

УДК 621.3:656.56

О.В. Крюков

ОАО «Гипрогазцентр», Нижний Новгород, Россия

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МОНИТОРИНГА ПРИВОДНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Приведен анализ мониторинга работы приводных электродвигателей электроприводных газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях магистрального транспорта газа. Представлена статистика эксплуатации синхронных машин типа СТД на компрессорных станциях ПАО «Газпром» за последние 30 лет. Выявлены факты снижения ресурса и технического состояния с анализом безопасности функционирования приводных турбокомпрессоров на объектах. Доказано, что первопричиной отказов ЭГПА являются 4 эксплуатационных факторов, в основном влияющие на надежность изоляции статорных обмоток высоковольтных электродвигателей. Представлены штатные и новые аппаратные средства оперативного мониторинга технического состояния и прогнозирования безаварийной работы синхронных двигателей. Они основаны на перспективах использования интеллектуальных датчиков с нейронечеткими алгоритмами прогнозирования состояния машин. Предложена последовательность этапов разработки встроенных систем оперативного мониторинга изоляции синхронных машин мегаваттного класса с методами получения алгоритмического ПО и ПО систем. Получены модели, графы и алгоритмы реализации нечеткой импликации мониторинга машин. Представлены результаты практической реализации систем диагностики на компрессорных станциях ПАО «Газпром», которые позволяют оперативно и достоверно спрогнозировать наступление нештатных ситуаций и сократить простой СТД в ремонтах в 3–4 раза. Показано, что внедрение новых современных средств мониторинга технического состояния агрегатов и прогноза их ресурса на компрессорных станциях позволяет значительно снизить эксплуатационные расходы и повысить безопасность и безаварийность работы в штатных режимах, а также осуществить переход к техническому обслуживанию и ремонту по фактическому состоянию электроприводов газоперекачивающих агрегатов.

Ключевые слова: компрессорная станция, газоперекачивающий агрегат, техническое состояние, мониторинг, приводной электродвигатель, эксплуатационные факторы.

O.V. Kryukov

JSC Giprogazcenter, Nizhny Novgorod, Russian Federation

RESULTS OF RESEARCH OF MONITORING OF DRIVING ELECTRIC MOTORS OF GAS-DISTRIBUTING UNITS

The analysis of monitoring of operation of driving electric motors of electric drive gas-distributing units is given in compressor stations of the main transport of gas. The statistics of operation of synchronous STD cars at compressor stations of PJSC Gazprom for the last 30 years is presented. The facts of decrease in a resource and technical condition with the analysis of safety of functioning of driving turbocompressors on objects are elicited. It is proved that the prime cause of refusals of EGPA are 4 operational factors which are generally influencing on reliability of isolation the stator of windings of

high-voltage electric motors. Regular and new hardware of expeditious monitoring of technical condition and forecasting of trouble-free operation of synchronous motors are presented. They are based on prospects of use of intelligent sensors with neuro and indistinct algorithms of forecasting of a condition of cars. The sequence of development stages of the built-in systems of expeditious monitoring of isolation of synchronous cars of a megawatt class with methods of receiving algorithmic and ON systems is offered. Models, columns and algorithms of realization of indistinct implication of monitoring of cars are received. Results of practical realization of systems of diagnostics at compressor stations of PJSC Gazprom which allow to predict quickly and authentically approach of emergency situations are presented and to reduce simple STD in repairs by 3–4 times. It is shown that introduction of new modern monitors of technical condition of units and the forecast of their resource at compressor stations allows to cut considerably operational costs and to increase safety and fail-safety of work in the regular modes, and also to carry out transition to maintenance and repair on an actual state of electric drives of gas-distributing units.

Keywords: compressor station, gas-distributing unit, technical condition, monitoring, driving electric motor, operational factors.

Введение. В настоящее время состояние газотранспортной техники и проблемы электроприводных газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА) на компрессорных станциях (КС) характеризуются следующими особенностями [1–3]:

- За 50 лет в ОАО «Газпром» построено свыше 160 000 км магистральных газопроводов (МГ) и 4000 КС с долей ЭГПА около 14 %. На КС используются около 700 высоковольтных синхронных двигателей (СД) мегаваттного класса $P_{\Sigma} = 6$ млн кВт.

- Более 70 % парка ЭГПА имеют срок службы более 20 лет, а отдельные – свыше 30–40 лет. Практически все элементы ЭГПА выработали свой ресурс и устарели морально.

- Некоторые МГ работают в режимах падающей газоподдачи и потребления. Это приводит к изменению режимов и энергетических свойств ЭГПА и выводу агрегатов из эксплуатации.

- Отсутствует отечественный рынок конкурентоспособной продукции для модернизации ЭГПА, а использование иностранных предложений в основном не рентабельно.

- Существуют тарифные перекосы цен на газ и электроэнергию. Использование ЭГПА на новых КС допустимо при соотношении стоимости 1 м^3 газа к $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ электроэнергии более 3,7–4,5.

Все это предопределило необходимость разработки системного подхода при модернизации ЭГПА на объектах ПАО «Газпром» с использованием современных средств и методов оперативного диагностирования технического состояния ЭГПА и достоверного прогноза его работоспособности и ресурса для перехода к ТОиР по фактическому состоянию агрегатов [4–9].

Основные этапы создания системы мониторинга следующие [10–12]:

1. Статистическая обработка отказов электродвигателей и исследование эксплуатационных факторов, влияющих на техническое состояние ЭГПА.

2. Математическое описание и анализ физических процессов изменения основных факторов повреждаемости и параметров синхронных электродвигателей.

3. Разработка аппаратных средств, интеллектуальных датчиков, алгоритмов и ПО для обработки данных о техническом состоянии машин.

4. Синтез встроенной системы оперативного мониторинга технического состояния ЭГПА.

Аппаратные особенности системы мониторинга ЭГПА. Для контроля за техническим состоянием статора СД необходимо получать и анализировать следующую информацию [13–16]:

– величину фазных и линейных напряжений, подаваемых на обмотки;

– значения токов в каждой фазе двигателя в статических и динамических режимах;

– температуру секций обмотки и сердечника статора, а также воздуха в системе охлаждения;

– интенсивность и амплитуду частичных разрядов (ЧР) на поверхности изоляции статора.

В настоящее время на ЭГПА, находящихся в эксплуатации, параметры токов и напряжений с достаточной достоверностью можно получать по показаниям имеющихся штатных трансформаторов тока и напряжения.

Температура меди обмоток и магнитопровода статора ЭГПА-12,5 контролируется штатными датчиками температуры типа ТСМ-50 или его модификацией ТСМ-9502, которые уложены в середине расточки статора в каждой фазе (всего по 3 датчика температуры меди и стали). Как показала практика, этого количества датчиков недостаточно для полного анализа температурного состояния статора, так как на различных режимах работы нагрев отдельных частей статора происходит неравномерно. В связи с этим для более достоверного определения температурных полей СД в ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород»

при проведении капремонта ЭГПА во все статорные обмотки ЭГПА устанавливаются по девять датчиков температуры в меди и стали, как показано на рис. 1.

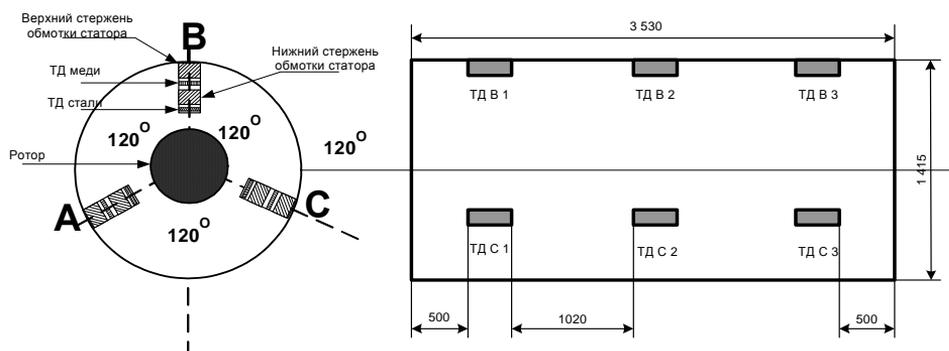


Рис. 1. Расположение датчиков температуры статора электродвигателя СТД-12500-2

Кроме того, машины СТД-12500-2 изначально были рассчитаны на работу с замкнутым циклом охлаждения с использованием водяных охладителей. В связи со сложностью организации систем водяного охлаждения для большого количества СД на одной КС (до 40) система вентиляции СТД-12500-2 была изменена на систему с разомкнутым циклом. При этом датчики измерения параметров охлаждающего воздуха остались в тех же точках, что и при замкнутой системе вентиляции с водяными воздухоохладителями. Измерение температуры холодного воздуха проводится под кожухом СТД в камере низкого давления на выходе из демонтированных воздухоохладителей. Температура горячего воздуха измеряется на выходе из боковых жалюзи под кожухом СТД. При такой схеме измерения температура на входе и выходе получается завышенной на 15–20 °С по отношению к реальной температуре воздуха. Поэтому главным параметром является превышение температуры СД над окружающим воздухом.

Наиболее эффективным способом контроля состояния изоляции обмоток статора высоковольтных СД ЭГПА является метод измерения ЧР, возникающих в результате искровых разрядов малой мощности на поверхности или внутри изоляции статора. В процессе штатной работы СД периодически повторяющиеся ЧР разрушают изоляцию обмоток, приводя к ее пробое. Параметры ЧР в изоляции определяют по значению силы тока через емкостной делитель высокого напряжения или по

электромагнитному импульсу разряда с помощью высокочастотного датчика, подключаемого к датчику TSM-9502. Более рациональным является использование емкостного датчика для контроля изоляции первых катушечных групп обмотки статора и датчиков температуры, используемых в качестве антенны для вторых. Схема расположения датчиков приведена на рис. 2 [10–14].

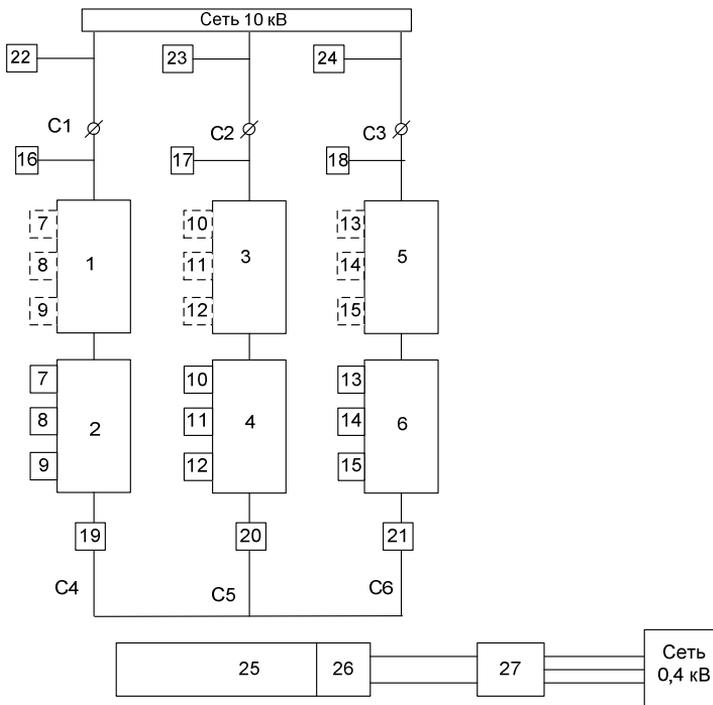


Рис. 2. Функциональная схема двигателя СТД-12500-2 как объекта диагностирования: 1–6 – катушечные группы обмотки статора; 7–15 – датчики температуры меди, стали и ЧР; 16–18 – высоковольтные емкостные датчики ЧР; 19–21 – трансформаторы тока; 22–24 – трансформаторы напряжения; 25 – ротор ЭД; 26 – ЩКА; 27 – ТВУ

Методология алгоритмического обеспечения диагностики СД. Особенностью приводного двигателя ЭГПА как объекта диагностирования является тесная взаимосвязь электрических, электромеханических и механических устройств и элементов, отличающихся функциональным назначением и принципом действия. При описании их технического состояния логично применять те математические формы и аппараты, которые наилучшим образом соответствуют поиску дефекта в устройстве (дифференциальные, разностные, логические

уравнения, функциональные, структурные схемы, ориентированные графы, конечные автоматы и т.п.) [17–20]. Однако необходимость сопряжения между собой разных математических моделей вынуждает использовать обобщенные математические описания ЭГПА. К их числу можно отнести представление ЭГПА абстрактной динамической системой, процесс функционирования которой состоит в изменении состояния системы под воздействием внешних и внутренних причин.

Математическая модель системы может быть определена как взаимосвязь переменных, выходные сигналы y которой определяются следующим функционалом:

$$y = F(T, X, Z, S, S_0, F^*, F, L^*, L), \quad (1)$$

где T – множество моментов времени t ; X, Z – множества входных x и z сигналов системы; S – множество состояний s системы; S_0 – замкнутая область состояний системы, ограничивающая возможные перемещения s при функционировании системы; $F^*(T, X, S) = S^*C$, $F(T, X, S) = SC$ – операторы переходов, отражающие изменения состояния системы под воздействием внутренних и внешних возмущений; $L^*(T, X, S) = Z^*C$, $L(T, X, S) = ZC$ – операторы выходов, описывающие формирование выходного сигнала под воздействием внутренних и внешних возмущений. Индекс (*) принадлежит операторам, учитывающим действие внутренних возмущений.

Для распознавания технического состояния объекта диагностирования принято пользоваться набором классов технических состояний:

$$E = [E_i], i = 0, 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

где E_i – подмножество технических состояний объекта, характеризующих совокупность возможных его состояний s_i с указанием соответствующих граничных условий (областей s_{0i}) и выполнимости этих условий по всем переменным состояниям s_i ; класс E_0 (при $i = 0$) соответствует исправному состоянию объекта, а класс E_i (при $i \neq 0$) – его неисправному состоянию, вызванному появлением дефекта в i -й составной части объекта.

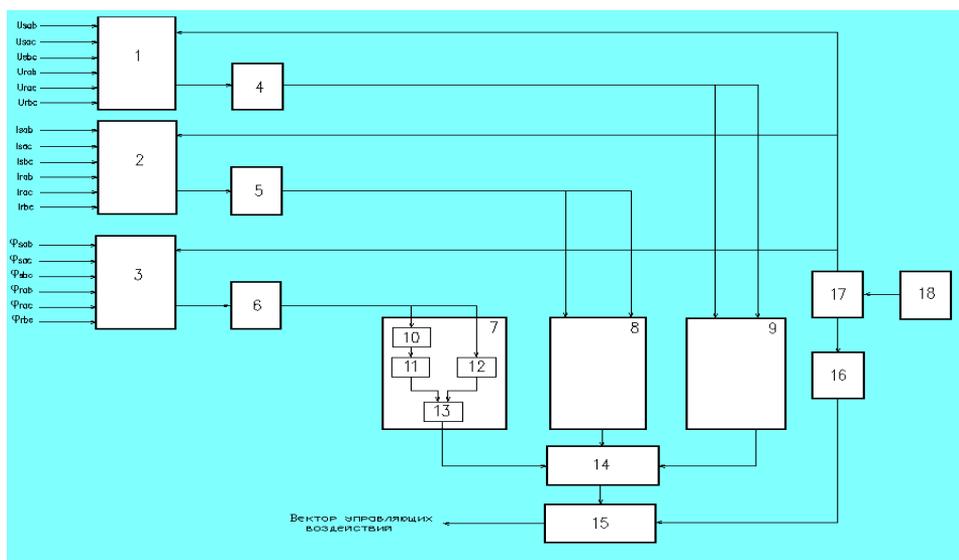
В результате для функциональной схемы (см. рис. 2) получаем граф-модель СД ЭГПА, представленную на рис. 3, где x_1, x_2 – параметры входного питания по силовой цепи и системе возбуждения. Ее анализ с помощью таблиц функций неисправностей показывает, что

выход из строя любого элемента СД приводит к необратимым процессам и потере работоспособности.

Первичными источниками информации для такой системы служат интеллектуальные датчики на базе серийных термопреобразователей (рис. 3), а ее обработка производится на нечетких контроллерах [20–25]. Применение традиционных систем на основе булевой алгебры для этих целей не является оправданным в силу громоздкости программ, реализующих алгоритм мониторинга, значительного времени обработки результатов измерительной информации.



а



б

Рис. 3. Общий вид датчика температуры и частичных разрядов (а) и функциональная схема интеллектуального датчика прогнозирования (б)

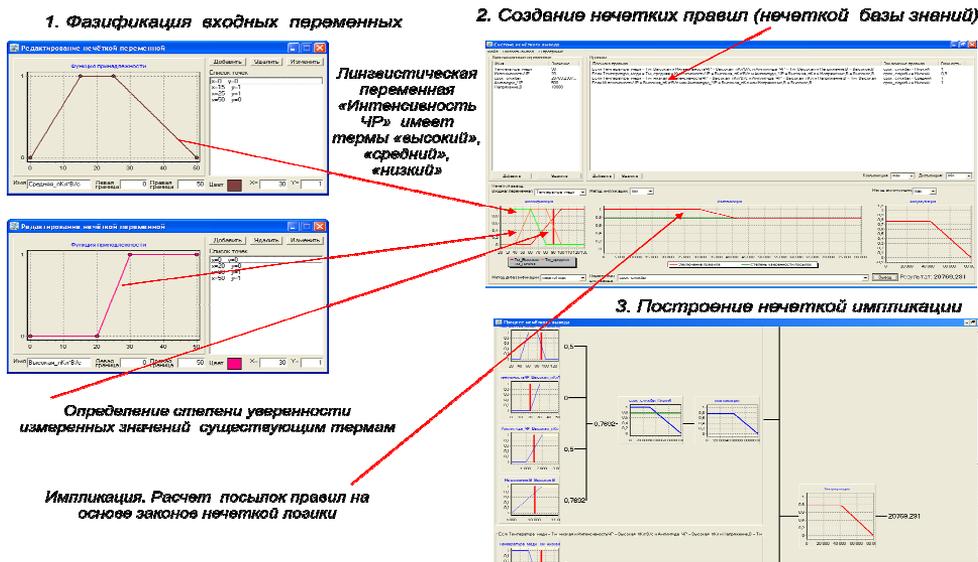


Рис. 4. Процедура получения нечеткой импликации

Для работы в режиме реального времени целесообразно использовать алгоритмы нечеткой логики, которая в отличие от булевой двухуровневой логики является многоуровневой с языковым синтаксисом, использующим лингвистические переменные и уровни – «нулевой», «положительный большой», «отрицательный малый», «положительный средний» и т.д. На функциональной схеме датчика обозначено: 1, 2 – входные мультиплексоры; 3, 4 – блоки выделения модуля сигнала; 5, 6 – блоки прогнозирования значения сигнала; 7 – счетчик; 8 – дешифратор; 9 – генератор тактовых импульсов; 10 – блок ассоциативной оценки терм-значений сигналов; 11 – модуль памяти; 12 – дифференциатор; 13 – блок оценки скорости изменения сигналов; 14 – блок оценки модуля сигнала; 15 – блок оценки терм-значений.

Для составления алгоритма мониторинга используется предварительная фазификация текущих измеряемых переменных и их скоростей изменения. По полученным лингвистическим величинам текущего значения параметра и скорости его изменения определяется прогнозируемое значение каждого фактора (рис. 4).

На рис. 6 приведена общая структура подсистемы мониторинга технического состояния приводного электродвигателя ЭГПА, обеспечивающая весь комплекс измерений с компьютерной обработкой и визуализацией результатов [3, 13, 14, 22].

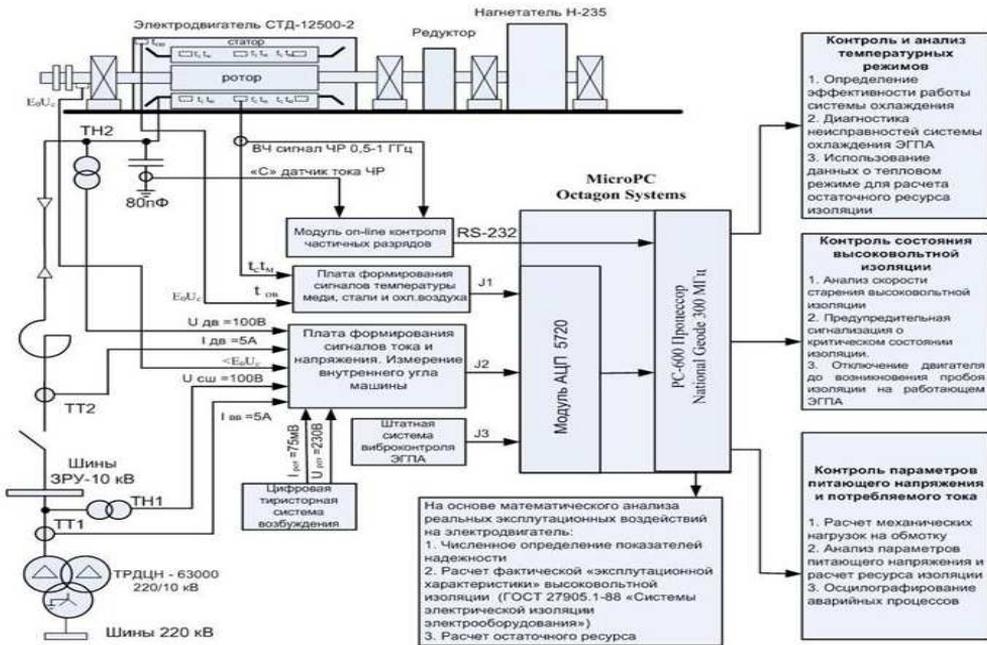


Рис. 5. Подсистема мониторинга технического состояния электродвигателя ЭГПА

Результаты практической реализации. Результаты экспериментов, проведенных на КС «Починковская» и «Сеченовская» ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» с использованием вышеизложенной методики [1, 8–12], подтвердили необходимость и достоверность мониторинга технического состояния приводного двигателя ЭГПА с помощью ВСМП. На рис. 6 показан общий вид комплектации основного оборудования ВСМП щитового исполнения.



Рис. 6. Общий вид щитового оборудования и комплектующих элементов ВСМП

Результаты экспериментальных замеров с помощью автоматизированной системы мониторинга и прогнозирования технического состояния СД ЭГПА подтверждают повышенную интенсивность ЧР в пазовой части и во внутренних полостях изоляции. Однако наибольшее влияние на износ изоляции оказывают термомеханические нагрузки и вибрации при недостаточной жесткости и ослабления крепления обмотки статора СД в течение эксплуатации. Результаты измерений интенсивности ЧР представлены в соответствующих окнах на рис. 7. Они получены на экспериментальной установке, описанной в [2, 12–14], с использованием современных технических средств измерительной техники и штатного щитового электрооборудования КС-25 «Починковская» КЦ МГ «Ямбург-Елец-2» ЭГПА № 4.

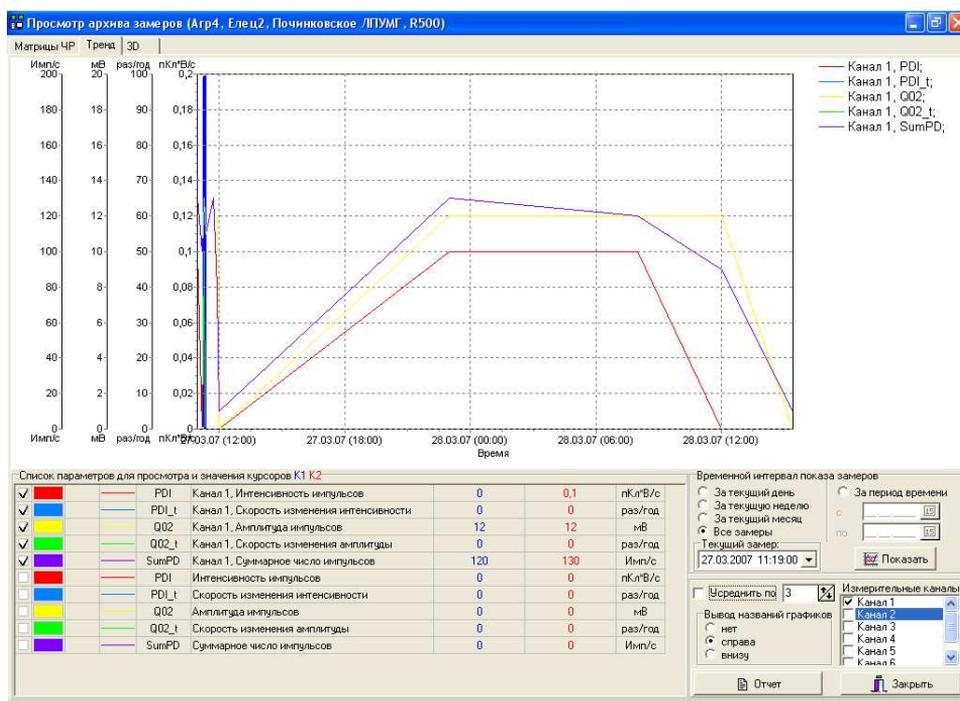


Рис. 7. Окно трендов параметров ЧР за установленный интервал времени

Анализ результатов измерений и проверка адекватности работы встроенной системы прогнозирования ТС. Исследования интенсивности ЧР в высоковольтных обмотках СД выполнены с использованием вкладки программы «СКИ» с матрицей значений ЧР (рис. 8). На вкладке отображены фазовое распределение импульсов, амплитуда и частота их следования в режиме «on-line».

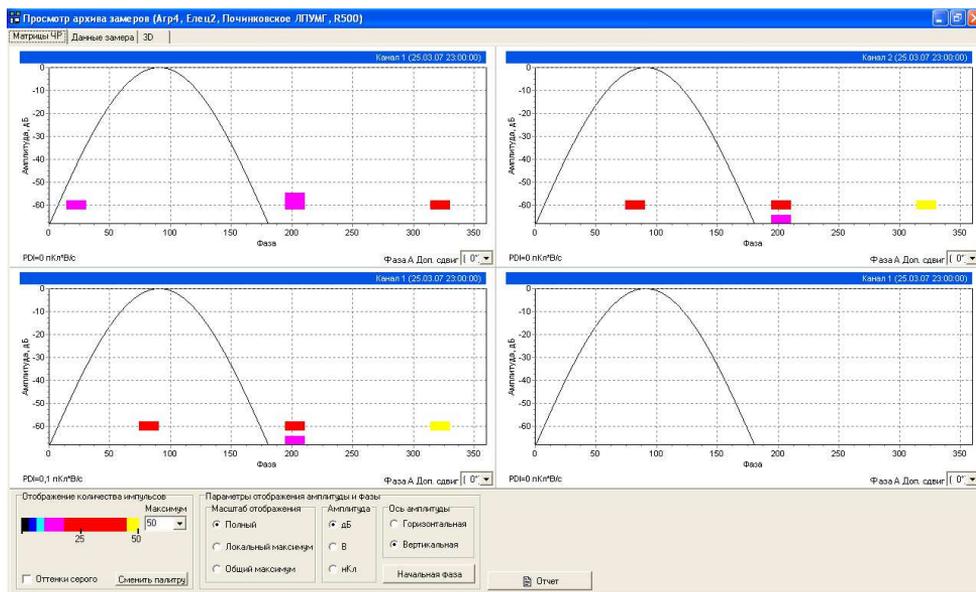


Рис. 8. Окно вкладки ПО «СКИ»

В результате на рис. 9 получены графики фазового распределения ЧР относительно напряжения питания в зависимости от характера дефекта в ЭГПА.

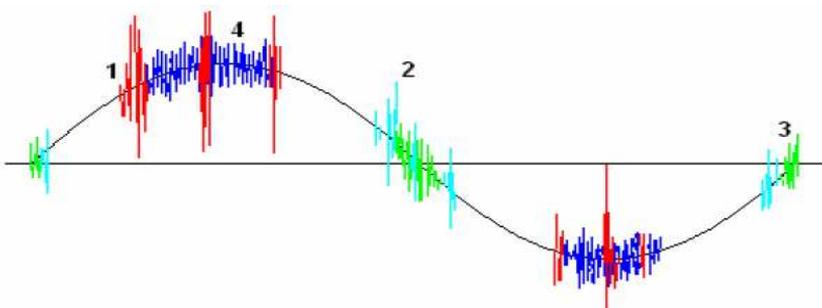


Рис. 9. Примерные осциллограммы различных видов разрядов в изоляции СД: 1 – скользящие ЧР; 2 – пазовые разряды; 3 – ЧР во внутренних полостях изоляции; 4 – корона

Кроме того, по полученным данным построены трехмерные графики (на каждый включенный канал) распределения количества импульсов в секунду по амплитудным зонам (рис. 10).

На рис. 11 представлены 5 вариантов совмещенных диаграмм состояния изоляции статорных обмоток СД с фактическим преобладанием определенной разновидности ЧР (обозначено красным кружочком).

Результаты замеров подтверждают повышенную интенсивность ЧР в пазовой части и во внутренних полостях изоляции.

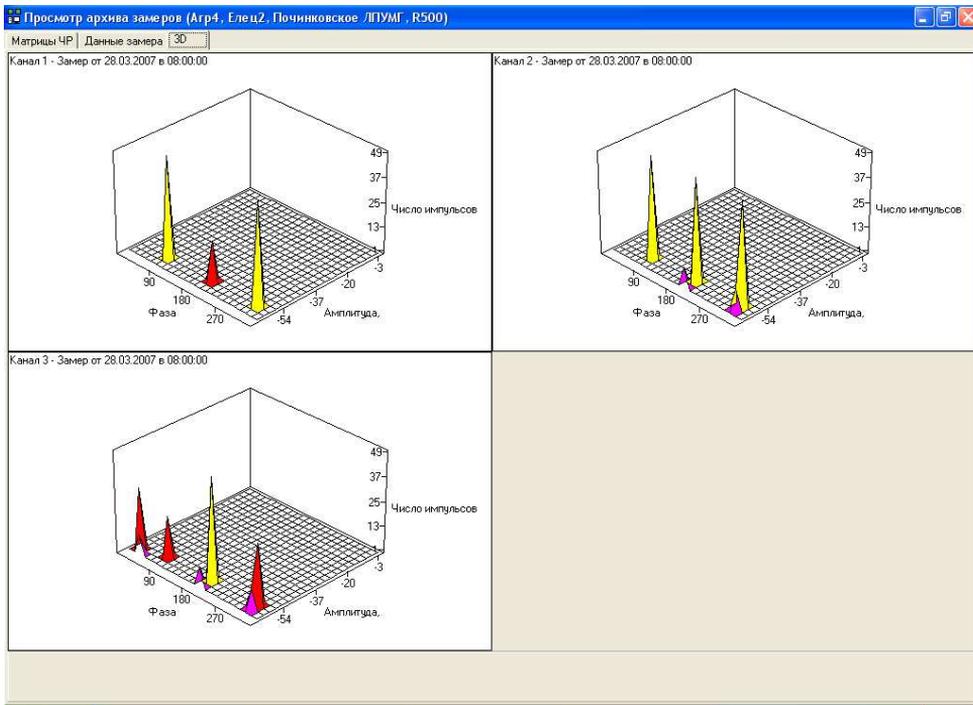


Рис. 10. Трехмерные графики распределения ЧР в изоляции СД

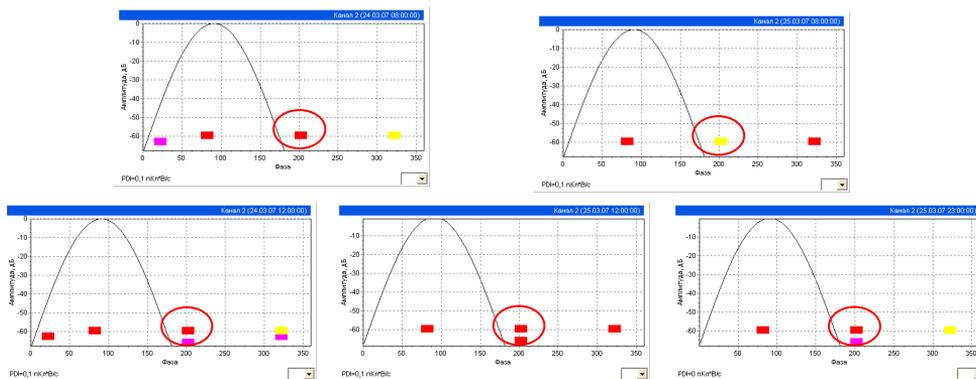


Рис. 11. Варианты диаграмм ЧР в изоляции СД

Проверку адекватности исследований по диагностике технического состояния приводного электродвигателя турбокомпрессора сравним с результатами по спектральному анализу потребляемой мощности ЭГПА [6]. При этом необходимо учитывать, что:

– любые возмущения в работе электрической или механической части СД и связанного с ним устройства приводят к изменениям магнитного потока в зазоре электрической машины и модуляции потребляемого электродвигателем тока и мощности;

– при преобразовании сигнал потребления тока и мощности методом быстрого преобразования Фурье получается набор гармонических составляющих исходного сигнала;

– наличие в спектре тока двигателя характерных частот определенной величины свидетельствует о наличии повреждений электрической или механической части электродвигателя и связанного с ним механического устройства.

Это позволяет констатировать, что создание системы мониторинга дает возможность:

1. Получать достоверную информацию о состоянии ЭГПА в режиме «*on-line*».

2. Планировать капитальные и текущие ремонты ЭГПА на основе фактического состояния его, сократив время простоя в ремонте с 12 до 2–3 тыс. ч.

3. За счет предотвращения повреждений СД в работе исключить тепловое действие токов и снизить стоимость капремонтов в 3 раза.

4. На СД с гибкой многослойной слюдинитовой обмоткой выполнять текущие ремонты вместо капитальных с заменой дефектных стержней (стоимость ниже в 4 раза).

5. Контролировать работу системы охлаждения СД и поддерживать оптимальные режимы, позволяющие увеличить ресурс изоляции.

6. При совместном использовании данных вибрационного анализа и FFT-анализа потребления мощности точно выявлять причины повышенных уровней вибрации СД.

7. Повысить технический уровень эксплуатации ЭГПА, за счет чего снизить общие эксплуатационные расходы.

Выводы

1. Создана база данных и выполнен статистический анализ отказов более 60 электродвигателей типа СТД-12500 и СДГ-12500 за период эксплуатации с 1987 по 2014 г. Выявлены наиболее характерные виды повреждений.

2. Выполнены измерения основных параметров работы электродвигателей в различных режимах работы в условиях действующих

компрессорных цехов. Проведен комплексный анализ и определены 4 группы эксплуатационных факторов, влияющих на ресурс ЭГПА.

3. Разработана функциональная схема механизма воздействия эксплуатационных факторов на ресурс изоляции статора и получены алгоритмы функциональной диагностики состояния статора главного электродвигателя ЭГПА.

4. Предложена, запатентована и реализована на объектах КС оптимальная структура системы прогнозирования технического состояния ЭГПА [23–25].

Библиографический список

1. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография / А.Ф. Пужайло [и др.]; под ред. О.В. Крюкова. – Н. Новгород: Вектор ТиС, 2010. – 570 с.

2. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография / А.Ф. Пужайло [и др.]; под ред. О.В. Крюкова. – Н. Новгород: Вектор ТиС, 2011. – Т. 2. – 664 с.

3. Диагностика оборудования КС: моногр. Сер. «Научные труды к 45-летию АО "Гипрогазцентр"» / А.Ф. Пужайло [и др.]; под ред. О.В. Крюкова. – Н. Новгород: Исток, 2013. – Т. 2. – 300 с.

4. Захаров П.А., Киянов Н.В., Крюков О.В. Системы автоматизации технологических установок для эффективного транспорта газа // Автоматизация в промышленности. – 2008. – № 6. – С. 6–10.

5. Крюков О.В. Анализ и техническая реализация факторов энергоэффективности инновационных решений в электроприводных турбокомпрессорах // Автоматизация в промышленности. – 2010. – № 10. – С. 50–53.

6. Проектирование систем управления электроприводными ГПА / Д.А. Аникин, И.Е. Рубцова, О.В. Крюков [и др.] // Газовая промышленность. – 2009. – № 2. – С. 44–47.

7. Крюков О.В. Частотное регулирование производительности электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2014. – № 6. – С. 39–43.

8. Крюков О.В. Комплексная система мониторинга и управления электроприводными газоперекачивающими агрегатами // Передовые информационные технологии, средства и системы автоматизации и их внедрение на российских предприятиях АГТА-2011: тр. МНПК. – М., 2011. – С. 329–350.

9. Kryukov O.V. Intelligent electric drives with IT algorithms // Automation and Remote Control. – 2013. – Т. 74, № 6. – С. 1043–1048.

10. Бабичев С.А., Захаров П.А., Крюков О.В. Мониторинг технического состояния приводных электродвигателей газоперекачивающих агрегатов // Контроль. Диагностика. – 2009. – № 7. – С. 33–39.

11. Крюков О.В. Встроенная система диагностирования и прогнозирования работы асинхронных электроприводов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2005. – № 6. – С. 43–46.

12. Крюков О.В., Степанов С.Е., Титов В.Г. Встроенные системы мониторинга технического состояния электроприводов для энергетической безопасности транспорта газа // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2012. – № 2. – С. 5–10.

13. Бабичев С.А., Крюков О.В., Титов В.Г. Автоматизированная система безопасности электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Электротехника. – 2010. – № 12. – С. 24–31.

14. Бабичев С.А., Захаров П.А., Крюков О.В. Автоматизированная система оперативного мониторинга приводных двигателей газоперекачивающих агрегатов // Автоматизация в промышленности. – 2009. – № 6. – С. 3–6.

15. Бабичев С.А., Бычков И.П., Крюков О.В. Анализ технического состояния и безопасности электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Электротехника. – 2010. – № 9. – С. 30–36.

16. Babichev S.A., Zakharov P.A., Kryukov O.V. Automated monitoring system for drive motors of gas-compressor units // Automation and Remote Control. – 2011. – Т. 72, № 1. – С. 175–180.

17. Крюков О.В. Методология и средства нейро-нечеткого прогнозирования состояния электроприводов газоперекачивающих агрегатов // Электротехника. – 2012. – № 9. – С. 52–57.

18. Захаров П.А., Крюков О.В., Киянов Н.В. Встроенная система диагностирования и прогнозирования электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Контроль. Диагностика. – 2008. – № 11. – С. 43–49.

19. Крюков О.В. Комплексный анализ условий эксплуатации электродвигателей газоперекачивающих агрегатов // Компрессорная техника и пневматика. – 2013. – №4. – С. 14–20.

20. Милов В.Р., Шалашов И.В., Крюков О.В. Процедуры прогнозирования и принятия решений системе технического обслуживания и ремонта // Автоматизация в промышленности. – 2010. – № 8. – С. 47–49.

21. Захаров П.А., Крюков О.В. Мониторинг и прогнозирование технического состояния ЭГПА КС ПХГ // Газовая промышленность. – 2013. – № 700. – С. 113–119.

22. Крюков О.В., Репин Д.Г. Системы оперативного мониторинга технического состояния энергоустановок для энергетической безопасности компрессорных станций // Газовая промышленность. – 2014. – № 712. – С. 84–90.

23. Крюков О.В. Интеллектуальные датчики прогнозирования технического состояния высоковольтных электродвигателей // Автоматизация в промышленности. – 2013. – № 10. – С. 38–41.

24. Устройство для контроля изоляции электродвигателя: пат. RUS 121939 Рос. Федерация / О.В. Крюков; опубл. 18.07.2012.

25. Устройство лингвистического диагностирования отказов асинхронного электропривода: пат. RUS 127494 Рос. Федерация / А.В. Серебряков, О.В. Крюков; опубл. 20.07.2012.

References

1. Puzhailo A.F. [et al.]. Energoberezhenie i avtomatizatsiia elektrooborudovaniia kompressornykh stantsii [Energy-saving and automatization of compressor stations electrical equipment: monograph]. Nizhniy Novgorod: Vektor TiS, 2010. 570 p.

2. Puzhailo A.F. [et al.]. Energoberezhenie i avtomatizatsiia elektrooborudovaniia kompressornykh stantsii [Energy-saving and automatization of compressor stations electrical equipment: monograph]. Nizhniy Novgorod: Vektor TiS, 2011, vol. 2. 664 p.

3. Puzhailo A.F. [et al.]. Diagnostika oborudovaniia KS [CS equipment diagnostic]. Nizhniy Novgorod: Istok, 2013, vol. 2, 300 p.

4. Zakharov P.A., Kiianov N.V., Kriukov O.V. Sistemy avtomatizatsii tekhnologicheskikh ustanovok dlia effektivnogo transporta gaza [Automation systems of processing stations for the efficient gas transfer]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2008, no. 6, pp. 6-10.

5. Kriukov O.V. Analiz i tekhnicheskaiia realizatsiia faktorov energoeffektivnosti innovatsionnykh reshenii v elektroprivodnykh turbokompressorakh [Analysis and technical implementation of factors of innovative solutions energy efficiency of electrically driven turbocompressors]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2010, no. 10, pp. 50-53.

6. Anikin D.A., Rubtsova I.E., Kriukov O.V. [et al.]. Proektirovanie sistem upravleniia elektroprivodnymi gazoperekachivaiushchimi agregatami [Electric GCU control systems design]. *Gazovaia promyshlennost'*, 2009, no. 2, pp. 44-47.

7. Kriukov O.V. Chastotnoe regulirovanie proizvoditel'nosti elektroprivodnykh gazoperekachivaiushchikh agregatov [Frequency regulation of electrically driven gas pumping units performance]. *Elektrooborudovanie: ekspluatatsiia i remont*, 2014, no. 6, pp. 39-43.

8. Kriukov O.V. Kompleksnaia sistema monitoringa i upravleniia elektroprivodnymi gazoperekachivaiushchimi agregatami [Overall system of monitoring and management of electrically driven gas pumping units]. *Trudy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Peredovye informatsionnye tekhnologii, sredstva i sistemy avtomatizatsii i ikh vnedrenie na rossiiskikh predpriiatiakh" AITA-2011*. Moscow, 2011, pp. 329-350.

9. Kriukov O.V. Intelligent electric drives with IT algorithms. *Automation and Remote Control*, 2013, vol. 74, no. 6, pp. 1043-1048.

10. Babichev S.A., Zakharov P.A., Kriukov O.V. Monitoring tekhnicheskogo sostoianiia privodnykh elektrodvigatelei gazoperekachivaiushchikh agregatov [The technical condition monitoring of the drive motors of gas pumping units]. *Kontrol'. Diagnostika*, 2009, no. 7, pp. 33-39.

11. Kriukov O.V. Vstroennaia sistema diagnostirovaniia i prognozirovaniia raboty asinkhronnykh elektroprivodov [Built-in diagnostics and forecasting of induction motor drives performance]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Elektromekhanika*, 2005, no. 6, pp. 43-46.

12. Kriukov O.V., Stepanov S.E., Titov V.G. Vstroennye sistemy monitoringa tekhnicheskogo sostoianiia elektroprivodov dlia energeticheskoi bezopasnosti transporta gaza [Built-in monitoring systems of moto drive technical condition for the gas transfer energy security]. *Energobezopasnost' i energosberezhenie*, 2012, no. 2, pp. 5-10.

13. Babichev S.A., Kriukov O.V., Titov V.G. Avtomatizirovannaia sistema bezopasnosti elektroprivodnykh gazoperekachivaiushchikh agregatov [Automated security system of electrically driven gas pumping units]. *Elektrotekhnika*, 2010, no. 12, pp. 24-31.

14. Babichev S.A., Zakharov P.A., Kriukov O.V. Avtomatizirovannaia sistema operativnogo monitoringa privodnykh dvigatelei gazoperekachivaiushchikh agregatov [Automated operational monitoring system for

drive motors of gas pumping units]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2009, no. 6, pp. 3-6.

15. Babichev S.A., Bychkov I.P., Kriukov O.V. Analiz tekhnicheskogo sostoiianiia i bezopasnosti elektroprivodnykh gazoperekachivaiushchikh agregatov [Analysis of the technical condition and safety of electrically driven gas pumping units]. *Elektrotehnika*, 2010, no. 9, pp. 30-36.

16. Babichev S.A., Zakharov P.A., Kryukov O.V. Automated monitoring system for drive motors of gas-compressor unit. *Automation and Remote Control*, 2011, vol. 72, no. 1, pp. 175-180.

17. Kriukov O.V. Metodologiya i sredstva neiro-nechetkogo prognozirovaniia sostoiianiia elektroprivodov gazoperekachivaiushchikh agregatov [The methodology and tools for neuro-fuzzy forecasting of electric gas pumping units condition]. *Elektrotehnika*, 2012, no. 9, pp. 52-57.

18. Zakharov P.A., Kriukov O.V., Kiianov N.V. Vstroennaia sistema diagnostirovaniia i prognozirovaniia elektroprivodnykh gazoperekachivaiushchikh agregatov [Built-in diagnostics and forecasting system of electrically driven gas pumping units]. *Kontrol'. Diagnostika*, 2008, no. 11, pp. 43-49.

19. Kriukov O.V. Kompleksnyi analiz uslovii ekspluatatsii elektrodvigateli gazoperekachivaiushchikh agregatov [Comprehensive analysis of electric gas pumping units operating conditions]. *Kompressornaia tekhnika i pnevmatika*, 2013, no. 4, pp. 14-20.

20. Milov V.R., Shalashov I.V., Kriukov O.V. Protsedury prognozirovaniia i priniatiia reshenii sisteme tekhnicheskogo obsluzhivaniia i remonta [Forecasting and decision-making procedures of maintenance system]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2010, no. 8, pp. 47-49.

21. Zakharov P.A., Kriukov O.V. Monitoring i prognozirovanie tekhnicheskogo sostoiianiia EGPA KS PKhG [Monitoring and forecasting of technical condition EDGPU CS UGSF]. *Gazovaia promyshlennost'*, 2013, no. 700, pp. 113-119.

22. Kriukov O.V., Repin D.G. Sistemy operativnogo monitoringa tekhnicheskogo sostoiianiia energoustanovok dlia energeticheskoi bezopasnosti kompressornykh stantsii [Operational monitoring systems of technical condition of power plants for the compressor stations energy security]. *Gazovaia promyshlennost'*, 2014, no. 712, pp. 84-90.

23. Kriukov O.V. Intellektual'nye datchiki prognozirovaniia tekhnicheskogo sostoianiia vysokovol'tnykh elektrodvigatelei [Intelligent sensors of high-voltage motors technical condition forecasting]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2013, no. 10, pp. 38-41.

24. Kriukov O.V. Ustroistvo dlia kontroliia izoliatsii elektrodvigatel'ia [The device for the motor insulation control]. *Patent RF No. RUS 121939*, 2012.

25. Serebriakov A.V., Kriukov O.V. Ustroistvo lingvisticheskogo diagnostirovaniia otkazov asinkhronnogo elektroprivoda [Linguistic diagnostic device of asynchronous moto drive failures]. *Patent RF No. RUS 127494*, 2012.

Сведения об авторе

Крюков Олег Викторович (Нижний Новгород, Россия) – доктор технических наук, доцент, главный специалист ОТД и НТИ АО «Гипрогазцентр» (603950, Нижний Новгород, ГСП-926, ул. Алексеевская, 26, тел./факс. (831)428-25-84, e-mail: o.kryukov@ggc.nnov.ru).

About the author

Kryukov Oleg Victorovich (Nizhny Novgorod, Russian Federation) is Doctor of Technical Science, Associate Professor, Main Expert of Technical Documentation and STI Department JSC «Giprogazcenter» (26, Alekseevskaya str., GSP-926, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, tel./fax. (831)428-25-84, e-mail: o.kryukov@ggc.nnov.ru).

Получено 05.10.2015