

К. В. ХАЦЕВСКИЙ<sup>1</sup>  
А. Д. УМУРЗАКОВА<sup>2</sup>  
Н. А. ВОРОНИНА<sup>2</sup>  
Ю. Б. ИЧЕВА<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Омский государственный  
технический университет,  
г. Омск

<sup>2</sup>Томский  
политехнический университет,  
г. Томск

<sup>3</sup>Екибастузский инженерно-  
технический институт  
имени академика К. Сатпаева,  
Республика Казахстан,  
г. Екибастуз

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В статье рассмотрены вопросы, связанные с повышением надежности работы электрооборудования промышленных предприятий путем внедрения систем диагностики неисправностей. Предложен аппаратно-программный комплекс диагностики неисправностей трехфазного асинхронного электродвигателя.

**Ключевые слова:** диагностика, аппаратно-программный комплекс, неисправности электродвигателя, вибродиагностика, гармоники, аналогово-цифровой преобразователь.

Для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации промышленного электрооборудования требуется согласованное и надежное функционирование всех его конструктивных узлов. Для этого необходимо разработать интеллектуальную систему диагностирования, используя современные методы и средства технической диагностики. Основной задачей для разработки предложенной системы является повышение эффективности функционирования электрооборудования и возможность его диагностирования [1].

Возможная классификация мероприятий для повышения эффективности работы электродвигателей представлена на рис. 1.

Решение поставленных задач можно осуществить путем построения функциональной схемы, разработки аппаратно-программного комплекса диагностики технического состояния электродвигателя, алгоритмов комплексного многопараметрического диагностирования электродвигателя, оценки технического состояния электродвигателей, поиска неисправностей трехфазных асинхронных электродвигателей [2, 3].

При разработке средств, методов и алгоритмов диагностирования целесообразно использовать методы идентификации, компьютерного моделирования, программирования и теории нечеткой логики, надежности, технического диагностирования и прогнозирования [4].

Эксплуатационная надежность работы электрооборудования — это одна из важных экономических и технических задач в промышленном производстве, при этом асинхронные электродвигатели отличаются высокой надежностью, однако при эксплуатации возникают повреждения узлов, что, в свою очередь, может привести к незапланированному отказу и неблагоприятным последствиям [5].

Кроме того, эксплуатация электрооборудования, находящегося в неудовлетворительном техническом состоянии или морально устаревшего может привести как к прямым экономическим потерям, связанным с непредусмотренным отказом электродвигателя, нарушением технологического режима, так и к большим косвенным незапланированным потерям, связанными с недопуском продукции промышленным предприятием. Ввиду этого появляется необходимость повышения эксплуатационной надежности и эффективности функционирования электрического оборудования. Данную проблему можно решить на уровне проектирования, производства и эксплуатации электрического оборудования [6].

При проектировании решение задачи выполняется путем внедрения в электрический привод систем управления и многопараметрического диагностирования неисправностей электродвигателя. В состав интегрированных систем будут входить как первичные датчики, считывающие диагности-

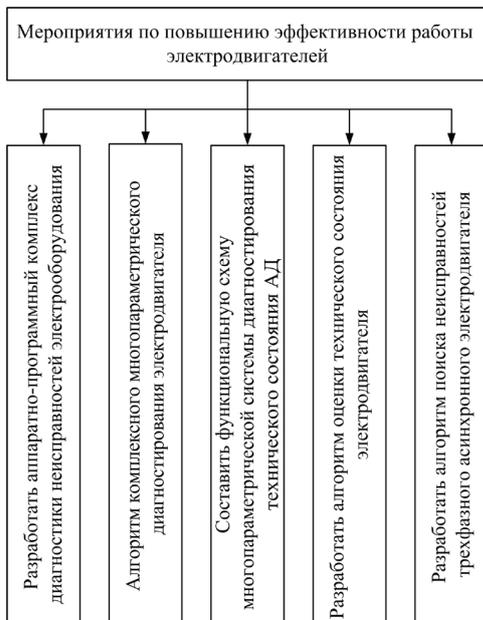


Рис. 1. Мероприятия, необходимые для повышения эффективности работы электродвигателей



Рис. 2. Преимущества мехатронного модуля

ческие параметры, так и вторичные модули, преобразующие сигналы с датчиков. Данная мехатронная система позволит оценить техническое состояние, улучшить управляемость электропривода и позволит выбрать оптимальный режим работы электрооборудования.

При производстве электрического оборудования задача повышения уровня эксплуатационной надежности и эффективности функционирования электродвигателя решается путем внедрения в корпус машины элементов управления, первичных механических и электрических преобразователей. Преимущества данного мехатронного электрооборудования в сравнении с немодернизированными устройствами представлены на рис. 2 [7].

На уровне эксплуатации объекта эксплуатационная надежность и эффективность функционирования электродвигателей может быть повышена с помощью средств и методик оценки технического состояния электрооборудования, которые позволяют [8]:

- 1) осуществлять контроль за текущим техническим состоянием, монтажом, качеством наладки, ремонта электрооборудования;
- 2) планировать проведение планово-предупредительных ремонтов;
- 3) повысить эксплуатационный ресурс и эффективность оборудования;
- 4) продлить или существенно увеличить межремонтный интервал и уменьшить затраты на ремонтные работы;
- 5) уменьшить возможность незапланированных выходов из строя и простоев в промышленном производстве.

Исходя из вышеизложенного, эксплуатационная надежность и эффективность функционирования электрического оборудования на основных этапах жизненного цикла может быть достигнута использованием методик и средств оценки технического состояния электрооборудования. Поэтому открытым остается вопрос разработки современной интеллектуальной системы диагностирования технического состояния электродвигателей, которая позволит по входным значениям основных параметров определить реальное техническое состояние исследуемого объекта [9].

В систему диагностики неисправностей электродвигателя могут входить специальные технические средства, используемые для выявления наличия неисправностей и прогнозирования остаточного ресурса, а также универсальное оборудование для получения информации, преобразования, представления и записи диагностической информации. Помимо этого, в состав диагностической системы может входить оборудование, предназначенное для самопроверки данной системы, органы управления, с помощью которых оператор может управлять диагностической системой в зависимости от режима работы оборудования. Работа системы диагностики неисправностей электродвигателей обеспечивается с помощью специального программного обеспечения.

В процедуре диагностики неисправностей электродвигателя важную роль играет оператор. В обязанности оператора входят:

- 1) контроль информации о процессе диагностики;
- 2) анализ диагностической информации;
- 3) принятие решения по управлению диагностируемыми объектами;
- 4) формирование команд в системе технического диагностирования.

Качество диагностики неисправностей электрооборудования напрямую зависит от личностных качеств оператора.

На эффективность диагностирования влияют следующие факторы:

- 1) зрение оператора;
- 2) слух оператора;
- 3) способность понимать диагностическую информацию;
- 4) способность поддерживать эффективность работы на приемлемом уровне при заданных условиях трудовой деятельности;
- 5) скорость реакции оператора.

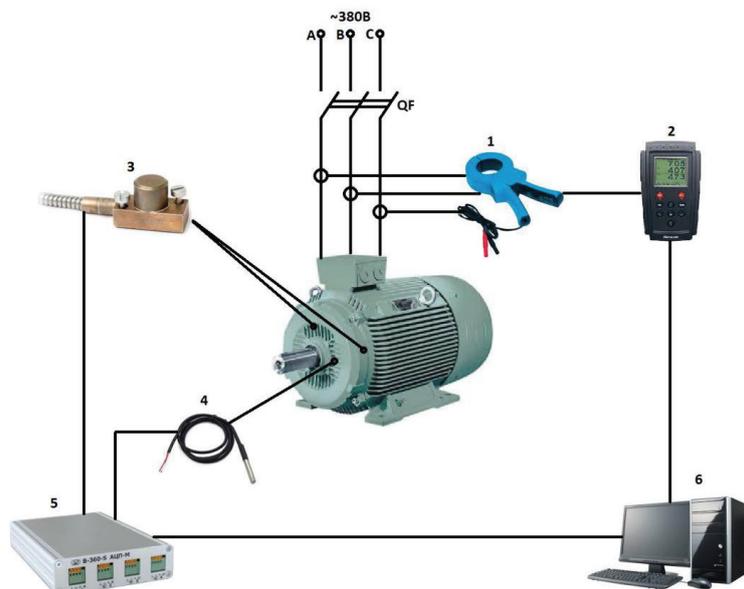


Рис. 3. Аппаратный комплекс проведения многопараметрической диагностики на рабочем напряжении

На качество проведения оценки технического состояния электрооборудования напрямую влияет надежность разрабатываемых методов и средств. Для повышения надежности и эффективности электрооборудования необходимо минимизировать количество составных конструктивных узлов. Для этого необходимо большую часть функций выполнять не на аппаратных средствах, а на электронных и программных, тем самым свести роль оператора к минимуму. Это позволит снизить вероятность ошибки из-за человеческого фактора.

Функциональная диагностика технического состояния электрооборудования более простая, обладает высокой эксплуатационной надежностью, более низкой стоимостью, чем тестовая диагностика электрооборудования. Поэтому в современном промышленном производстве методы и средства функциональной диагностики электрооборудования нашли более широкое применение.

Большой популярностью пользуется многопараметрическая диагностика неисправностей электрооборудования благодаря высокой эффективности. С помощью многопараметрического диагностирования можно выявить тепловые, электрические и механические повреждения на работающей машине [9, 10].

Проведя анализ основных видов диагностики неисправностей электродвигателя можно выделить несколько диагностических параметров, которые в совокупности эффективно оценивают техническое состояние машины. К наиболее перспективным диагностическим параметрам можно отнести анализ электрических параметров, вибрационный и тепловой контроль. Практика показывает, что данные методы и средства обладают высокой точностью и возможностью применения в многопараметрических системах диагностирования технического состояния электрооборудования [11, 12].

Аппаратный комплекс многопараметрической диагностики электродвигателей представлен на рис. 3.

Многопараметрическая система диагностики электродвигателей состоит из следующих составляющих:

- 1 — токоизмерительные клещи;
- 2 — анализатор качества электрической энергии;
- 3 — датчик вибрации;
- 4 — датчик температуры;
- 5 — аналогово-цифровой преобразователь;
- 6 — персональный компьютер.

В состав представленного диагностического комплекса входят контактные и бесконтактные первичные датчики и вторичный преобразователь. Наличие повреждения выявляется по диагностическим параметрам, которые имеют вид определенного числового значения, аналогового или цифрового сигнала, или при наличии некоторых частот в спектре сигнала. Ввиду этого процедура диагностики электрооборудования сильно усложняется и требует привлечения квалифицированного персонала. Для решения данной проблемы необходимо разработать современную, интеллектуальную, многопараметрическую систему диагностики неисправностей электродвигателя, с помощью которой можно определить техническое состояние машины в реальном времени.

Контроль технического состояния машины и выявление появившихся и зарождающихся дефектов осуществляются системой оценки технического состояния электрооборудования.

Представленные выше методы и средства в полной мере выполняют задачи многопараметрического диагностирования, причем измерение параметров спектра питающего тока и вибрации позволяют контролировать и анализировать текущее техническое состояние электрических и механических частей объекта, а тепловой контроль, спектральный анализ тока и вибрации в совокупности выявляют появившиеся неисправности.

Процедура многопараметрического диагностирования электродвигателя включает в себя оценку технического состояния и поиск неисправностей.

По данному алгоритму разрабатываются технические устройства, в состав которых должны входить первичные датчики, осуществляющие измерение диагностируемых параметров и оборудование для обработки информации, обеспечивающее рабо-

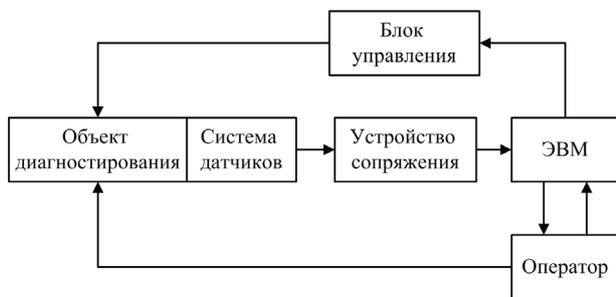


Рис. 4. Функциональная схема многопараметрической системы диагностирования технического состояния электрооборудования

ту алгоритмов диагностирования и преобразующее результаты диагностики объекта.

Для проведения оценки технического состояния электрооборудования необходимо использовать измерительные устройства, приспособленные к определенным условиям эксплуатации, конструктивно и климатическому исполнению обследуемого объекта. Диагностируемые параметры с помощью системы датчиков поступают на устройство сопряжения. Устройство сопряжения преобразует диагностическую информацию с измерительных датчиков в цифровой сигнал, который регистрируется в память ЭВМ. Цифровой сигнал проходит программную обработку и контролируется техническое состояние электрооборудования в данный момент времени и выявляются появившиеся дефекты. Анализ результатов диагностики неисправностей электрооборудования осуществляется с помощью ЭВМ. При выявлении предаварийного технического состояния система диагностирования производит отключение поврежденной машины посредством блока управления.

Функциональная схема системы технического многопараметрического диагностирования имеет вид, представленный на рис. 4.

Предложенная схема системы многопараметрического диагностирования технического состояния электрооборудования отличается конструктивной простотой и эксплуатационной надежностью, которая достигается сокращением количества узлов и компонентов, использованием электронных и программных средств для преобразования диагностических параметров.

Таким образом, предложенный метод повышения эффективности функционирования трехфазного асинхронного электродвигателя, заключающийся в том, что по результатам измерения электрических параметров, уровня вибрации, температуры отдельных узлов машины, посредством аппарата нечеткой логики, можно оценивать состояние объекта путем отнесения его к одному из пяти классов. Представленный метод отличается совместным применением нескольких методов диагностирования неисправностей электрооборудования, что позволяет повысить эффективность работы диагностической системы.

#### Библиографический список

1. Федоров М. М., Ткаченко А. А. К вопросу построения систем диагностики неисправностей асинхронных электродвигателей // *Электротехника и электромеханика*. 2006. № 2. С. 59–61.
2. Бахарев А. В., Умурзакова А. Д. Анализ методик оценки технического состояния электродвигателя // *Энергетика и*

*энергосбережение: теория и практика: материалы III Всерос. науч.-практ. конф.* Кемерово: Изд-во Кузбасского гос. техн. ун-та, 2017. С. 402-1–402-7. ISBN 978-5-906969-56-9.

3. Богданов Е. А. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования. М.: Высшая школа, 2006. 279 с.

4. Петухов В. С. Диагностика электродвигателей. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения // *Новости электротехники*. 2008. № 1 (49). URL: <http://news.elteh.ru/arh/2008/49/10.php> (дата обращения: 30.01.2020).

5. Петухов В. С., Соколов В. А. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока // *Новости электротехники*. 2005. № 1 (31). С. 50–52.

6. Баширов М. Г., Бахтизин Р. Н., Баширова Э. М., Миронова И. С. Система автоматизации управления техническим состоянием технологического оборудования нефтегазовых производств // *Нефтегазовое дело*. 2011. № 3. С. 26–40.

7. Баширов М. Г., Шикинов В. Н. Диагностика электрических сетей и электрооборудования промышленных предприятий. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. 220 с.

8. Хацевский К. В., Андреева О. А. Влияние параметров напряжения сети на погрешности спектральных методов диагностики // *Омский научный вестник*. 2013. № 2 (120). С. 261–263.

9. Подураев Ю. В. Проектирование систем компьютерного управления для манипуляционного робота PUMA-560 на основе критерия функционально-структурной интеграции // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2003. № 2. С. 22–28.

10. Бахарев А. В., Умурзакова А. Д. Проблемы, связанные с отказом электрооборудования, на примере трехфазного асинхронного электродвигателя // *Россия молодая: материалы X Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых*. Кемерово: Изд-во Кузбасского гос. техн. ун-та, 2018. 5 с.

11. Подураев Ю. В. Структурный анализ мехатронных систем на основе показателя распределения функциональной нагрузки // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2004. № 6. С. 21–26.

12. Лукьянов М. М., Харисов Э. А. Новые принципы виброакустической диагностики изношенного силового электрооборудования // *Электрика*. 2001. № 2. С. 30–32.

**ХАЦЕВСКИЙ Константин Владимирович**, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Электрическая техника» Омского государственного технического университета.

SPIN-код: 7219-6033

AuthorID (РИНЦ): 465857

ORCID: 0000-0001-9504-1312

AuthorID (SCOPUS): 56503931800

ResearcherID: A-4002-2016

Адрес для переписки: [xkv-post@rambler.ru](mailto:xkv-post@rambler.ru)

**УМУРЗАКОВА Анара Даукеновна**, кандидат технических наук, старший преподаватель отделения электроэнергетики и электротехники Томского политехнического университета (ТПУ).

SPIN-код: 8079-5187

AuthorID (SCOPUS): 56485976200

Адрес для переписки: [granat\\_72@mail.ru](mailto:granat_72@mail.ru)

**ВОРОНИНА Наталья Алексеевна**, кандидат технических наук, доцент отделения электроэнергетики и электротехники ТПУ.

SPIN-код: 3176-9091

AuthorID: 790645

Адрес для переписки: [voronina@tpu.ru](mailto:voronina@tpu.ru)

**ИЧЕВА ЮЛИАНА БОРИСОВНА**, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Энергетика и металлургия» Екибастузского инженерно-



технического университета, Республика Казахстан.  
Адрес для переписки: isheva1967@mail.ru

трехфазного асинхронного электродвигателя // Омский научный вестник. 2020. № 2 (170). С. 42–46. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-170-42-46.

**Для цитирования**

Хацевский К. В., Умурзакова А. Д., Воронина Н. А., Ичева Ю. Б. Анализ методов диагностирования неисправностей

**Статья поступила в редакцию 27.01.2020 г.**

© **К. В. Хацевский, А. Д. Умурзакова, Н. А. Воронина, Ю. Б. Ичева**