

МОНИТОРИНГ, КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

УДК 620.111.3

Николаев А.А.

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА 80 МВА ЭНЕРГОБЛОКА ТЭЦ ОАО «ММК»

Отмечено, что внедрение систем мониторинга и диагностирования технического состояния силовых трансформаторов является актуальной задачей, включенной в перечень главных направлений модернизации производства ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»). Рассмотрены методы диагностирования, реализованные в стационарной системе оперативного контроля технического состояния трансформатора 80 МВА энергоблока ТЭЦ. Обоснованы функции, предложена модульная структура, разработана обобщенная функциональная схема системы. Рассмотрено техническое исполнение системы. Диагностическая информация поступает от электромагнитных датчиков частичных разрядов (ЧР), установленных на высоковольтных вводах, акустических датчиков ЧР, датчиков температуры верхних и нижних слоев масла и других стационарных измерительных устройств. Для анализа состояния масла применен анализатор влагосодержания и концентрации растворенных газов марки Hvdgran M2. Сбор и обработка информации проводятся с помощью системы TDM P034, адаптированной к условиям блочного трансформатора. Отличием разработанной системы является акустический контроль разрядной активности, осуществляемый с помощью специальных датчиков, установленных на баке трансформатора. Отмечена высокая эффективность внедрения стационарных систем мониторинга по сравнению с периодическим комплексным обследованием.

Ключевые слова: теплоэлектроцентраль, энергоблок, трансформатор, техническое состояние, диагностические параметры, контроль, стационарная система, функции, требования, структура, разработка, внедрение, технико-экономическая эффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение современных средств мониторинга и методов оперативного диагностирования обеспечивает эксплуатационный персонал следующей информацией:

- о текущем техническом состоянии трансформаторов и причинах, обусловивших его ухудшение;
- об остаточном на данный момент времени ресурсе;
- об оптимальных сроках проведения ремонтных работ, которые должны быть выполнены на данном оборудовании для поддержания его безаварийной эксплуатации.

Анализ состояния силовых трансформаторов целесообразно проводить в режиме on-line без отключения и вывода в ремонт (непрерывный метод диагностирования). В последнее время интенсивно развиваются и внедряются методы контроля состояния трансформаторов с применением современных компьютерных технологий, обеспечивающих автоматический сбор, обработку и анализ данных [1, 2].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Трансформаторы являются дорогостоящим ответственным оборудованием, в значительной степени определяющим технологический цикл и энергетическую безопасность металлургического предприятия. Потому внедрение стационарных систем мониторинга их технического состояния определено как одно из приоритетных направлений модернизации ОАО «ММК». Это связано с тем, что значительная часть силовых трансформаторов выработала свой ресурс [3, 4]. К тому же в сталеплавильных цехах находящаяся в эксплуатации печные трансформаторы, установленные на сверх-

мощных дуговых сталеплавильных печах (ДСП) и агрегатах печь-ковш (АПК). Их эксплуатационные режимы связаны с технологией электродугового расплава стали, характеризуются резкопеременной нагрузкой и сопровождаются частой коммутацией РПН [5, 6].

В направлении реализации принятой стратегии разработаны и внедрены системы мониторинга технического состояния трансформаторов ДСП и АПК электросталеплавильного цеха (ЭСЦ) [7–9]. Аналогичная система смонтирована и находится в эксплуатации на трансформаторе ТДНМ-63000/100000/110У1, установленном на подстанции №96 цеха сетей и подстанций [10]. Данные системы выполнены на базе диагностического оборудования, разработанного ОАО «Димрус» (г. Пермь). Основной целью является сокращение аварий и простоев ответственного оборудования.

В настоящее время завершено внедрение стационарной системы непрерывного контроля технического состояния трансформатора ТДН-80000/110-У1 энергоблока №4 теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) ОАО «ММК». При ее разработке решен комплекс вопросов, включающий:

- обоснование функций системы и методов диагностирования;
- разработку структуры, выбор оборудования;
- монтаж, испытания и сдачу в промышленную эксплуатацию.

В результате выполнена адаптация разработок фирмы «Димрус» к конкретным условиям и требованиям обслуживающего персонала.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Силовые понижающие трехфазные масляные трансформаторы ТД-80000 выпускаются заводом «Тольяттинский Трансформатор». Трансформатор

ТДН-80000/110-У1 – двухобмоточный класса 110 кВ, оснащен регулятором высокого напряжения в диапазоне 16%, с системой охлаждения вида ONAN или ONAF. Трансформаторы предназначены для работы на электростанциях в блоке с генератором. Технические характеристики представлены в **таблице**.

Технические характеристики масляного трансформатора ТД-80000/110-У1

Тип	ТД-80000/110-У1	
Номинальная мощность, кВА	80000	
Номинальное напряжение, кВ	ВН	121
	НН	6,3; 10,5
Схема и группа соединения обмоток	Yн/Δ-11	
Потери, кВт	х.х	40,0
	к.з.	310,0
Напряжение к.з., %	10,5	
Ток х.х., %	0,23	
Длина, мм	6200	
Ширина, мм	4650	
Высота, мм	6150	
Масса, кг	масла	12400
	полная	87500

Блочные трансформаторы, как правило, длительное время эксплуатируются при постоянных нагрузках, близких к номинальным. Поэтому характерными повреждениями являются дефекты изоляции активной части, вызванные процессами старения. Как следствие, при длительной эксплуатации наибольшую вероятность имеют межвитковые или межкатушечные разряды [11].

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

В системе мониторинга состояния трансформатора обоснованы следующие методы диагностирования:

1. Анализ трансформаторного масла:

- контроль влагосодержания масла;
- контроль состава газов, растворенных в масле.

2. Тепловой анализ:

- контроль температуры верхних и нижних слоев масла в баке;
- контроль температуры окружающей среды.

3. Электрический анализ:

- измерение рабочих токов и напряжений трансформатора;
- измерение угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$, емкости основной изоляции и небаланса токов проводимости вводов.

4. Локация разрядных явлений:

- определение зон изоляции с наличием частичных разрядов (ЧР);
- выявление узлов с искрением;
- локация ЧР на высоковольтных вводах и в баке.

Виброакустический метод для трансформаторов данного класса применять нецелесообразно в связи с относительно спокойным характером нагрузки и соответственно низкой вибрацией.

На основании анализа измеренных сигналов рассчитываются диагностические параметры. Анализ их временных трендов дает возможность определять степень износа и тенденции изменения состояния трансформатора, планировать необходимые ремонтные и сервисные работы.

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Сбор и обработка информации осуществляются с помощью стационарной системы, в основу которой положена разработка TDM (Transformer Diagnostics Monitor) ОАО «Димрус» (**рис. 1**). Она включает в себя набор технических и программных средств, предназначенных для проведения диагностики и оценки состояния силовых трансформаторов [12]. Аппаратный состав и алгоритмы программного обеспечения этой системы адаптированы с учетом конструктивных особенностей и режимов трансформатора энергоблока.

Система выполнена в виде технической и алгоритмически интегрированной структуры. Конструктивно она состоит из семи модулей, осуществляющих обработку сигналов от первичных датчиков, и непосредственно основного прибора системы мониторинга TDM, установленного в монтажном шкафу рядом с контролируемым трансформатором. Функциональное назначение модулей отражено на **рис. 1**.

Полный состав модулей системы TDM и их подробное описание приведены в [9]. Модульная структура обеспечивает возможность конфигурации системы, необходимой для конкретного агрегата в соответствии с условиями эксплуатации и требованиями заказчика.

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ

Общий вид шкафа TDM, снабженный модулями (см. **рис. 1**), показан на **рис. 2, а**. Модуль контроля и управления РПН не подключен в связи с относительно редкой коммутацией РПН под нагрузкой. Шкаф смонтирован на стене в непосредственной близости к трансформатору. На **рис. 2, б** показано крепление анализатора газов.

Основными контрольно-измерительными приборами являются газоанализатор Hudran M2 [13] и комплект датчиков, в который входят:

- датчики токов проводимости и частичных разрядов во вводах;
- акустические датчики ЧР в баке;
- датчики ЧР в нейтрали;
- датчики токов нагрузки и напряжений в фазах;
- датчики температуры масла.

В общей сложности установлено более 20 датчиков. Все они являются сертифицированным оборудованием.

АКУСТИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

Отличим разработанной системы от упомянутых выше систем, внедренных на сетевом трансформаторе подстанции №96 и печных трансформаторах ЭСПЦ, является акустический контроль ЧР. Данный вид контроля является наиболее информативным и позволяет диагностировать большинство неисправностей, развивающихся в изоляции оборудования внутри бака.

Опыт акустической локации ЧР в трансформаторах центральной электростанции ОАО «ММК» методом периодических замеров с использованием переносного прибора AR-700 рассмотрен в публикациях [14–16]. В разработанной системе акустический контроль осуществляют путем непрерывной обработки сигналов, поступающих от датчиков, закрепленных на

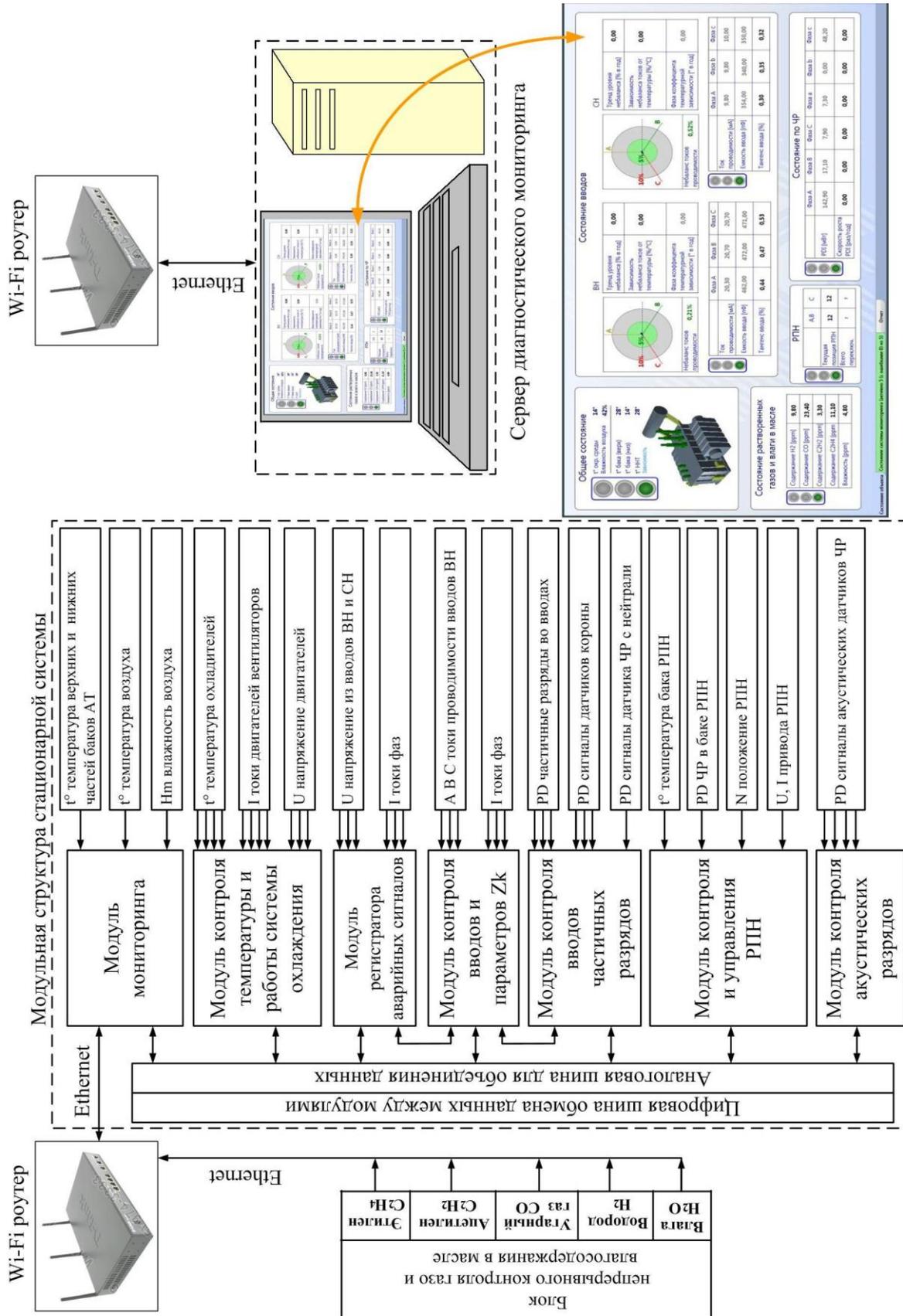


Рис. 1. Функциональная структура системы непрерывного контроля технического состояния трансформатора 80 МВА

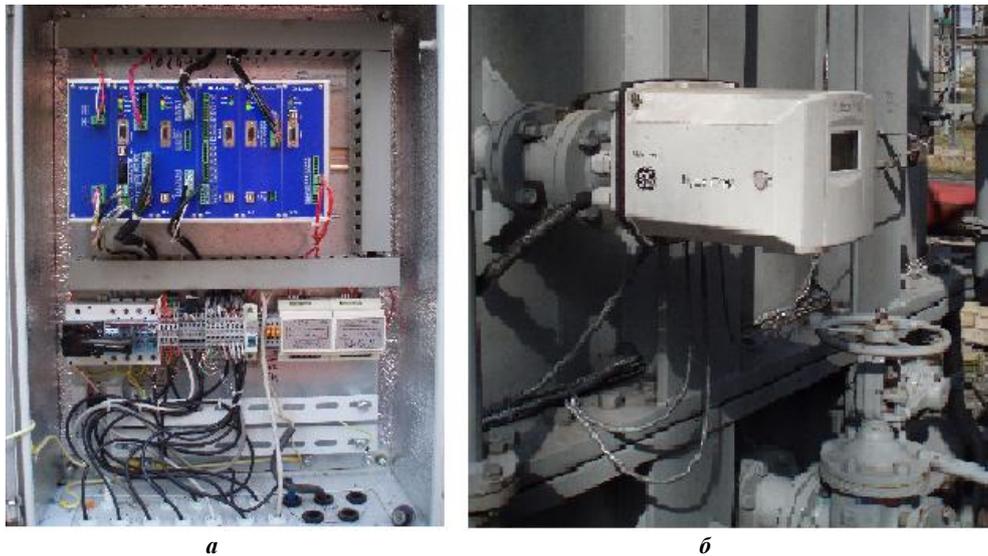


Рис. 2. Общий вид системы TDM трансформатора ТЭЦ (а); подключение анализатора газов Hydram M2 (б)

баке трансформатора в непосредственной близости от обмоток (рис. 3). При этом совместная обработка результатов измерений ЧР и концентрации газов, растворенных в масле, дает наиболее точные результаты по диагностике дефекта и определению места его возникновения.



Рис. 3. Крепление акустических датчиков ЧР на корпусе трансформатора

ГЛАВНЫЙ ЭКРАН СИСТЕМЫ

Разработанная система позволяет в удобной форме представлять на экране монитора результаты комплексной оценки всех контролируемых параметров, начиная от графиков их изменения и заканчивая обобщенными результатами, представленными в наглядной табличной форме. Вывод информации о состоянии трансформатора проходит в системе «Inva», разработанной ОАО «Димрус» [17]. «Inva» – это программно-аппаратный комплекс, осуществляющий сбор, хранение, анализ и моделирование изменений параметров, происходящих в процессе эксплуатации электрического оборудования. Система предназначена для оперативной диагностики технического состояния, выявления опасных и развивающихся дефектов.

Главное окно с указанием основных контролируемых параметров приведено на рис. 4. Для транс-

форматора показаны усредненные данные, характеризующие состояние вводов, обмоток и данные о частичных разрядах на стороне высокого напряжения. Также показаны параметры окружающей среды, токи фаз по вводам и другие координаты.

Наглядной формой представления, удобной для обслуживающего персонала, являются сигналы «светофора», характеризующие соотношение параметров и их предельных значений. Наряду с текущей информацией это обеспечивает возможность оперативной реакции на превышение допустимых пределов. Пороговые значения, на превышение которых настроены сигналы «светофора», приведены в [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнены монтаж, наладка и настройка разработанной системы на трансформаторе 80 МВА энергоблока №4 ТЭЦ. Проведены опытно-промышленные испытания. Внедрение системы обеспечивает:

- повышение эффективности непрерывного контроля технического состояния блочного трансформатора;
- сокращение времени локализации, идентификации и устранения неисправностей на ранних стадиях;
- прогнозирование остаточного ресурса за счет анализа технического состояния за длительный период;
- повышение эффективности планирования и организации ремонтных работ с сокращением затрат на их проведение.

Сопоставление технико-экономической эффективности внедрения стационарных систем мониторинга и проведения периодических комплексных обследований трансформатора рассмотрено в [19]. Показано, что если хотя бы одна из стационарных систем обеспечит предотвращение одной аварии средней тяжести, то окупятся затраты на приобретение и установку 15-20 аналогичных систем.

Система рекомендуется для расширенного внедрения на силовых трансформаторах электростанций и подстанций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Совершенствование автоматизированных электроприводов и диагностика силового электрооборудования / И.А. Селиванов, А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, В.Р. Храмин, А.А. Шеметова, А.С. Евдокимов, А.А. Лукин, А.Ю. Андрияшин, П.В. Шилиев, В.В. Головин, А.А.Титов, С.Е. Мостовой, С.А. Петряков // Изв. вузов. Электромеханика. 2009. №1. С. 5–11.
2. Разработка и внедрение интеллектуальных систем диагностирования технического состояния электрического оборудования / С.И. Лукьянов, А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, А.С. Сарваров, М.Ю. Петушков, В.Р. Храмин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1. С.129–136.
3. Карандаева О.И. Характеристика повреждаемости сетевых и блочных трансформаторов ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2011. №4. С.15–20.
4. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов электростанций металлургического комбината / Е.А. Кузнецов, А.Я. Альбрехт, О.И. Карандаева, С.Л. Цемошевич // Изв. вузов. Электромеханика. 2011. №4. С. 82–85.
5. Диагностические функции системы непрерывного контроля технического состояния трансформаторов агрегатов дуговых сталеплавильных печей / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, В.Р. Храмин, Р.А. Леднов // Металлург. 2014. №8. С.53–59.
6. Требования к системе мониторинга технического состояния трансформатора сверхмощной дуговой сталеплавильной печи / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, А.А. Сарлыбаев, Р.А. Леднов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. №2. С.58–68.
7. Система оперативного контроля технического состояния трансформатора сверхмощной дуговой сталеплавильной печи / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, В.Р. Храмин, А.А. Сарлыбаев // Металлург 2014. №10. С. 42–47.
8. Система диагностического мониторинга технического состояния трансформатора дуговой сталеплавильной печи / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, В.Р. Храмин, А.А. Сарлыбаев // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2014. №4. С.27–33.
9. Information and Measuring System for Electric Arc Furnace Transformer Monitoring /A.S. Karandaev, S.A. Evdokimov, V.R. Khramshin, O.I. Karandaeva // 12th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE-2014). Novosibirsk. 2014. Vol.1. P.273-279. doi: 10.1109/APEIE.2014.7040896.
10. Khramshin V.R., Evdokimov S.A., Nikolaev A.A., Nikolaev A.A., Karandaev A.S. Monitoring Technical State of the Power Transformers Is a Necessary Condition of the Smart-Grid Technolgy Introduction within the Industrial Electric Networks. Proceedings of the 2015 IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIconRusNW). P.214-220. doi: 10.1109/EIconRusNW.2015.7102265.
11. Результаты длительной периодической диагностики силовых трансформаторов / Ю.П. Аксенов, А.В. Голубев, В.И. Завидей, А.В. Юрин, И.В. Ярошенко // Электро, 2006. №1. С. 28–35.
12. Модульная система для мониторинга состояния трансформаторного оборудования TDM (TDMR). Руководство по эксплуатации. Пермь: ПВФ «Димрус». 12 с. URL: <http://dimrus.ru/download/category/23-tdm.html>
13. Система непрерывного контроля трансформаторного масла HYDRAN M2. URL: <http://www.zeosar.ru/rus/print/hydran-m2.html>
14. Контроль технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, О.И. Карандаева, С.Е. Мостовой, А.А. Чертоусов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». Вып. 10. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. №26(126). С.26–31.
15. Диагностирование силовых трансформаторов методом акустической локации частичных разрядов / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, Д.Х. Девятов, Б.Н. Парсункин, А.А. Сарлыбаев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №1. С.105–108.
16. Методика диагностирования силовых трансформаторов на основе кластерной обработки акустических сигналов / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, С.Л. Цемошевич, С.Е. Мостовой, А.В. Ануфриев, А.А. Сарлыбаев // Известия вузов. Электромеханика. 2011. №4. С.86–90.
17. Программное обеспечение «Inva (portable)». Руководство пользователя. ООО «Димрус». 39 с. http://dimrus.ru/software/inva_p_um.pdf.
18. Сарлыбаев А.А. Характеристика систем непрерывного контроля технического состояния печных трансформаторов // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. 2016. Т.3. №1. С. 24-35.
19. Николаев Н.А., Николаев А.А., Леднов Р.А. Диагностирование технического состояния трансформаторного оборудования как основа энергетической безопасности промышленного предприятия // Электротехнические системы и комплексы, 2014. № 4. С. 34–40.

INFORMATION IN ENGLISH

INTRODUCTION OF TECHNICAL STATE MONITORING SYSTEM FOR 80 MVA TRANSFORMER OF POWER UNIT OF CHP AT OJSC “MMK”

Nikolaev A.A.

It was noted that the introduction of monitoring systems and diagnostic systems of technical state of power transformers is an urgent task included into the list of modernization issues at the OJSC “MMK”. The author considered the diagnostic methods applied in the stationary system of on-line control of technical state of 80 MVA transformer of the CHP power unit. The research group justified the functions, proposed the modular structure and developed the general functional scheme of the system. The design of the system was considered. Diagnostic information is supplied by the electromagnetic sensors of partial discharge installed at high-voltage leads, by acoustic sensors of partial discharge, by temperature detectors of upper and lower

layers of oil and by other stationary measuring devices. To carry out the analysis of the state of the oil, the author used an analyzer of moisture content and dissolved gases content, Hydran M2. Gathering and processing of information was performed using TDM P034 system adjusted to the conditions of the main transformer. The developed system is distinguished by acoustic monitoring of the discharge, which is provided by special sensors installed on the transformer tank. The author noted high efficiency of introducing stationary monitoring systems as compared with periodic maintenance.

Keywords: Combined heat power plant, power unit,

transformer, technical state, test parameters, control, stationary system, functions, requirements, structure, development, implementation, technical-and-economic efficiency.

REFERENCES

- Selivanov I.A., Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Khramshin V.R., A.A. Shemetova, A.S. Evdokimov, A.A. Lukin, A.Yu. Andryushin, P.V. Shilyaev, V.V. Golovin, S.E. Mostoviy, S.A. Petryakov Sovershenstvovanie avtomatizirovannykh elektroprivodov i diagnostika silovogo elektrooborudovaniya [Improvement of Automatic Electric Drives and Diagnostics of Power Electrical Equipment]. *Proceedings of Universities. Electrical engineering*. 2009, no.1, pp. 5–11.
- Lukyanov S.I., Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Sarvarov A.S., Petushkov M.Yu., Khramshin V.R. Razrabotka i vnedrenie intellektualnykh system diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya elektricheskogo oborudovaniya [Development and Implementation of Intelligent Systems of Technical State Diagnostics of Electrical Facilities]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2014, no.1, pp. 129–136.
- Karandaeva O.I. Kharakteristika povrezhdaemosti setevykh i blochnykh transformatorov oao “Magnitogorskiy metallurgicheskii kombinat” [Damage Rate Characteristic of Network and Main Transformers of the OJSC “MMK”]. *Proceedings of the South-Ural State University. Series: Power engineering*. 2011, no.4, pp. 15–20.
- Kuznetsov E.A., Albrekht A.Ya., Karandaeva O.I., Tsemoshevich S.L. Analiz povrezhdaemosti silovykh transformatorov elektrostantsiy metallurgicheskogo kombinata [Damage Rate Analysis of Power Transformers of Power Stations at Metallurgical Enterprises]. *Proceedings of universities. Electrical engineering*. 2011, no.4, pp. 82–85.
- Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Khramshin V.R., Lednov R.A. Diagnosticheskie funktsii sistemy nepreryvnogo kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya transformatorov agregatov dugovykh staleplavilnykh pechey [Diagnostic Functions of Technical State Monitoring of Transformers of Arc Steel-making Furnaces]. *Metallurgist*. 2014, no.8, pp.53–59.
- Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Sarlybaev A.A., Lednov R.A. Trebovaniya k sisteme monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya transformatora sverkhmoschnoy dugovoy staleplavilnoy pechi [Requirements to Monitoring System of Technical State of Transformer of Ultra-high Power Arc Steel-making Furnace]. *Machine-building: network electronic scientific journal*. 2013, no.2, pp. 58–68.
- Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Khramshin V.R., Sarlybaev A.A. Sistema operativnogo kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya transformatora sverkhmoschnoy dugovoy staleplavilnoy pechi [Monitoring System of Technical State of Transformer of Ultra-high Power Arc Steel-making Furnace]. *Metallurgist*. 2014, no.10, pp.42–47.
- Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Khramshin V.R., Sarlybaev A.A. Sistema diagnosticheskogo monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya transformatora dugovoy staleplavilnoy pechi [Monitoring System of Transformer Technical State of Electric Arc Steel-making Furnace]. *Electrical engineering, power engineering, electrical engineering industry*. 2014, no.4, pp.27–33.
- Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Khramshin V.R., Karandaeva O.I. Information and Measuring System for Electric Arc Furnace Transformer Monitoring. *12th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE-2014)*. Novosibirsk. 2014, vol.1, pp.273–279. doi: 10.1109/APEIE.2014.7040896.
- Khramshin V.R., Evdokimov S.A., Nikolaev A.A., Nikolaev A.A., Karandaev A.S. Monitoring Technical State of the Power Transformers Is a Necessary Condition of the Smart-Grid Technology Introduction within the Industrial Electric Networks. *Proceedings of the 2015 IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIConRusNW)*. P.214-220. doi: 10.1109/EIConRusNW.2015.7102265
- Aksenov Yu.P., Golubev A.V., Zavidney V.I., Yurin A.V., Yaroshenko I.V. Rezultaty dlitelnoy periodicheskoy diagnostiki silovykh transformatorov [Results of Long-term Periodic Diagnostics of Power Transformers]. *Electro*. 2006, no.1, pp.28–35.
- Modulnaya sistema dlya monitoringa sostoyaniya transformatornogo oborudovaniya. *Rukovodstvo po ekspluatatsii* [Modular System for State Monitoring of TDM Transformers (TDMR). Operations manual.]. Perm: PVF «Dimrus». 12p. URL: <http://dimrus.ru/download/category/23-tdm.html>.
- Sistema nepreryvnogo kontrolya transformatornogo masla HYDRAN M2 [System of Continuous Monitoring of Transformer Oil HYDRAN M2]. URL: <http://www.zeo-sar.ru/rus/print/hydran-m2.html>.
- Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Karandaeva O.I., Mostovoy S.E., Chertousov A.A. Kontrol tekhnicheskogo sostoyaniya silovykh transformatorov metodom akusticheskogo diagnostirovaniya [Control of Technical State of Power Transformers Using Acoustic Diagnostics Method]. *Proceedings of the South-Ural State University. Series «Power engineering»*. Issue 10. Chelyabinsk: Publishing center of YuYrGU, 2008, no. 26(126). pp. 26–31.
- Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Devyatov D.Kh., Parsunkin B.N., Sarlybaev A.A. Diagnostirovanie silovykh transformatorov metodom akusticheskoy lokatsii chastichnykh razryadov [Diagnostics of Power Transformers Using Method of Acoustic Location of Partial Discharge]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2012, no.1, pp. 105–108.
- Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Tsemoshevich S.L., Mostovoy S.E., Anufriev A.V., Sarlybaev A.A. Metodika diagnostirovaniya silovykh transformatorov na osnove klasternoy obrabotki akusticheskikh signalov [Diagnostics Method of Power Transformers Based on Cluster Processing of Acoustic Signals]. *Proceedings of universities. Electrical engineering*. 2011, no.4, pp. 86–90.
- Computer software «Inva (portable)». Operating manual. «Dimrus» LLC/ 39 p. http://dimrus.ru/software/inva_p_um.pdf
- Sarlybaev A.A. Kharakteristika system nepreryvnogo kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya pechnykh transformatorov [Characteristic of Continuous Control System of Technical State of Furnace Transformers]. *Electrical engineering: network electronic scientific journal*. 2016, vol.3, no.1, pp. 24-35.
- Nikolaev N.A., Nikolaev A.A., Lednov R.A. Diagnostirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya transformatornogo oborudovaniya kak osnova energeticheskoy bezopasnosti promyshlennogo predpriyatiya [Diagnostics of Technical State of Transformers as a Basis of Security of Energy Supply of Industrial Enterprise]. *Electrotechnical systems and complexes*. 2014, no.4, pp.34–40.