенсивность их отказов и продлить их среднее время безотказной работы.

5. Внедрение автоматизированной системы диагностики является экономически эффективным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров Н. А., Голубев К. В. Интеллектуальная диагностика электрических машин // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2020. № 5. С. 28-32.
2. Харламов В. В., Шкодун П. К. Шестаков И. В. Автоматизированная система комплексной диагностики состояния изоляции тяговых электродвигателей // Известия Транссиба. 2015. № 4(24). С. 62-68.
3. Тергулов О. А. Автоматизированная система диагностики изоляции тяговых электродвигателей электровозов на основе нанointерферометрических оптоволоконных датчиков // Наука и техника транспорта. 2020. № 3. С. 35-39.
4. Ишметьев Е. Н., Чистяков Д. В., Панов А. Н., Бодров Е. Э., Врabel М. Системы виброзащиты, виброконтроля и вибродиагностики промышленного оборудования // Электротехнические системы и комплексы. 2019. № 1(42). С. 67-73.
5. Панов А. Н., Бодров Е. Э., Лысенко А. А., Кривошеев Д. А., Киртянов Н. И. Применение направленного микрофона для диагностики технического состояния электропривода по его акустической вибрации // Электротехнические системы и комплексы. 2019. № 4(45). С. 58-63.
6. Буряк С. Ю., Гаврилюк В. И., Гололобова О. А., Безнарытний А. М. Исследование диагностических признаков стрелочных электроприводов переменного тока // Наука и прогресс на транспорте. 2014. № 4(52). С. 7-22.
7. Бодров Е. Э., Киртянов Н. И. Бесконтактная акустическая диагностика технического состояния электродвигателя // Автоматизированные технологии и производства. 2019. № 2(20). С. 9-13.
8. Тергулов О. А. Новые подходы к оценке состояния изоляционного материала тяговых электродвигателей электровозов // Мир транспорта. 2020. № 2(87). С. 102-115.

Таблица 1. Затраты на приобретение приборов и средств автоматизации
Table 1. Costs of devices and automation equipment

Наименование и марка приборов и средств автоматизации	Количество единиц	Цена за единицу, руб.	Общая стоимость, руб.
Преобразователь термоэлектрический ТХА-10-1	6	4800	28800
Цифровой термодатчик ZET 7120	6	6720	40320
Акселерометр с зарядовым выходом BC112	2	23640	47280
Цифровой акселерометр ZET 7151	2	21559	43118
Блок питания БП15Б	9	2460	22140
Преобразователь интерфейса CAN/USB ZET 7174	1	15388	15388
Итого:	-	-	197046

9. Буряк С. Ю., Гаврилюк В. И., Гололобова О. А. Внедрение системы технической диагностики стрелочных переводов // Наука и прогресс транспорта. 2015. № 3(57). С. 7-26.

10. Степанов С. Е. Модели и алгоритмы диагностирования электромеханических систем с использованием штатного энергооборудования // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2019. № 4(117). С. 5-11.

11. Костин А. М., Яблоков А. Е., Благовещенский И. Г., Носенко С. М. Распределенные автоматизированные системы интеллектуального мониторинга оборудования пищевых предприятий // Пищевая промышленность. 2015. № 6. С. 26-30.

12. Асонов С. А., Иванова П. В., Иванов С. Л., Шишлянников Д. И. Обоснование интегрального диагностического комплекса для оценки технического состояния приводов проходческо-очистных комбайнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 1. С. 18-26.

13. Сагдатуллин А. М. Система автоматизированного управления приводом добывающей сква-

жины эксплуатируемой скважинным погружным электроцентробежным насосом // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. 2015. № 1(13). С. 222-228.

14. Фомин А. В., Фомин Е. В. Автоматизация стенда испытаний судовых электрических машин // Морские интеллектуальные технологии. 2020. № 1-1(47). С. 79-83.

15. Скалзуб В. В., Осовик В. Н. Автоматизированное нечеткое интеллектуальное управление эксплуатацией парков железнодорожных технических систем на основе параметров текущего состояния // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. 2015. № 2(31). С. 57-59.

16. Buryak S. Yu. Mathematical modeling of ac electric point motor // Science and Transport Progress. 2014. № 2(50). P. 7-20.

17. Fomin O., Pavlenko V., Ruban O., Fedorova N. Construction of the diagnostic model based on combining spectral characteristics of nonlinear dynamic objects // Applied aspects of information technology. 2020. № 1(3). P. 431-442.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Лобур Ирина Анатольевна, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат технических наук, доцент,

Негадаев Владислав Александрович, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат технических наук, доцент,

Гаргаев Андрей Николаевич, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат технических наук, доцент,

Котляров Роман Витальевич, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат технических наук, доцент, kotlyarovrv@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Лобур И.А. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Негадаев В.А. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Гаргаев А.Н. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Котляров Р.В. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-59-66

Irina A. Lobur, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Vladislav A. Negadaev**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Andrey N. Gargaev**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Roman V. Kotlyarov**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor*

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*E-mail: kotlyarovrv@kuzstu.ru

AUTOMATED SYSTEM FOR DIAGNOSTICS OF THE STATE OF ELECTRIC DRIVE UNITS

Abstract.

The effective functioning of modern enterprises of the energy industry is based on the reliable operation of units with electric drives. An urgent task is to maintain the electric drive in working condition. The solution to the problem is not only regular maintenance of the electric motor, but also continuous monitoring of its condition during operation. An automated system for diagnosing the condition of electric drive units is proposed, which performs troubleshooting and prevention of failures and malfunctions of electric motors, maintaining operational indicators within the established limits, predicting the condition in order to maximize the life of the service units for their own needs. Possible sources of malfunction and methods of their diagnostics are identified. The technical means of ZETLAB have been selected, which allow timely diagnosis of emergency mode, timely detection of emerging problems and avoidance of equipment breakdown. The automated system for diagnosing the condition of electric drive units in order to increase the reliability of operation and data collection involves the input of several parameter signals in the backup mode. Block diagrams of algorithms for processing input signals by the data backup system have been developed. Python is used to implement the algorithms. The total costs of creating an automated diagnostic system without taking into account the costs of electricity consumption are determined. The authors believe that the introduction of an automated diagnostic system is economically feasible.



Article info

Received:

10 December 2021

Accepted for publication:

14 May 2022

Accepted:

22 June 2022

Keywords: electric drive, automated diagnostic system, digital sensors, ZETLAB, Python

For citation: Lobur I.A., Negadaev V.A., Gargaev A.N., Kotlyarov R.V. Automated system for diagnostics of the state of electric drive units, 2022; 3(161):59-66 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-59-66

REFERENCES

1. Zakharov N.A., Golubev K.V. Intelligent diagnostics of electric machines. *Electrical equipment: operation and repair*. 2020; 5: 28-32.

2. Harlamov V.V., Shkodun P.K., Shestakov I.V. Automated full-service system for traction machines insulation diagnostics. *Journal of Transsib Railway Studies*. 2015; 4(24): 62-68.

3. Teregulov O.A. Automated system for diagnostics of isolation of electric locomotive traction motors

based on nano-interferometric optical fibre sensors. *Science and technology in transport*. 2020; 3: 35-39.

4. Ishmetiev E.N., Chistyakov D.V., Panov A.N., Bodrov E.E., Vrabel M. Vibration protection, control and analysis systems for industrial application. *Electrotechnical Systems and Complexes*. 2019; 1(42): 67-73.

5. Panov A.N., Bodrov E.E., Lysenko A.A., Krivosheev D.A., Kiryanov N.I. Diagnostics of electric drive by its acoustic vibration using a condenser microphone. *Electrotechnical Systems and Complexes*. 2019; 4(45): 58-63.

6. Buryak S.Yu., Gavrilyuk V.I., Hololobova O.O., Beznarytnyy A.M. Diagnostic features research of AC electric point motors. *Science and Transport Progress*. 2014; 4(52): 7-22.

7. Bodrov E.E., Kirtyanov N.I. Non-contact acoustic diagnostics of technical condition of electric motor. *Automation of technologies and production*. 2019; 2(20): 9-13.

8. Teregulov O.A. New approaches to assessing state of insulating material of traction electric motors of electric locomotives. *World of Transport and Transportation Journal*. 2020; 2(87): 102-115.

9. Buryak S.Yu., Havrilyuk V.I., Hololobova O.O. Implementation of turnouts technical diagnostics systems. *Science and Transport Progress*. 2015; 3(57): 7-26.

10. Stepanov S.E. Models and algorithms for diagnosis electromechanical systems with use state energy equipment. *Automation and IT in the energy sector*. 2019; 4(117): 5-11.

11. Kostin A.M., Yablokov A.E., Blagoveshchenskii I.G., Nosenko S.M. Distributed automated system for intelligent monitoring of the equipment of grain processing enterprises. *Food Industry*, 2015; 6: 26-30.

12. Asonov S.A., Ivanova P.V., Ivanov S.L., Shishlyannikov D.I. Validation of integrated diagnostic system for status evaluation of heading-and-winning machine drives. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2017; 1: 18-26.

13. Sagdatullin A.M. Automated drive control system for production wells operated with downhole electric submersible pump. *Scientific notes of Almeteyevsk State Oil Institute*. 2015; 1(13): 222-228.

14. Fomin A.V., Fomin E.V. Automation of the test bench of ship electrical equipment. Marine intellectual technologies. 2020; 1-1(47): 79-83.

15. Skalozub V.V., Osovik V.N. Automated fuzzy intelligent control parks of railway operating systems based on technical parameters of current state. Bulletin of BSUT: science and transport. 2015; 2(31): 57-59.

16. Buryak S.Yu. Mathematical modeling of ac electric point motor. *Science and Transport Progress*. 2014; 2(50): 7-20.

17. Fomin O., Pavlenko V., Ruban O., Fedorova H. Construction of the diagnostic model based on combining spectral characteristics of nonlinear dynamic objects. *Applied aspects of information technology*. 2020; 1(3): 431-442.

© 2022 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The author declare no conflict of interest.

About the author:

Irina A. Lobur, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, 28 Vesennyyaya St., Kemerovo, Russia), C. Sc. (Engineering), Associate Professor

Vladislav A. Negadaev, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, 28 Vesennyyaya St., Kemerovo, Russia), C. Sc. (Engineering), Associate Professor

Andrey N. Gargaev, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, 28 Vesennyyaya St., Kemerovo, Russia), C. Sc. (Engineering), Associate Professor

Roman V. Kotlyarov, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, 28 Vesennyyaya St., Kemerovo, Russia), C. Sc. (Engineering), Associate Professor, kotlyarovrv@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Irina A. Lobur – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Vladislav A. Negadaev – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Andrey N. Gargaev – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Roman V. Kotlyarov – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Author have read and approved the final manuscript.

