

В Е С Т Н И К

**АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ**

№ 4(4) (43)

2018

**Научно-технический журнал
Выходит 4 раза в год**

Алматы

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

M.D. Adambaev, A.R. Fazylova

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF WIND-GENERATORS IN ALMATY

С. К. Шерьязов, К.Т.Тергемес

УСЛОВИЯ ВЫБОРА ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ
В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

С.И. Латыпов, Н.И. Калантаевская, К.Т. Кошекков, А.А. Савостин

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ
ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Б.С. Байкенов, К.С. Савин, А.Р. Фазылова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ДВИЖЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТА

В. А. Васильев, К. М. Асанова

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЦЕХА МАГНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТИТАНА

Е.С. Риттер, В.П. Кисмирешкин, К.Т. Кошекков, Д.В. Риттер

ПРОМЫШЛЕННЫЙ НАГРЕВ НА ОСНОВЕ ОДНОПРОВОДНОЙ
ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ СВЧ ЭНЕРГИИ

Г.В. Савостина, Д.В. Риттер, С.И. Латыпов

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОДАВЛЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ
ИСКАЖЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКИХ
ИЗМЕРЕНИЯХ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Б.В. Кошеккова, Ю.Н. Кликушин, А.А. Савостин

АЛГОРИТМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ
ДАННЫХ

Тойбаев С. Н., Ибраев М.С., Сәрсенбай А.С.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УРАВНЕНИЯ
КОЛЕБАНИЯ СТЕРЖНЯ С ДЕФОРМИРУЕМОЙ СРЕДОЙ ПРИ
РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ КОНТАКТА

И. Э. Сулейменов, Е. С. Витулёва
ПРОЛЕГОМЕНЫ К ОБЩЕЙ ТЕОРИИ РАЗВИТИЯ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ИНДУСТРИИ

**Витулёва Е.С., Сапанова Э.С., Сысоева-Массон И.С., Сулейменова
З.К., Сулейменов И.Э.**
К ВОПРОСУ О ПРИНЦИПАХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦЕНТРОВ
КОМПЕТЕНЦИЙ

Ахмедов Д.Ш., Еремин Д.И., Жаксыгулова Д.Г., Трепашко С.
МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Айтмагамбетов А.З., Еремин Д.И., Жаксыгулова Д.Г.
МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В
РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

М. М. Молдабеков, Д. И. Еремин, Д. Г. Жаксыгулова, С. Трепашко
СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВОЙ
ИНФРАСТРУКТУРОЙ РЕФЕРЕНЦНЫХ GNSS СТАНЦИЙ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЯ

Зальцман М. Д., Абдрешов Ш. А., Махимова А. М.
ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ИЗЛУЧЕНИЙ ПРИ АТТЕСТАЦИИ РАБОЧИХ МЕСТ

Ахмедов Д.Ш., Еремин Д.И., Жаксыгулова Д.Г.

**АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ
МОРЕНЫХ ОЗЕР**

М.Ж. Жантурин, К.Т. Тергемес

ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПО ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

ИННОВАЦИИ В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ

Zh. Erzhanova, J. K. Koxegen, Sh. I. Imangaliev

**TO THE QUESTION OF LEARNING ENGLISH SYSTEMATICALLY
FOR TECHNICAL SPECIALTIES**

МРНТИ 44.01.81

С.И. Латыпов¹, Н.И. Калантаевская¹, К.Т. Кошеков¹, А.А. Савостин¹

¹Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Аннотация. Электроэнергия является важной компонентой в любой современной сфере деятельности человека. От слаженной работы всех устройств и систем, участвующих в выработке, передачи и распределении электроэнергии зависит качество выпускаемой продукции предприятий различного направления, а так же деятельность социальных и бытовых объектов. Своевременная диагностика электрооборудования является неотъемлемой частью комплекса мероприятий, направленных на повышение надёжности электроснабжение потребителей.

Для передачи электрической энергии от первичного источника питания к конечному потребителю задействовано различное оборудование. Одним из важных элементов электроэнергетической системы является силовой трансформатор. Соответственно, его диагностика так же важна для правильной работы системы в целом. В процессе диагностики удаётся определить текущее состояние элементов конструкции, обнаружить повреждения, а так же спрогнозировать их развитие во времени.

Ключевые слова: электроэнергетическое оборудование, средства диагностики, силовой трансформатор, интеллектуальные системы.

Появление дефектов в трансформаторе могут стать следствием ряда процессов: нарушение технологии сборки; нарушение правил эксплуатации; ненормальные режимы работы; старение материалов конструкции.

Треть всех повреждений возникают вследствие дефектов, заложенных еще на заводе изготовителе. То есть можно говорить о несовершенстве технологий сборки трансформаторов. Более 80% повреждений затрагивает электрическую часть трансформатора.

Диагностирование неисправностей, как правило, производится в комплексе. Самыми распространенными манипуляциями при этом являются: измерение характеристик изоляции; измерение сопротивления обмоток; испытание системы охлаждения давлением; испытание трансформаторного масла и так далее.

Наиболее целесообразно контролировать состояние трансформатора, в том числе и отдельных частей конструкции, в процессе его эксплуатации. В этом случае своевременное обнаружение первых признаки развития дефекта увеличивает шанс на восстановление неисправностей и, как следствие, продление срока эксплуатации дорогого оборудования.

Системы, позволяющие контролировать состояние силового трансформатора под рабочим напряжением, одновременно анализируют множество параметров. Кроме текущего состояния элементов конструкции и используемых материалов в расчёт принимается срок эксплуатации и режим работы. В том числе может производиться автоматическая регулировка некоторых параметров (например охлаждения), передача данных на центральный диспетчерский пункт, а так же отключение питания и нагрузки.

Повсеместному внедрению таких систем мешает их конечная стоимость, которая может достигать более ста тысяч долларов.

В то же время, не всегда требуется диагностика всех возможных характеристических величин. О возникновении неисправностей можно судить и косвенно. Например, при хроматографическом анализе растворенных газов (ХАРГ) в трансформаторном масле можно судить о целом ряде неисправностей, а так же прогнозировать развивающиеся дефекты. Важным параметром при анализе растворенных газов является измерение скорости изменения их концентрации. Определение скорости изменения концентрации, как правило, затруднено из-за значительного отдаления хроматографа от исследуемого объекта.

То же самое можно сказать и о диагностике частичных разрядов (ЧР). Их регистрация возможна только при включенном трансформаторе. При этом берется во внимание высокочастотный спектр излучения, для выделения ЧР из собственных шумов трансформатора. Для расшифровки регистрируемых данных используется персональный компьютер и специализированное программное обеспечение, которые не всегда имеются под рукой. То есть, как и в случае с ХАРГ, данные необходимо передать в лабораторию для анализа.

Установка вычислительных мощностей на территории каждой подстанции экономически не целесообразно. К тому же, такое количество сложного оборудования, рассредоточенного на обширной территории, потребует соответствующее число высококвалифицированных специалистов для его обслуживания. Реализация такого решения остаётся актуальной только на крупных узловых (ответственных) подстанциях.

Одним из путей решения данной проблемы является разделение функций регистрации и вычисления данных, а так же централизация обработки и хранения информации. Так каждый силовой трансформатор необходимо оснастить минимальным набором датчиков. Исключаются из системы диагностики те датчики, информация с которых может быть прямо или косвенно получена от других.

Например, в системе диагностики TDM-M, производимой компанией «Димрус» (г. Пермь, РФ), предлагается набор регистрирующих компонентов для мониторинга шести параметров [1].

По аналогии с указанной системой диагностики можно собрать комплект первичных преобразователей (датчиков), организовать передачу данных на центральный сервер, где силами мощного вычислительного комплекса проводить анализ и хранение результатов, а так же выдачу рекомендаций по дальнейшим действиям.

Для сбора и передачи данных можно воспользоваться готовыми решениями, например GSM-контроллер CWT5111 GPRS RTU. Данное устройство представляет собой удаленный терминал, поддерживающий пакетную передачу данных GPRS сети GSM.

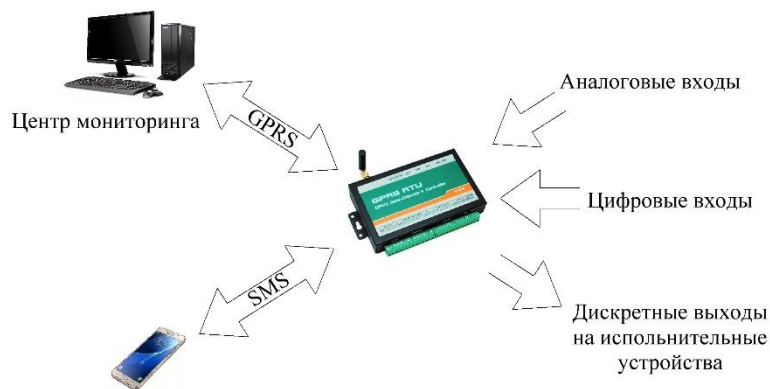


Рисунок 1 – Возможности контроллера CWT5111.

Контроллер предназначен для беспроводного мониторинга удаленных датчиков и управления оборудованием. CWT5111 GPRS RTU имеет четыре аналоговых входа, восемь дискретных входов и восемь электронных выходов «открытый коллектор». Контроллер также поддерживает передачу данных в виде простых SMS-сообщений, включающих извещения о срабатывании и восстановлении дискретных входов, извещения о достижении уставок аналоговых входов и др. Управление дискретными выходами производится на условиях, заданных во время конфигурирования контроллера или посредством внешних SMS-команд. [2]

На центральном компьютере, на который посылается вся информация от множества контроллеров необходимо установить программное обеспечение, выполняющее следующие функции: приём информации с периферийных контроллеров; математическая обработка данных; составление базы данных; формирование «диагноза» и рекомендаций.

Так же предполагаемое программное обеспечение, посредством обратной связи, могло бы дистанционно управлять коммутационным оборудованием, предотвращая аварийные ситуации.

В основе работы программного обеспечения лежит теория идентификационных измерений сигналов (ТИИС). Содержанием ТИИС является технология измерения формы – распределения мгновенных значений и вариабельности – распределения временных интервалов сигнала и его характеристик с обработкой идентификационных параметров в структуре глобальных эталонов с помощью идентификационных шкал. База знаний строится на основе применения основных положений ТИИС – комплекса интеллектуальных технологий (методов и компьютерных средств) идентификации, распознавания и цифровой обработки сигналов [3, 4].

Интеллектуальный компьютерный прибор может функционировать в двух режимах: обучения и исследований, каждый из которых можно описать шагами, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы работы интеллектуального компьютерного прибора

Режим обучения	Режим исследования
1. Моделирование состояния. Например, искусственное введение дефекта или установление нового состояния объекта диагностики или мониторинга в режиме исследования. 2. Автоматический сбор измерительных сигналов во всех измерительных точках. 3. Формирование файлов с массивами распределений мгновенных значений сигналов и запись ссылок на файлы в соответствующие ячейки базы данных БД-1. 4. Обращение к эксперту, исследование объекта диагностики или мониторинга, внесение лингвистического заключения для соответствующего состояния $C(i)$ в БД-1. 5. Идентификационные измерения базой знаний (БЗ) всех массивов распределений мгновенных значений сигналов с помощью тестеров. 6. Запись идентификационных параметров и состояний $C(i)$ в соответствующие ячейки БД-2.	1. В режиме диагностики или мониторинга автоматический сбор измерительных сигналов во всех измерительных точках для исследовательского состояния $C(x)$. 2. Формирование файлов с массивами распределений мгновенных значений сигналов и запись ссылок на файлы в соответствующие ячейки БД-1 для состояния $C(x)$. 3. Идентификационные измерения БЗ массивов распределений мгновенных значений сигналов с помощью тестеров. 4. Запись идентификационных параметров и состояния $C(x)$ в соответствующие ячейки БД-2. 5. Циклическое построчное сравнение соответствующих идентификационных параметров БД-2 под управлением решателя. 6. Если определится равенство всех идентификационных параметров строки состояния $Id_{ij}(j = \{1 \dots M\}) = Id_{(i+1)j}(j = \{1 \dots M\})$, то переход на следующий шаг, иначе переход в режим обучения. 7. Принять $C(x) = C(i)$. 8. Вывод на монитор или на печать заключения о состоянии $C(x)$.

Возможности интеллектуального компьютерного прибора были протестированы при акустической диагностике четырёх силовых трансформаторов с заведомо известным дефектом: увлажнение трансформаторного масла.

Акустические сигналы были записаны при помощи ультразвукового модератора «Дельфин» и переданы на компьютерный прибор в виде звуковых файлов WAV. В результате сэмплирования получен массив выборок. В виду периодического характера звукового файла было решено использовать только первые 15000 выборок.

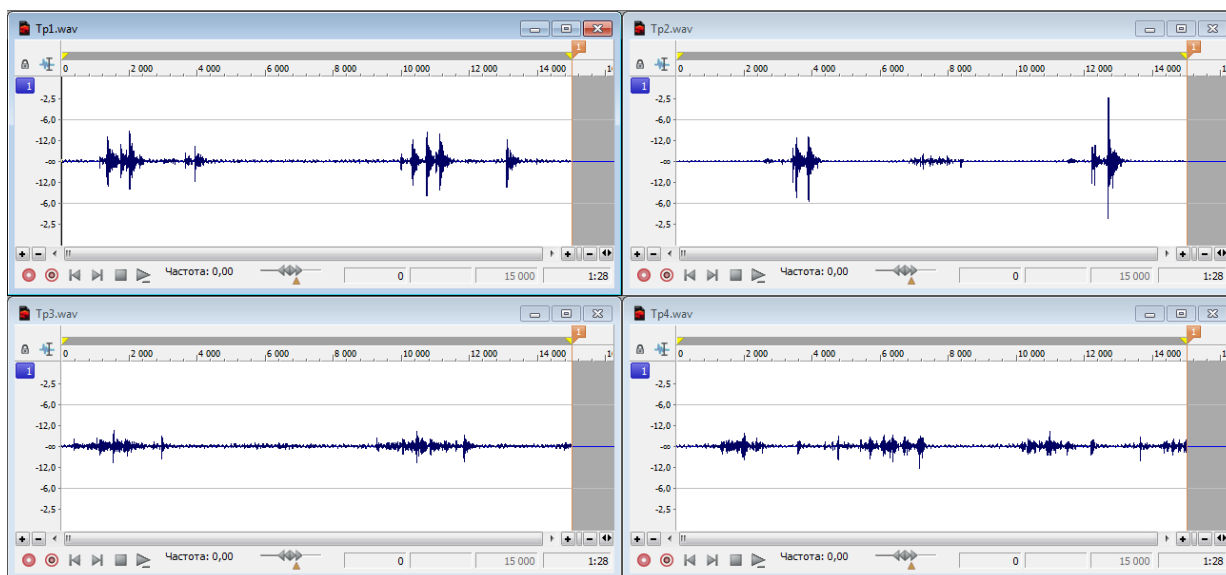


Рисунок 2 – Форма диагностических сигналов трансформаторов

Далее для получения характеристических величин исследуемых сигналов были найдены ряд параметров, характеризующих распределение значений уровней отдельных выборок.

Стандартное отклонение элементов массива (среднеквадратичное отклонение) вычисляется по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |A_i - \mu|^2}, \quad (1)$$

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i, \quad (2)$$

где N – количество выборок массива;

A_i – i -й элемент выборки;

μ – среднее арифметическое выборки.

Медиана представляет собой число в массиве, для которого половина всех чисел массива больше, а половина меньше. Получается путём выбора среднего элемента в массиве после упорядочивания всех чисел по возрастанию или убыванию.

Интерквартильный размах представляет разницу между 75% и 25% процентилями выборки. Интерквартильный размах является робастной оценкой разброса значений выборки.

Энергия сигнала вычисляется по формуле:

$$energy = \frac{\sum_{i=1}^w |F_i|^2}{|w|}, \quad (3)$$

где F_i – компоненты спектра дискретного вейвлет-преобразования,
 w – размер окна (число компонент спектра).

Среднее абсолютное отклонение, или просто среднее отклонение – величина, используемая для оценки прогнозных функций, вычисляется по формуле:

$$mad = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |A_i - m(A)|, \quad (4)$$

где n – количество выборок;

$m(A)$ – среднее арифметическое значение.

Среднее квадратическое (квадратичное) значение это число, равное квадратному корню из среднего арифметического квадратов данных чисел:

$$A_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |A_i|^2}. \quad (5)$$

Дисперсия это мера разброса значений случайной величины относительно её математического ожидания. Вычисляется по формуле:

$$V = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |A_i - \mu|^2. \quad (6)$$

Мода – значение во множестве наблюдений, которое встречается наиболее часто.

Энтропия по Шенону – информационная двоичная энтропия для независимых случайных событий A с N возможными состояниями, распределённых с вероятностями p_i :

$$H(A) = - \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i. \quad (7)$$

Таблица 2 – Результаты вычислений параметров диагностических сигналов

Наименование параметра	Исследуемые трансформаторы			
	T1	T2	T3	T4
Минимальное значение (min)	-0,53842	-0,39108	-0,27277	-0,21213
Максимальное значение (max)	0,530884	0,36496	0,182434	0,197968
Средне значение (mean)	0,000044	-0,000019	0,000028	-0,000005
Стандартное отклонение элементов массива (std)	0,028794	0,026803	0,025857	0,022207

Медиана (median)	0,000488	0,000183	0,000488	0,000122
Интерквартильный размах (iqr)	0,014008	0,022278	0,022781	0,022125
Энергия сигнала (energy)	0,010281	0,011996	0,012247	0,011996
Среднее абсолютное отклонение (mad)	0,013433	0,016209	0,017239	0,015332
Среднеквадратическое значение (rms)	0,028793	0,026802	0,025856	0,022206
Дисперсия (var)	0,000829	0,000718	0,000669	0,000493
Мода (mode)	0,001678	0,00174	0	0
Энтропия по Шенону (entropy)	3,652764	4,806259	4,938141	4,771812

По полученным данным можно предположить, что такой параметр как «энергия сигнала» может характеризовать вид дефекта. Для подтверждения данной гипотезы были так же обследованы диагностические сигналы других трансформаторов с уже известными дефектами. Результаты исследования подтвердили догадку о возможности диагностирования дефекта по параметрам акустического сигнала.

В работе исследовался не весь диагностический сигнал, а только его часть. Выборки временных отрезков производились оператором на основании визуального представления акустического сигнала, что не исключает внесение ошибки. Для исключения влияния человеческого фактора, а так же для получения более точных, достоверных результатов необходимо задействовать машинные алгоритмы обучения. Компьютерный прибор в автоматическом режиме анализирует сигналы на наличие скрытых закономерностей, не доступных взгляду оператора.

Точность прогноза будет непрерывно повышаться благодаря циклической работе интеллектуального прибора и постоянному пополнению базы данных.

Направление дальнейших исследований необходимо сконцентрировать на наращивании базы данных компьютерных приборов идентификационных измерений для идентификации других дефектов электроэнергетического оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Системы мониторинга трансформаторного оборудования. TDM-M – система диагностического мониторинга силовых трансформаторов 110-330 кВ. Руководство. Компания «Димрус», г.Пермь.

[2] User's Manual of CWT5000 Products. Version 2.0 (2008-5-13). ООО «РусАвтоматизация», г.Челябинск.

[3] Koshekov K.T., Klikushin Yu.N., Kobenko V.Yu., Evdokimov Yu.K. and Demyanenko A.V. Fuel Cell Diagnostics Using Identification Measurement Theory // J. of Fuel Cell Science and Technology 11(5). 051003. Paper No: FC-14-1027.

[4] Klikushin Yu.N., Koshekov K.T., Kobenko V.Yu., Trunin E.S. An algorithm for evaluating the state of a generating unit based on the identification measurements of vibrosignals // Russian J. of Nondestructive Testing. July 2014. V. 50. Issue 7. P. 413–418.

REFERENCES

[1] Monitoring systems for transformer equipment. TDM-M is a diagnostic monitoring system for power transformers of 110-330 kV. Guide. Company «Dimrus», Perm.

[2] User's Manual of CWT5000 Products. Version 2.0 (2008-5-13). LLC RusAvtomatization, Chelyabinsk.

[3] Koshekov K.T., Klikushin Yu.N., Kobenko V.Yu., Evdokimov Yu.K. and Demyanenko A.V. Fuel Cell Diagnostics Using Identification Measurement Theory // J. of Fuel Cell Science and Technology 11(5). 051003. Paper No: FC-14-1027.

[4] Klikushin Yu.N., Koshekov K.T., Kobenko V.Yu., Trunin E.S. An algorithm for evaluating the state of a generating unit based on the identification measurements of vibrosignals // Russian J. of Nondestructive Testing. July 2014. V. 50. Issue 7. P. 413–418.

ДИАГНОСТИКАЛЫҚ ДАБЫЛДАРДЫҢ САНДЫҚ ӨНДЕУІН ҚОЛДАНУМЕН КҮШТІК ТРАНСФОРМАТОРЛАРДЫҢ ЖАҒДАЙЫНЫҢ ҚАШЫҚТЫҚ МОНИТОРИНГІСІ

С.И. Латыпов¹, Н.И. Каландатаевская¹, К.Т. Кошеков¹, А.А. Савостин¹

¹М.Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан Мемлекеттік университеті, Петропавл қ., Қазақстан

Аңдатпа. Электр энергиясы адам қызметінің кез-келген заманауи саласының маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Электр энергиясын өндіру, беру және үйлестіруге қатысатын барлық құрылғылар мен жүйелердің үйлесімді жұмысынан түрлі бағыттардағы кәсіпорындардың өнімдерінің сапасы, сондай-ақ әлеуметтік және тұрмыстық нысандардың қызметіне байланысты болып келеді. Электр жабдықтарын өз уақытында диагностикалау тұтынушылардың энергиямен жабдықтау сенімділігін арттыруға бағытталған бірқатар іс-шаралар кешенінің ажырамас бөлігі болып табылады.

Электр энергиясын негізгі қуат көзінен соңғы пайдаланушыға беру үшін әртүрлі жабдықтар қатысады. Электр энергетикалық жүйенің ең маңызды элементтерінің бірі күштік трансформаторлар болып табылады. Тиісінше, оның диагнозы тұтастай алғанда жүйенің дұрыс жұмыс істеуі үшін маңызды. Диагностика үдерісінде құрылым элементтердің ағымдағы жағдайын анықтауға, зақымдануын табуға, сондай-ақ оларды уақыт бойынша дамуын болжауға болады.

Кілттік сөздер: электр энергетикалық жабдықтары, диагностиканың құралдары, күштік трансформаторы, зияткерлік жүйелер.

REMOTE MONITORING OF THE CONDITION OF POWER TRANSFORMERS WITH THE APPLICATION OF DIGITAL PROCESSING OF DIAGNOSTIC SIGNALS

S.I. Latypov¹, N.I. Kalantaevskaya¹, K.T. Koshekov¹, A.A., Savostin¹

¹M. Kozybayev North-Kazakhstan State University, Petropavlovsk, Kazakhstan

Abstract. Electricity is an important component in any modern field of human activity. The products quality of enterprises of different directions, as well as the activities of social and household facilities depends on the coordinated work of all devices and systems involved in the development, transmission and distribution of electricity. Timely diagnostics of electrical equipment is an integral part of a set of measures aimed at improving the reliability of electrical supply to consumers.

For the transmission of electrical energy from the primary power source to the end user various equipment is involved. One of the important elements of the electro power system is a mains transformer. Accordingly, its diagnosis is also important for the correct operation of the whole system. In the process of diagnostics, it is possible to determine the current state of the structural elements, to detect damages, as well as to predict their development over time.

Key words: electric power equipment, diagnostic tools, mains transformer, intelligent systems.