

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАШИННЫХ АГРЕГАТОВ НЕФТЕГАЗОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Миронова И.С.¹, Баширов М.Г.², Касимова Э.Ф.³

^{1,2} Государственное автономное научное учреждение «Институт прикладных исследований» Академии наук Республики Башкортостан, Стерлитамак, Россия, e-mail: mironova-irina-s@yandex.ru

³ Филиал ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салавате, Салават, Россия, e-mail: eapp@yandex.ru

Проведено исследование взаимосвязи между техническим состоянием и режимами работы машинных агрегатов с параметрами генерируемых двигателем электропривода высших гармонических составляющих токов и напряжений. Предложены интегральные параметры для идентификации технического состояния электрооборудования в производственных условиях. Для обеспечения надежности и безопасности двигателей электропривода машинных агрегатов добычи, транспорта и переработки нефти и газа разработана структура системы управления техническим состоянием оборудования нефтегазовых производств, позволяющая осуществить переход на систему обслуживания и ремонта машинных агрегатов по фактическому техническому состоянию.

Ключевые слова: электродвигатели, машинные агрегаты с электрическим приводом, техническое состояние, дефект, безопасность нефтегазовых производств, интегральный параметр.

INTEGRATED PARAMETERS FOR ESTIMATION OF TECHNICAL CONDITION THE ENGINES OF ELECTRIC DRIVE MACHINE UNITS OF OIL AND GAS MANUFACTURES

Mironova I.S.¹, Bashirov M.G.², Kasimova E.F.³

^{1,2} State independent scientific institution «Institute of applied researches» Academy of Sciences of Republic Bashkortostan, Sterlitamak, Russia, e-mail: mironova-irina-s@yandex.ru

³ Ufa State Petroleum Technological University Salavat Branch, Salavat, Russia, e-mail: eapp@yandex.ru

The research of relations between technical condition and operating modes of machine units with parameters of harmonic currents and voltages, which generate by driver's motor. Integrated parameters for identification of technical condition of an electric equipment under production conditions are offered. The structure of control system by technical condition of the equipment of oil and gas manufactures is developed for maintenance reliability and safety of engines of electric drive machine units of extraction, transport and oil refining and gas, allowing to carry out transition to system of service and repair of machine units on actual technical condition.

Key words: electric motors, machine units with an electric drive, a technical condition, defect, safety of oil and gas manufactures, integrated parameter.

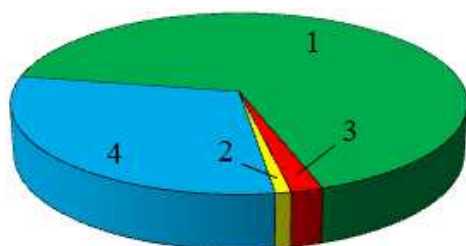
Устойчивость технологических процессов добычи, транспорта и переработки нефти и газа во многом зависит от надежности работы машинных агрегатов с электрическим приводом. На предприятиях нефтегазовой отрасли, ввиду высокой пожаро- и взрывоопасности обращающихся в технологических циклах веществ, отказ двигателей электропривода машинных агрегатов может привести к созданию аварийных ситуаций, сопровождается значительным экологическим и экономическим ущербом. По данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору основную опасность для предприятий нефтегазовых производств представляют пожары – 58,5 %, загазованность – 17,9 % и взрывы – 15,1 % от общего числа опасных ситуаций. Учитывая техническое состояние эксплуатируемого оборудования и то, что средний срок амортизации оборудования достигает 80 %, можно прогнозировать в ближайшие годы возможный рост аварий на предприятиях нефтегазовой отрасли страны. По данным МЧС России около 20 % пожаров в стране происходят по электротехническим причинам, включая возникшие при перерывах электроснабжения и аварийных ситуациях на промышленных предприятиях. Нарушение правил устройства и эксплуатации

электрооборудования служит причиной каждого пятого пожара, а это порядка 50 тысяч пожаров в год, при этом число погибших составляет примерно 3 тыс. человек в год. Доля ущерба от пожаров по электротехническим причинам выросла с 21,8 % в 2004 г. до 31,5 % в 2006 г., за 2007 г. составила 25 %; за 2008 г. – 33,3 %; а за 2009 г. – около 21,7 %. Значительным является доля пожаров и аварий, возникших по электротехническим причинам и на предприятиях нефтегазовой отрасли. Основной причиной этого является моральный и физический износ электрооборудования и электрических сетей. Общий износ электрооборудования составляет порядка 30 – 40 %. На предприятиях нефтегазовой отрасли доля машинных агрегатов составляет около 35 % от всего оборудования, используемого для ведения технологических процессов. Большая часть машинных агрегатов имеет электрический привод и доля потребления ими электрической энергии превышает 80 % всей потребляемой предприятием электроэнергии, поэтому их работоспособность во многом определяет надежность всего технологического комплекса. Значительную долю повреждений машинных агрегатов с электрическим приводом составляют повреждения электродвигателей [3,7].

Уровень аварий в нефтегазовой отрасли высок не только в России, но и во всем мире. По данным независимого общества по охране жизни, имущества и окружающей среды DNV (Det Norske Veritas), за последние три года в этой отрасли произошло 2050 аварий, в основном в нефтепереработке и нефтехимии (1800). Анализ статистических данных Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны (ВНИИПО) показывает, что 50 % возгораний на предприятиях нефтегазовой отрасли происходит из-за неисправностей электрооборудования и перерывов электроснабжения. На рисунке 1 представлены результаты анализа статистической информации по пожарам и аварийным ситуациям по электротехническим причинам, приводящие к отказу электрооборудования, на предприятиях нефтегазовой отрасли Российской Федерации за период с 1997 г. по 2009 г. (данные ВНИИПО) [3,7].

В современных условиях задача обеспечения безопасности предприятий нефтегазовой отрасли требует формирования единого подхода к предупреждению аварий и инцидентов, связанных с отказом электрооборудования, и к повышению эффективности производства, также зависящего от технического состояния оборудования. Для обеспечения надежности и безопасности двигателей электропривода машинных агрегатов в настоящее время используется планово-предупредительная система обслуживания и ремонта, которая является экономически неэффективной и не может гарантировать безаварийную работу оборудования в межремонтный период. Для перехода на более эффективную систему обслуживания и ремонта по техническому состоянию необходимо применение методов и средств оценки технического состояния и прогнозирования ресурса безопасной эксплуатации двигателей электропривода машинных агрегатов. Конструктивные особенности и условия эксплуатации взрывозащищенных машинных агрегатов нефтегазовых производств затрудняют использование традиционных методов и средств диагностики [1, 4] машинных агрегатов в производственных условиях. Для решения этой задачи необходимо использовать интегральные параметры, позволяющие идентифицировать текущее техническое состояние и прогнозировать остаточный ресурс, как отдельных экземпляров электродвигателей, так и предприятия в целом.

В работе проведен анализ результатов исследований по определению взаимосвязи технического состояния технологического оборудования с электрическим приводом – машинных агрегатов нефтегазовых производств, с частотными характеристиками и параметрами генерируемых двигателем электропривода высших гармонических составляющих токов и напряжений. Результаты исследований показывают, что параметры генерируемых гармонических составляющих токов и напряжений несут информацию о режимах работы, о характере и месте возникновения повреждений, а применение методов и средств обработки сигналов позволяет идентифицировать степень опасности и местоположение повреждений, прогнозировать ресурс безопасной эксплуатации оборудования [2, 6].



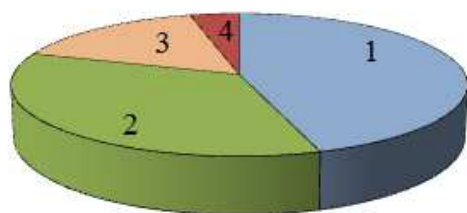
Масштабы пожаров

- 1 - кабельные линии, 2243,2 тыс. руб. (67 %)
- 3 - электродвигатели, 59,4 тыс. руб. (2 %)
- 2 - трансформаторы, 36,0 тыс. руб. (1 %)
- 4 - прочее, 1005,3 тыс. руб. (30 %)



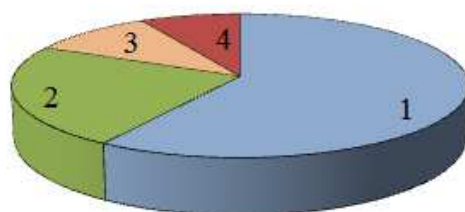
Количество пожаров

- 1 - кабельные линии, 46 (43 %)
- 2 - электродвигатели, 4 (4 %)
- 3 - трансформаторы, 4 (4 %)
- 4 - прочее, 53 (49 %)



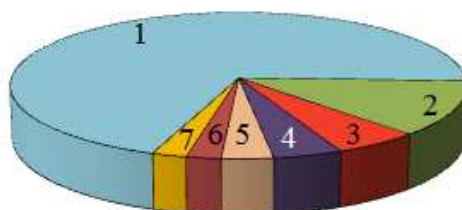
Масштабы аварийных ситуаций

- 1 - кабельные линии, 121,5 млн. руб. (45 %)
- 2 - трансформаторы, 94,5 млн. руб. (35 %)
- 3 - электродвигатели, 43,5 млн. руб. (16 %)
- 4 - прочее, 10,8 млн. руб. (4 %)



Количество аварийных ситуаций по видам электрооборудования

- 1 - кабельные линии, 243 (59 %)
- 2 - электродвигатели, 51 (23 %)
- 3 - трансформаторы, 40 (10 %)
- 4 - прочее, 32 (8 %)



Характерные повреждения двигателей

- 1 - механические повреждения (63 %)
- 2 - однофазные замыкания (11 %)
- 3 - витковые замыкания (5 %)
- 4 - обрывы обмотки ротора (4 %)
- 5 - двухфазные замыкания (3 %)
- 6 - трехфазные замыкания (2 %)
- 7 - обрывы обмотки статора (2 %)

Рисунок 1. Пожары и аварийные ситуации по электротехническим причинам на предприятиях нефтегазовой отрасли Российской Федерации (данные ВНИИПО за период с 1997 по 2009 г.)

Для исследования спектра гармоник, генерируемых машинными агрегатами с электрическим приводом на напряжение 0,4 кВ, разработана экспериментальная установка. Структурная схема и внешний вид экспериментальной установки для исследования центробежного вентилятора Ц4-70№2,5 представлены на рисунке 2 [5, 8]. Трёхфазный портативный анализатор количества и качества электрической энергии AR.5 фирмы «CIRCUTOR Software» (Испания), программный комплекс Power Vision 1.6b,

Harmonics 2.14 и FromAR5 использовались для измерения параметров гармонических составляющих токов и напряжений. Прибор позволяет измерять параметры 49 гармонических составляющих тока и напряжения. С помощью микропроцессорного прибора 2801 IN производства компании «Standard Electric Works» (США) контролировалось состояние изоляции и проводников элементов системы электропривода машинных агрегатов. Режимы работы машинных агрегатов (вентиляторов) изменяли открытием (закрытием) заслонки на нагнетательном патрубке. Повреждения машинных агрегатов имитировали заменой подшипников на подшипники с разной степенью изношенности, дисбалансом ротора, понижением напряжения сети, увлажнением изоляции обмотки статора электродвигателя, обрывом одной и двух фаз, витковыми, межфазными и однофазными замыканиями в обмотке статора. Степень изношенности подшипников определялась прибором вибродиагностики ИДП-03. На рисунке 3 изображены спектры токов и напряжений при разной степени изношенности подшипников.



Машинный агрегат с электрическим приводом

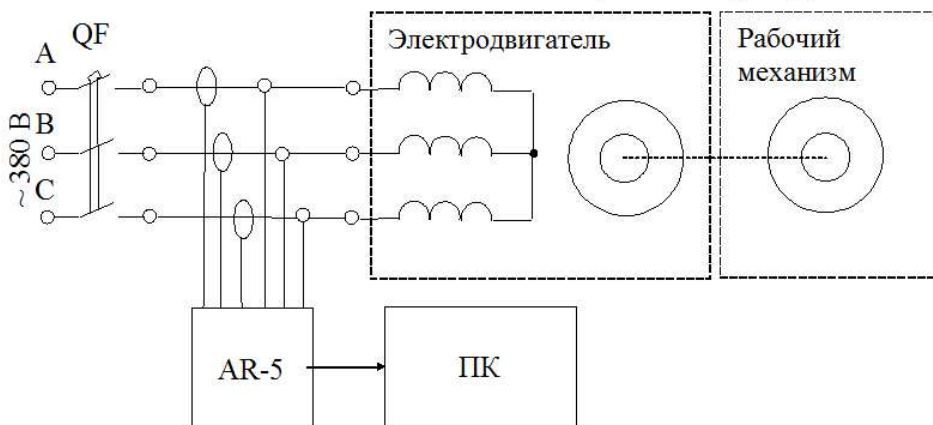
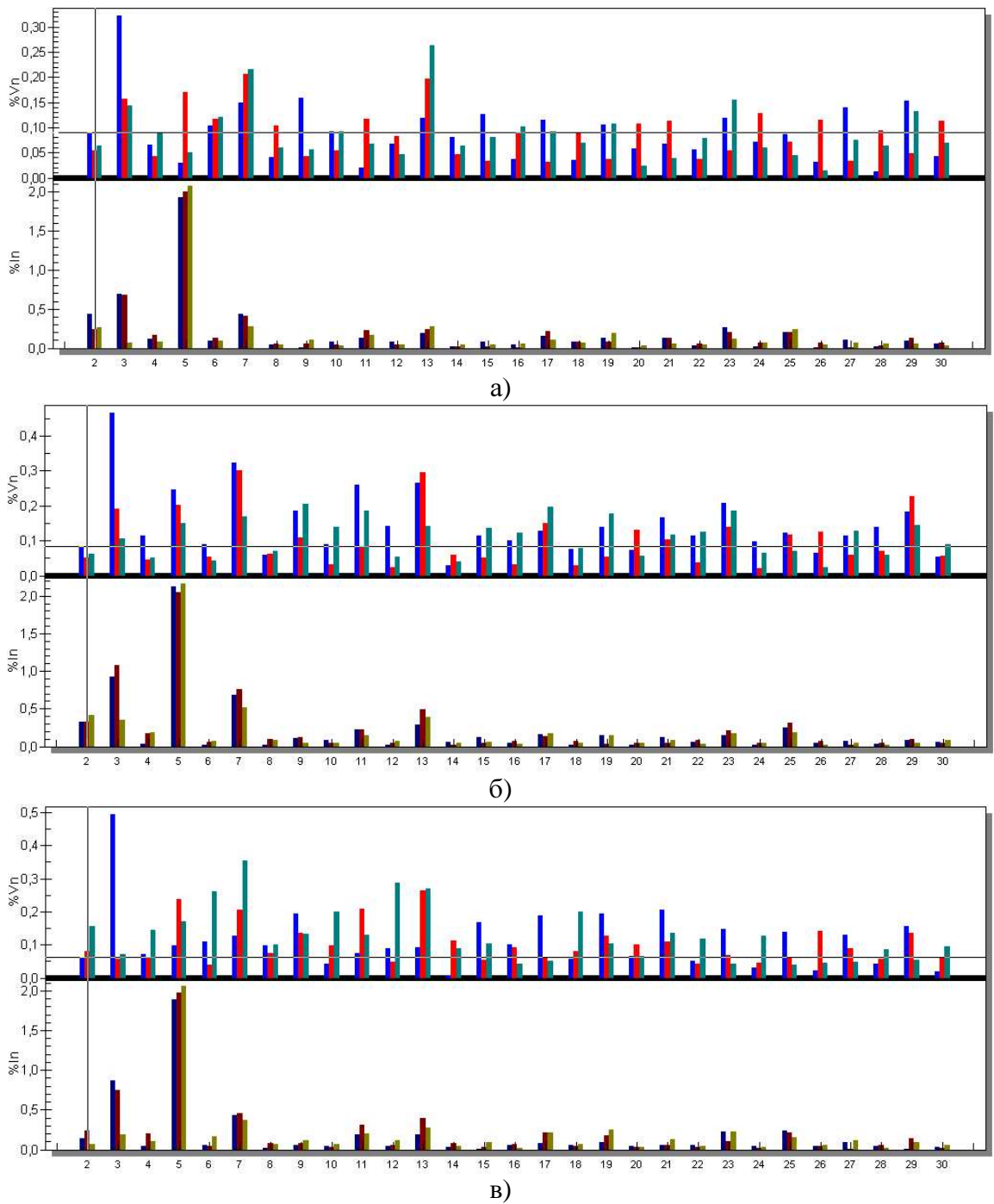


Рисунок 2. Внешний вид и структурная схема экспериментальной установки для исследования спектра гармоник токов и напряжений двигателя 4А71А4У3 центробежного вентилятора Ц4-70№2,5



а) состояние подшипников «Нормально»; б) состояние заднего подшипника «Неудовлетворительно»; в) состояние переднего подшипника «Неудовлетворительно»

Рисунок 3. Гармонический состав напряжений и токов асинхронного электродвигателя 4A71A4У3 при разной степени изношенности подшипников центробежного вентилятора Ц4-70№2,5

Для исследования зависимости коэффициентов гармоник и коэффициентов несинусоидальности фазных токов и напряжений от режимов работы и характера неисправностей асинхронного двигателя была построена модель в среде MatLab с использованием пакета Simulink, изображенная на рисунке 4. При работе асинхронного двигателя наиболее существенным изменениям подвержены активные сопротивления обмоток, зависящие от температуры. Активное сопротивление обмоток статора и ротора двигателя изменяются в результате локального и глобального нагрева двигателя. Изменение магнитного состояния асинхронного двигателя влияет на индуктивность.

Момент инерции и момент статической нагрузки изменяются в результате эксплуатации технологического оборудования. Изменяя такие параметры асинхронного двигателя, как активное сопротивление и индуктивность статора, активное сопротивление и индуктивность ротора, взаимную индуктивность, исследовали и выявили закономерности взаимосвязи между техническим состоянием и режимами работы двигателя с параметрами генерируемых высших гармонических составляющих фазных токов и напряжений.

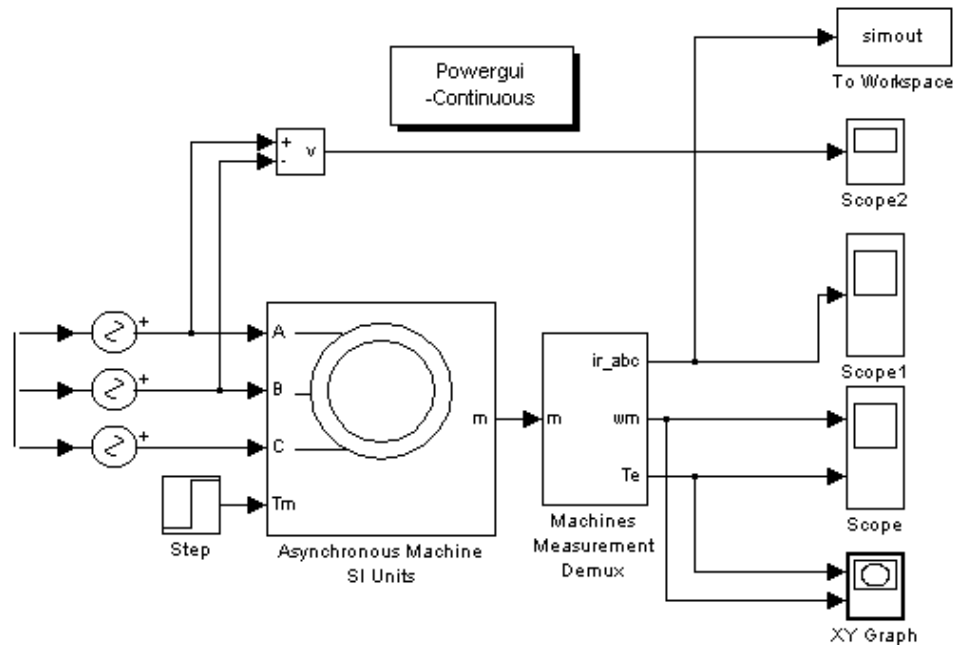


Рисунок 4. Виртуальная модель асинхронного электродвигателя центробежного вентилятора

В качестве интегрального параметра, характеризующего техническое состояние двигателей электропривода машинных агрегатов, использован Фурье-образ, формируемый высшими гармоническими составляющими токов и напряжений, генерируемых двигателем электропривода. Как известно, высшие гармонические составляющие токов и напряжений, генерируемые электрооборудованием, зависят от его технического состояния. Для оценки технического состояния электродвигателей предлагается использовать коэффициенты искажения кривых тока $K_{I(k)}$ и напряжения $K_{U(k)}$. Диагностический параметр D , основанный на использовании коэффициентов искажения кривых тока $K_{I(k)}$, позволяет идентифицировать вид конкретного дефекта [8]

$$D = f(K_{I(k)}) = f(w_1 K_{I(1)} + w_2 K_{I(2)} + w_3 K_{I(3)} + \dots). \quad (1)$$

Уровень накопления поврежденности оценивается параметром

$$P_{(t)} = 20 \lg \left(I_{(1)} / \sqrt{\sum_{k=1}^n I_{(k)}^2} \right), \quad (2)$$

и для оценки ресурса электродвигателей предложен параметр $P^*_{(t)}$

$$P^*_{(t)} = f(P_{(t)}) = f(w_1 P_{(t1)} + w_2 P_{(t2)} + w_3 P_{(t3)} + \dots). \quad (3)$$

При использовании дополнительных параметров – коэффициентов искажения кривых напряжения $K_{U(k)}$ и углов сдвига по фазе между соответствующими

гармоническими составляющими токов и напряжений, достоверность оценки технического состояния и прогнозирования ресурса оборудования существенно повышается. Задача распознавания вида конкретного дефекта, определения общего технического состояния и прогнозирования ресурса безопасной эксплуатации двигателей электропривода машинных агрегатов решается на основе использования искусственной нейронной сети. В соответствии с вышеизложенным, составлены алгоритмы идентификации технического состояния и прогнозирования ресурса безопасной эксплуатации электрооборудования [8].

Для комплексного управления безопасностью нефтегазовых производств и повышения точности прогноза электропотребления в условиях работы на НОРЭМ (новый оптовый рынок электроэнергии и мощности), с учетом технического состояния электрооборудования предлагается создание системы управления техническим состоянием электрооборудования нефтегазовых производств, основанной на SCADA-системе TRACE MODE 6, автоматизированной системе диспетчерского контроля и управления «Нева», автоматизированных системах коммерческого (АИИС КУЭ) и технического учета электроэнергии (АИИС ТУЭ), и технических средствах сбора первичной информации о техническом состоянии электрооборудования (датчиках фирм «VEGA», «Альбатрос», «Yokogawa») [3, 7]. Структура системы автоматизированного управления техническим состоянием электрооборудования нефтегазовых производств изображена на рисунке 5.

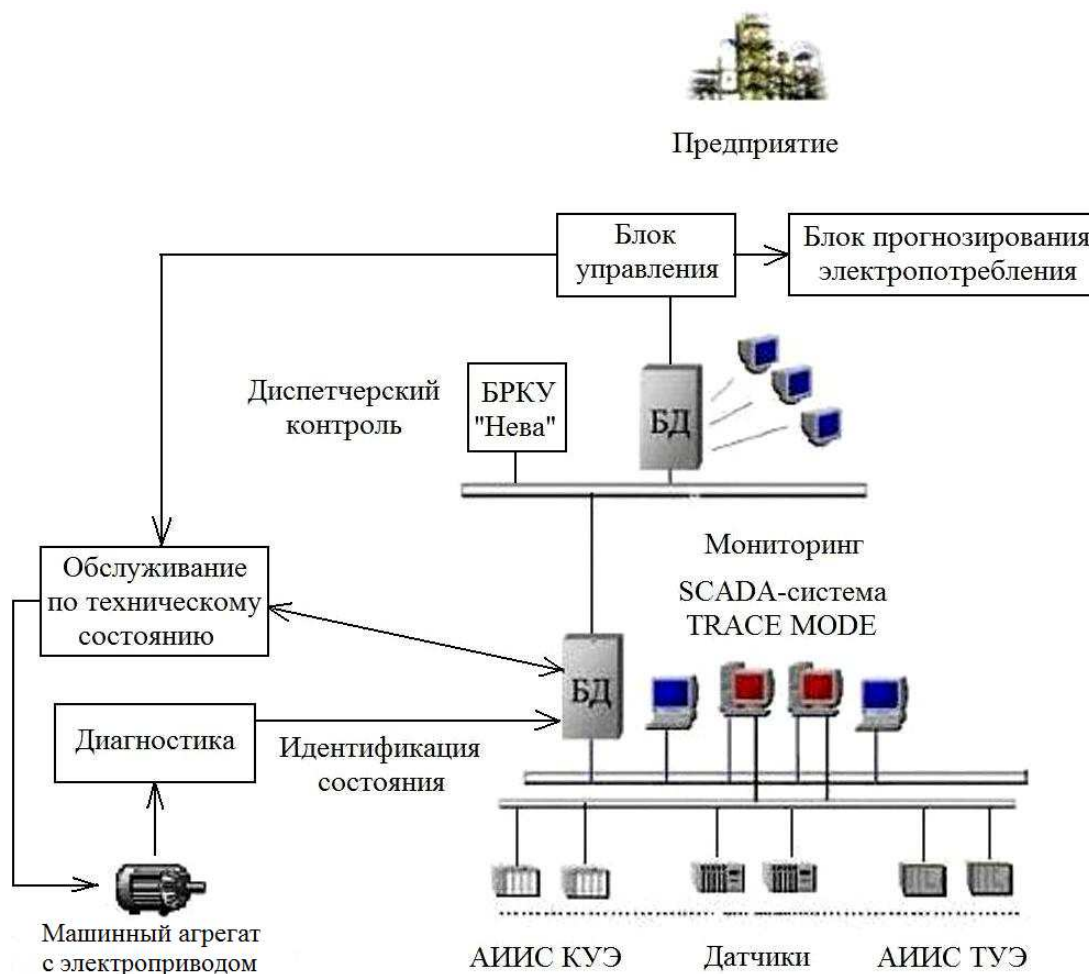


Рисунок 5. Структурная схема системы автоматизированного управления техническим состоянием электрооборудования нефтегазовых производств

Таким образом, применение системы автоматизации позволяет осуществлять регулярный мониторинг технического состояния, режимов работы, эффективности использования электрооборудования и энергетических ресурсов, выявлять неисправности

и отслеживать динамику их развития, прогнозировать остаточный ресурс, повысить точность прогнозирования электропотребления, тем самым обеспечить надежность, безопасность и эффективность эксплуатации машинных агрегатов добычи, транспорта и переработки нефти и газа, осуществить переход на систему обслуживания и ремонта оборудования по фактическому техническому состоянию.

Работа поддержана грантом «Региональный конкурс ПОВОЛЖЬЕ»; название проекта: «Исследование взаимосвязи совокупности параметров гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых двигателем электропривода, с техническим состоянием и остаточным ресурсом машинных агрегатов нефтегазовых производств для решения проблемы перехода на систему обслуживания и ремонта по фактическому техническому состоянию»; номер проекта: 11-08-97028.

Список литературы

1. Баширов М. Г., Шикунов В. Н. Диагностика электрических сетей и электрооборудования промышленных предприятий. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – 220 с.
2. Баширов М. Г., Прахов И. В. Исследование взаимосвязи параметров высших гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых двигателем, с характерными повреждениями электропривода // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий: матер. Всерос. науч.-технич. конф. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2009. – Том 2. – С. 84-86.
3. 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 (Электронный научный журнал) URL: http://www.ogbus.ru/authors/Bashirov/Bashirov_4.pdf.
4. Богданов Е. А. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования. – М.: Высшая школа, 2006. – 279 с.
5. Валеев М. А. Диагностика технического состояния и прогнозирование ресурса электрооборудования по параметрам генерируемых высших гармоник токов и напряжений / М. А. Валеев, М. Г. Баширов, В. Н. Шикунов, А. Н. Косогорин // Нефтегазопереработка и нефтехимия – 2007: матер. междунар. науч.-практ. конф. – Уфа: Изд-во ГУП «Институт нефтехимпереработки РБ», 2007. – С. 421-422.
6. Кузеев И. Р., Баширов М. Г. Оценка состояния и прогнозирование ресурса оборудования по изменению электромагнитных диагностических параметров // Мировое сообщество: проблемы и пути решения: сб. науч. тр. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2005. – С. 4-12.
7. Миронова И. С., Баширов М. Г. Исследование интегральных критериев оценки энергобезопасности и энергоэффективности электрооборудования // Федоровские чтения-2010: матер. XL Всерос. науч.-практ. конф. – М: Изд. дом МЭИ, 2010. – С. 21-23.
8. Шикунов В. Н. Обеспечение безопасности технологических процессов нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств при повреждениях в электроэнергетической системе предприятия // Нефтегазовое дело: научно-технический журнал. Т. 6. – 2008. – № 1. – С. 181-188.

Рецензенты:

Михайлов П.Н., д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой, ФГБОУ ВПО Стерлитамакская государственная педагогическая академия им. З. Биишевой, г. Стерлитамак.

Хасанов И.Ю., д.т.н., профессор, генеральный директор, ООО «Научно-производственный центр «Шэрыкъ», Республика Башкортостан, г. Салават.

Работа получена 26.07.2011.
