

УДК 621

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЦЕНОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА

Баширов М.Г.<sup>1</sup>, Юмагузин У.Ф.

*Салаватский филиал Уфимского государственного нефтяного  
технического университета, г. Салават  
e-mail:<sup>1</sup> eapp@yandex.ru*

Талаев В.Л.

*ОАО «Газпром нефтехим Салават», г. Салават*

**Аннотация.** *Задача обеспечения промышленной безопасности в условиях продолжающегося физического и морального износа оборудования предприятий нефтегазовой отрасли РФ обуславливает повышение роли методов и средств диагностики. Существующие методы оценки технического состояния оборудования сосредоточены на изучении отдельных элементов технической системы. Системный подход, основанный на ценологических представлениях, позволяет рассматривать не отдельно каждый элемент, а комплексно в виде техноценоза совокупность всего оборудования, расположенного на предприятии. Выявлены закономерности взаимосвязи технического состояния электрооборудования с частотными характеристиками и параметрами генерируемых высших гармонических составляющих токов и напряжений. Для параметрического описания оборудования предложены параметры, учитывающие техническое состояние, риски ущерба при отказе, а также стоимость технического обслуживания оборудования. Описан алгоритм определения уровня поврежденности электрооборудования, основанный на использовании интегрального диагностического параметра.*

**Ключевые слова:** *параметрическое описание, техноценоз, оценка технического состояния*

Анализ, проведенный Федеральной службой государственной статистики Российской Федерации, свидетельствует о том, что степень износа оборудования предприятий нефтегазовой отрасли на конец 2010 года составляет 51,1 %, удельный вес полностью изношенных оборудования – 25,6 %, коэффициент обновления – 4,9 % (рис. 1) [1]. Количество аварий на предприятиях нефтегазовой отрасли, по данным об аварийности и производственном травматизме на поднадзорных Ростехнадзору опасных производственных объектах, представлено на рис. 2 (для 2011 года данные за первое полугодие) [2].

По данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору основную опасность для предприятий нефтегазовой отрасли представляют пожары – 58,5 %, загазованность – 17,9 % и взрывы – 15,1 % от общего числа опасных ситуаций (рис. 3). 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 %. Анализ, проведенный

Ростехнадзором, показывает что аварии обусловлены нарушением регламентов и инструкций по проведению ремонтных работ, а также морально и физически устаревшим оборудованием объектов нефтегазового комплекса [3].

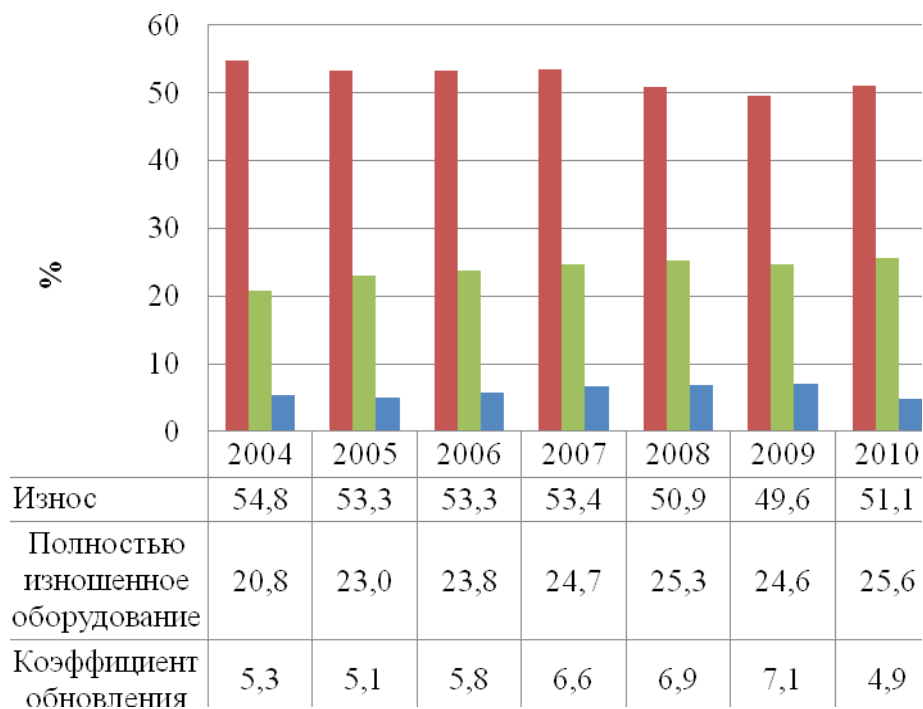


Рис. 1. Состояние основных фондов нефтегазовой отрасли

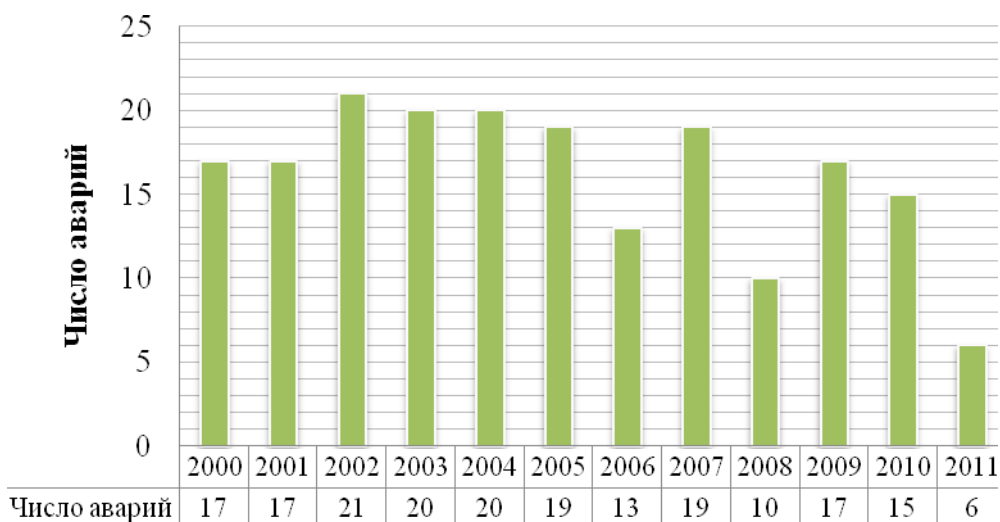


Рис. 2. Число аварий на предприятиях нефтегазовой отрасли

Износ оборудования нефтегазовой отрасли и сохраняющийся уровень аварийности требует совершенствования методов оценки технического состояния, а также системы обслуживания и ремонта. Существующая система планово-предупредительного ремонта имеет следующие недостатки:

- относительно большие сроки между испытаниями и ремонтами, не позволяющие выявлять повреждения оборудования на ранней стадии их возникновения;
- обслуживание и ремонт выполняются без фактической их необходимости;
- надежность работы после обслуживания с разборкой и заменой деталей часто снижается;
- не обоснованная фактическим состоянием замена узлов и деталей с большим остаточным ресурсом.

Переход от регламентированных по времени профилактических и ремонтно-восстановительных работ к обслуживанию оборудования по фактическому техническому состоянию позволит повысить ресурс и надежность оборудования, сократить затраты на ремонт и простои. Являясь дорогостоящим мероприятием, система ремонта и обслуживания по техническому состоянию требует определения наиболее приоритетного оборудования, требующего повышенного контроля. Ранжирование оборудования предлагается проводить на основании трех показателей, учитывающих техническое состояние, риски ущерба при отказе, а также стоимость технического обслуживания объекта.

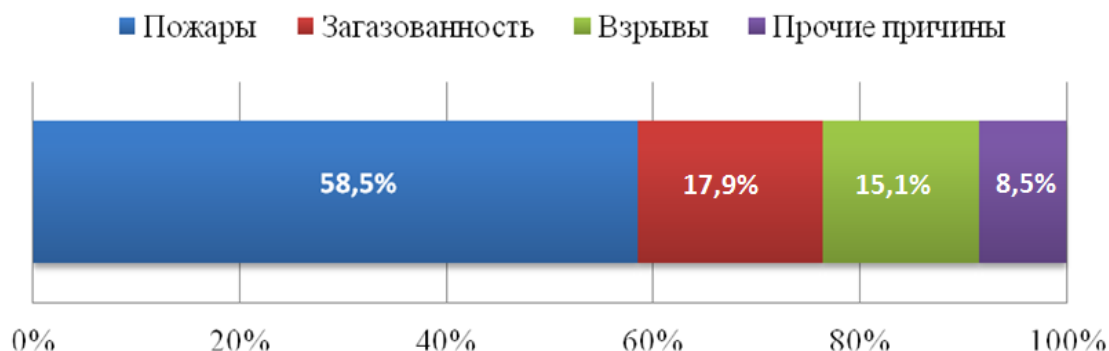


Рис. 3. Основные опасности нефтегазовых производств

Показатель рисков ущерба при отказе оборудования рассчитывается по формуле [4], где величина риска определяется как произведение величины нежелательного события (ущерба) на вероятность его наступления

$$r = \sum_{i=1}^N k_i \cdot p_i \cdot c_i, \quad (1)$$

где  $N$  – количество возможных опасных событий;

$k_i$  – масштабирующий коэффициент;

$p_i$  – вероятность возникновения опасного события  $i$ -го класса;

$c_i$  – величина ущерба при  $i$ -ом событии.

Для оценки вероятности возникновения событий используются данные статистики, подбор аналогии и мнение экспертов. Коэффициент  $k$  введен, чтобы уравнивать вес рисков, подсчитанный в реальных единицах, с рисками, оцененными экспертами по шкале от 1 до 10. По каждой единице оборудования подсчитывается показатель, характеризующий техническое состояние объекта [4] по формуле

$$k = \frac{\sum_{i=1}^I (h^J \cdot d_i + g^J \cdot r_i)}{I}, \quad (2)$$

где  $h^J$  – весовой коэффициент для учета важности диагноза для оборудования  $J$ -го вида;

$d_i$  – показатель опасности диагноза по  $i$ -му виду контроля, учитывающий скорость развития и тяжесть последствия дефекта (снижение срока службы или катастрофический отказ);

$g^J$  – весовой коэффициент для учета важности рекомендации для оборудования  $J$ -го вида;

$r_i$  – показатель весомости рекомендации по  $i$ -му виду контроля, учитывающий трудоемкость операции технического обслуживания и ремонта;

$I$  – количество видов контроля, участвующих в оценке технического состояния оборудования.

Показатель, учитывающий затратность технического обслуживания объекта [4], определяется как

$$s = \left( 1 - \frac{C_L - C_L^J}{C_L^J} \right) \cdot 100, \quad (3)$$

где  $C_L$  – ежегодные затраты на проведение операций технического обслуживания объекта;

$C_L^J$  – ежегодные удельные затраты на проведение технического обслуживания по  $J$ -й группе однотипного оборудования со сроком эксплуатации  $L$ , которые рассчитываются по формуле [4]:

$$C_L^J = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^{T_L} c^J}{T_L \cdot N}, \quad (4)$$

где  $c^J$  – затраты на проведение одной операции технического обслуживания для  $J$ -й группы оборудования;

$T_L$  – срок, за который суммируются затраты на техническое обслуживание, в годах;

$N$  – количество единиц в группе.

Значения  $C_L$ ,  $C_L^J$  могут рассчитываться как в денежном выражении, так и в единицах трудоемкости. Значения переменных  $c_i$ ,  $r_i$ ,  $h^J$ ,  $g^J$  необходимо определить путем экспертного оценивания [4].

Исследование состояния технической системы, включающей все установленное оборудование, нельзя основывать на изучении отдельного конкретного вида оборудования (из-за практической счетности), а также на анализе "среднего" вида. Системный подход, основанный на ценологических представлениях, позволяет рассматривать не отдельно каждый элемент, а комплексно в виде техноценоза совокупность всего оборудования, расположенного на предприятии. Техноценоз – ограниченная в пространстве и времени взаимосвязанная совокупность далее неделимых видов технического оборудования, объединенных слабыми связями, которые носят особый характер, определяемый конструктивной, а зачастую и технологической независимостью отдельных технических изделий и многообразием решаемых задач. Для описания техноценоза необходимо оперировать выборкой данных в целом, как бы велика она ни была, что предполагает построение ранговых распределений, теоретическая основа которых лежит в области негауссовой математической статистики устойчивых гиперболических безгранично делимых распределений. Основой техноценологического метода является ранговый анализ. На основе показателей, учитывающих риски ущерба и техническое состояние объекта, производится ранжирование всего оборудования, установленного на предприятии по формулам [5]

$$W_1 = k \cdot r, \quad (5)$$

$$W(r) = \frac{W_1}{r^\beta}, \quad (6)$$

где  $W_1$  – параметр распределения;

$\beta$  – ранговый коэффициент;

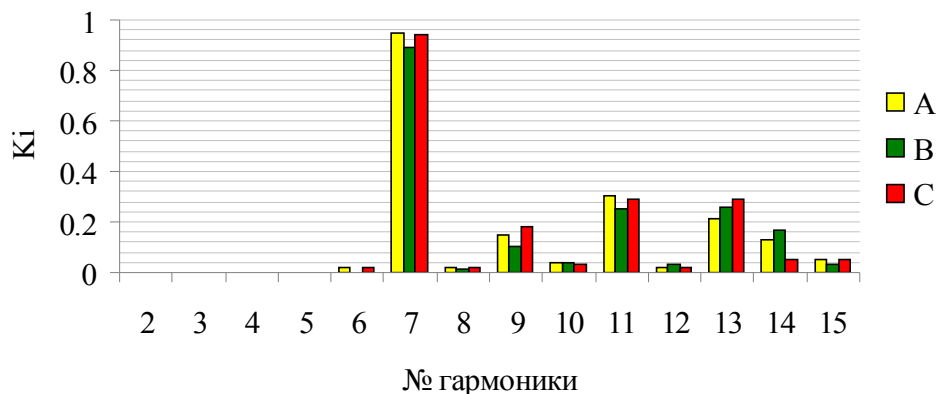
$r$  – ранг оборудования, целые натуральные числа.

Объекты, получившие равные значения  $W_1$  дополнительно ранжируются согласно рассчитанным показателям  $s$  для того, чтобы минимизировать затраты по оборудованию, ожидающему очереди на техническое обслуживание и ремонт.

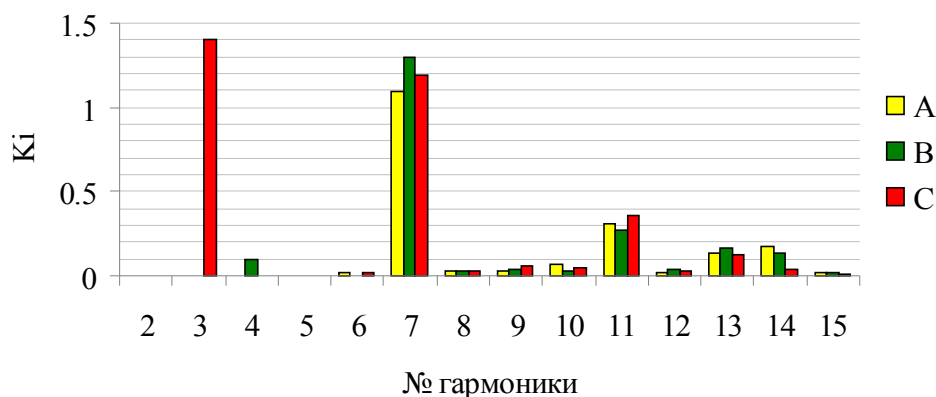
Результаты исследований и моделирования накопления поврежденности в элементах электрооборудования [6, 7, 8], выполненных на кафедре ЭАПП филиала ФГБОУ ВПО УГНТУ в г. Салавате, позволили выявить наличие закономерностей, связывающих параметры генерируемых двигателем электропривода гармонических составляющих токов и напряжений и технического состояния электрооборудования. Установлена также корреляция между параметрами генерируемых высших гармонических составляющих токов и напряжений, изменением частотных характеристик и техническим состоянием других видов электрооборудования – трансформаторов, кабельных линий. На рис. 4 показан гармонический состав токов (где  $K_i$  – коэффициент гармонической составляющей тока), генерируемых двигателем АИР 100S4 при различных значениях сопротивления изоляции.

Для измерения параметров гармонических составляющих токов и напряжений использовали измеритель показателей качества электроэнергии Ресурс-UF2M,

укомплектованный программным обеспечением «Ресурс-UF2Plus». Прибор позволяет измерять параметры 40 гармонических составляющих тока  $K_{In}$  и напряжения  $K_{Un}$  и углы сдвига по фазе  $\varphi_{ui(n)}$  между соответствующими гармоническими составляющими фазных токов  $I_n$  и напряжений  $U_n$ .



а) сопротивление изоляции  $R_{из} = 0,6 \text{ МОм}$



б) сопротивление изоляции  $R_{из} = 500 \text{ МОм}$

Рису. 4. Гармонический состав токов при различных сопротивлениях изоляции электродвигателя АИР 100S4

Для идентификации технического состояния оборудования наибольшее применение нашли следующие методы распознавания:

1. Метрические методы распознавания образов, основанные на количественной оценке близости двух состояний объекта. Мерой близости считается расстояние между точками, изображающими состояние объекта в пространстве признаков.

2. Статистические методы, основанные на распределении по классам в соответствие с классификацией по правилу Байеса.

3. Динамические методы, основанные на представлении связи между входными и выходными сигналами объекта с помощью передаточной функции. Переда-

точная функция определяется как отношение выходного и входного сигналов объекта, преобразованных по Лапласу.

4. Метод искусственных нейронных сетей, основанный на использовании элементов, функциональные возможности которых аналогичны большинству элементарных функций биологического нейрона. Важным преимуществом использования нейронных сетей в задачах диагностики является обучаемость. В процессе работы системы диагностики можно выполнять добавление или корректировку диагностического словаря.

Применение искусственных нейронных сетей в задачах диагностики находит все больший интерес. Ведь, по сути, нейронные сети позволяют сократить аппарат распознавания образов, без изменения достоверности результатов [6].

Для диагностики электрооборудования по значениям параметров генерируемых гармонических составляющих токов и напряжений, разработано программное обеспечение «Оценка технического состояния электрооборудования на основе интегральных параметров» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012615158, авторы: Баширов М.Г., Юмагузин У.Ф., Миронова И.С., Акчулпанов В.Г.) [9]. Программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- фильтрация гармонических и субгармонических составляющих фазных токов и напряжений, поступающих из сети;
- создание и редактирование искусственной нейронной сети;
- формирование интегральных параметров оценки технического состояния электрооборудования.

Диагностика основных неисправностей электродвигателя осуществляется на следующих характерных частотах:

- наличие межвитковых замыканий в обмотках статора, замыкания фазы на корпус обмотки статора и повреждения ротора – на частоте питающей сети;
- несоосность валов электродвигателя и связанных с электродвигателем механических устройств – на частотах, кратных частоте вращения электродвигателя;
- дефекты ременной передачи нагрузки – на частотах, кратных частоте биений ремня;
- повреждения подшипника – на частотах, кратных частоте вращения ротора;
- повреждения связанных с электродвигателем механических устройств из группы: насос, вентилятор, компрессор – на лопаточной частоте.

Алгоритм определения уровня поврежденности электрооборудования, основанный на использовании интегрального диагностического параметра, представлен на рис. 5.

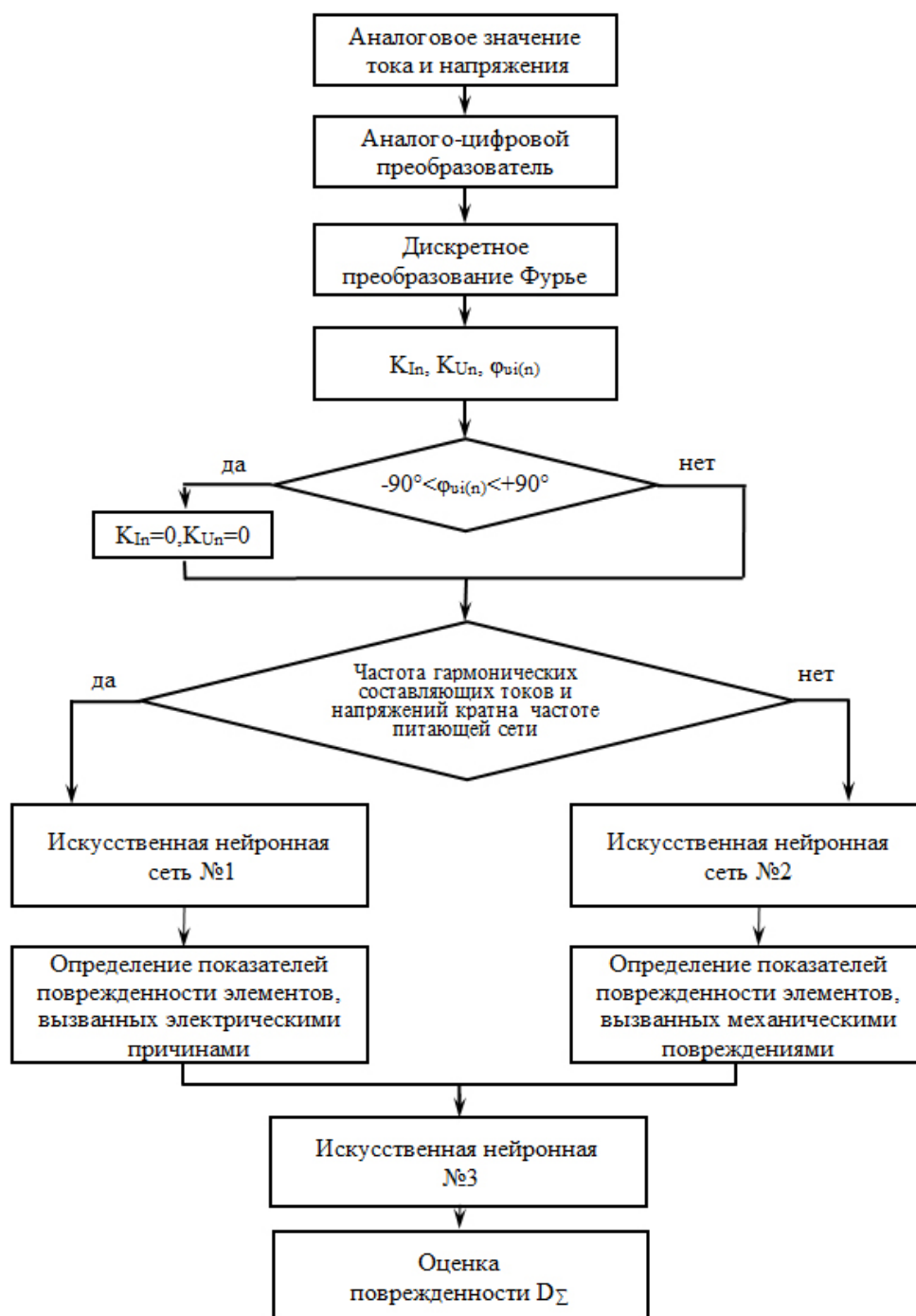


Рис. 5. Алгоритм определения уровня поврежденности электрооборудования, основанный на использовании интегрального диагностического параметра



Значение показателя поврежденности электрооборудования, вызванной электрическими причинами  $D_E$

$$D_E = F( K_{InA}, K_{UnA}, \phi_{ui(n)A}, K_{InB}, K_{UnB}, \phi_{ui(n)B}, K_{InC}, K_{UnC}, \phi_{ui(n)C} ) = \\ = F\left( \sum_{n=k} (w_{InA} K_{InA} + w_{UnA} K_{UnA} + w_{ui(n)A} \phi_{ui(n)A} + w_{InB} K_{InB} + w_{UnB} K_{UnB} + \right. \\ \left. + w_{ui(n)B} \phi_{ui(n)B} + w_{InC} K_{InC} + w_{UnC} K_{UnC} + w_{ui(n)C} \phi_{ui(n)C} \right), \quad (7)$$

где  $K_{InA,B,C}$  – коэффициент гармонических составляющих токов;

$K_{UnA,B,C}$  – коэффициент гармонических составляющих напряжений;

$\phi_{ui(n)A,B,C}$  – угол сдвига по фазе между соответствующими гармоническими составляющими фазных токов и напряжений;

$k$  – номер гармонической составляющей, кратной частоте питающей сети.

Значение показателя поврежденности электрооборудования, вызванной механическими причинами  $D_M$

$$D_M = F( K_{InA}, K_{UnA}, \phi_{ui(n)A}, K_{InB}, K_{UnB}, \phi_{ui(n)B}, K_{InC}, K_{UnC}, \phi_{ui(n)C} ) = \\ = F\left( \sum_{n=m} (w_{InA} K_{InA} + w_{UnA} K_{UnA} + w_{ui(n)A} \phi_{ui(n)A} + w_{InB} K_{InB} + w_{UnB} K_{UnB} + \right. \\ \left. + w_{ui(n)B} \phi_{ui(n)B} + w_{InC} K_{InC} + w_{UnC} K_{UnC} + w_{ui(n)C} \phi_{ui(n)C} \right), \quad (8)$$

где  $m$  – номер субгармонической составляющей фазных токов и напряжений.

Значение поврежденности элементов электрооборудования, вызванной электрическими причинами, анализируется искусственной нейронной сетью №1, значение поврежденности, вызванной механическими причинами – искусственной нейронной сетью № 2. Совокупность значений показателей режимов работы и поврежденности элементов электрооборудования  $D_m$  анализируется искусственной нейронной сетью № 3, которая выдаёт результат – значение интегрального диагностического параметра поврежденности  $D_\Sigma$

$$D_\Sigma = F\left( \sum_{u=1}^{N_1} w_u D_M + \sum_{e=1}^{N_2} w_e D_E \right), \quad (9)$$

где  $N_1, N_2$  – количество выходов нейронной сети № 1 и № 2 соответственно;

$w_u, w_e$  – весовые коэффициенты нейронной сети № 1, № 2 для соответствующих диагностических параметров соответственно.

Для фильтрации гармонических составляющих фазных токов и напряжений, поступающих из сети, применяют углы сдвига по фазе  $\phi_{ui(n)}$  между соответствующими гармоническими составляющими фазных токов  $I_n$  и напряжений  $U_n$ . Если угол сдвига меньше ( $+90^\circ$ ) или больше ( $-90^\circ$ ), то данная гармоническая составляющая поступает из сети и из анализа исключается [6].

## Литература

1. Основные фонды / Федеральная служба государственной статистики. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/fund/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/fund/) (дата обращения: 05.09.2012).
2. Кузнецов А.С., Баширова Э.М., Миронова И.С. Управление энергетической безопасностью и энергетической эффективностью электрохозяйства предприятий нефтехимии и нефтепереработки // Энергоэффективность и энергобезопасность на предприятиях промышленности и ЖКХ: труды Всероссийского научно-практического семинара (24 – 25 марта 2010 г.) / отв. ред. К. Б. Сабитов. Уфа: АН РБ, Гилем, 2010. 298 с.
3. Миронова И.С., Баширов М.Г. Система мониторинга технического состояния электрооборудования нефтепереработки и нефтехимии // Сборник трудов Всероссийской научной конференции «Экологические проблемы нефтедобычи» (22 – 25 ноября 2010 г.). Уфа: Нефтегазовое дело, 2010. 506 с.
4. Давиденко И.В. Разработка системы многоаспектной оценки технического состояния и обслуживания высоковольтного маслонаполненного электрооборудования. Автореф. дис. ... д.т.н. Екатеринбург, 2009. 45 с.
5. Фуфаев В.В. Ценологическое определение параметров электропотребления, надежности, монтажа и ремонта электрооборудования предприятий региона. М.: Центр системных исследований, 2000. 320 с.
6. Прахов И.В. Оценка поврежденности насосных агрегатов по значениям параметров гармоник токов и напряжений электропривода. Автореф. дис. ... к.т.н. Уфа, 2011. 24 с.
7. Баширов М.Г., Миронова М.Г., Самородов М.Г., Юмагузин У.Ф. Формирование единого подхода к обеспечению энергосбережения и энергобезопасности предприятий нефтегазовой отрасли // Сборник трудов IV Международной научно-технической конференции «Проблемы электротехники, электро-энергетики и электротехнологии» (24 – 25 апреля 2012 г.). Тольятти: ТГУ, 2012. Ч. 1. С. 252 – 257.
8. Миронова И.С., Юмагузин У.Ф., Ломинский Е.С. Использование интегральных критериев и техноценологического метода в задачах обеспечения промышленной безопасности нефтегазовой отрасли // Материалы Международной научно-методической конференции «Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля – фундамент подготовки специалистов будущего». Уфа: Изд. УГНТУ, 2012. С. 294 - 297.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012615158. Оценка технического состояния электрооборудования на основе интегральных параметров / М. Г. Баширов, И. С. Миронова, У.Ф. Юмагузин, В. Г. Акчулпанов (Россия). №2012615158; Заявлено 10.04.2012, №2012612700. Опубл. 08.06.2012.

## ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE EQUIPMENT IN OIL AND GAS INDUSTRY THROUGH THE TECHNOCENOSIS METHOD APPLICATION

M.G. Bashirov, U.F. Yumaguzin

*Ufa State Petroleum Technological University, Salavat Branch, Salavat, Russia  
e-mail:<sup>1</sup> eapp@yandex.ru*

V.L. Talaev

*JSC "Gazprom neftekhim Salavat", Salavat, Russia*

**Annotation.** *The problem of industrial safety in the ongoing wear and tear of the enterprises of the oil and gas industry of Russia causes enhancement of the role and methods of diagnosis. Existing methods of evaluation of the technical condition of the equipment are focused on the study of the individual elements of the technical system. Systematic approach technocenosis submissions can not be considered separately each item, in the form of a complex set of technocenosis all equipment located at the plant. The studies revealed patterns of interconnection technical condition of electrical equipment with the frequency characteristics and parameters generated by the higher harmonic components of currents and voltages. Parametric description of the equipment offered options that take into account the technical condition, the risk of damage in case of failure and the cost of maintenance. The algorithm of determining the level of damage to electrical equipment, based on the use of the integrated diagnostic parameter.*

**Keywords:** *parametric description, technocenoses, assessment of technical condition*

### References

1. Osnovnye fondy (Basic funds) / Federal State Statistics Service. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/fund/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/fund/) (last accessed: 05.09.2012).
2. Kuznetsov A.S., Bashirova E.M., Mironova I.S. Upravlenie energeticheskoi bezopasnost'yu i energeticheskoi effektivnost'yu elektrokhozyaistva predpriyatii neftekhimii i neftepererabotki (Management of security of energy supply and energy efficiency at electrical facilities of petrochemical and refining companies) in *Energoeffektivnost' i energobezopasnost' na predpriyatiyakh promyshlennosti i ZhKKh: trudy Vserossiiskogo nauchno-prakticheskogo seminarara (Energy efficiency and energy security in industrial enterprises and housing: proceedings of the all-Russian workshop)*. 24 - 25 march 2010. Ufa: Academy of Sciences of Republic Bashkortostan, Gilem, 2010. 298 p.
3. Mironova I.S., Bashirov M.G. Sistema monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya elektrooborudovaniya neftepererabotki i neftekhimii (The monitoring system of the technical state of electrical equipment in refining and petrochemical industry) in *Sbornik trudov Vserossiiskoi nauchnoi konf. "Ekologicheskie problemy neftedobychi"*

(Proceedings of the All-Russian sci. conf. "Ecological problems of oil production"). 22-25 Nov. 2010. Ufa: Neftegazovoe delo, 2010. 506 p.

4. Davidenko I.V. Razrabotka sistemy mnogoaspektnoi otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya i obsluzhivaniya vysokovol'tnogo maslonapolnennogo elektrooborudovaniya (Development of a multifaceted assessment of technical condition and maintenance of high voltage oil-filled electrical equipment). PhD thesis abstract. Ekaterinburg, 2009. 45 p.

5. Fufaev V.V. Tsenologicheskoe opredelenie parametrov elektropotrebleniya, nadezhnosti, montazha i remonta elektrooborudovaniya predpriyatii regiona (Cenological determination of the parameters of power consumption, reliability, installation and repair of electrical equipment at regional enterprises). Moscow, Tsentr sistemnykh issledovaniy, 2000. 320 p.

6. Prakhov I.V. Otsenka povrezhdennosti nasosnykh agregatov po znacheniyam parametrov garmonik tokov i napryazhenii elektroprivoda (Damage assessment of pumping units by using the parameter values of current and voltage harmonics of the power drive). PhD thesis abstract. Ufa, 2011. 24 p.

7. Bashirov M.G., Mironova M.G., Samorodov M.G., Yumaguzin U.F. Formirovanie edinogo podkhoda k obespecheniyu energosberezheniya i energobezopasnosti predpriyatii neftegazovoi otrasli (Formation of a unified approach to energy conservation and energy safety of oil and gas industry), In *Sbornik trudov IV Mezhd. nauch.-tekhn. konf. "Problemy elektrotekhniki, elektro-energetiki i elektrotekhnologii"* (Proceedings of the IV Intern. sci. conf. "Problems of electrical engineering, power industry and electrotechnology"). 24 - 25 Apr. 2012. Tol'yatti, TGU, 2012. Part 1. PP. 252 – 257.

8. Mironova I.S., Yumaguzin U.F., Lominskii E.S. Ispol'zovanie integral'nykh kriteriev i tekhnotsenologicheskogo metoda v zadachakh obespecheniya promyshlennoi bezopasnosti neftegazovoi otrasli (Using the integral criteria and cenological method in problems of ensuring industrial safety in oil and gas industry), In *Materialy mezhd. nauchno-metod. konf. «Integratsiya nauki i obrazovaniya v vuzakh neftegazovogo profilya – fundament podgotovki spetsialistov budushchego»* (Proceedings of the Intern. sci. conf. "Integration of science and education in oil and gas universities – the foundation of training for future specialists"). Ufa, UGNTU, 2012. PP. 294 – 297.

9. The Certificate № 2012615158 on official registration of the computer program. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya elektrooborudovaniya na osnove integral'nykh parametrov (Assessment of technical condition of electrical equipment on the basis of integral parameters) / Bashirov M.G., Mironova I.S., Yumaguzin U.F., Akchulpanov V.G. (Russia). № 2012615158; Appl.:10.04.2012, №2012612700. Publ.: 08.06.2012.