



## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.Р. Денисова, Д.П. Спасов, А.Р. Галяутдинова, В.Р. Иванова

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия  
denisova\_ar@mail.ru, spasovdenis@list.ru, Alsu296@ya.ru, vr-10@mail.ru

**Резюме:** Выявление дефектов на ранней стадии их возникновения, особенно у отработавших нормативный срок силовых трансформаторов, является острой проблемой. В данной статье предлагается внедрение на подстанции системы мониторинга, управления и диагностики трансформаторного оборудования (СМУД) электротехнических систем в комплексе с автоматизированной системой управления электротехнического оборудования (АСУ ЭТО) и автоматизированной информационно-измерительной системой коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) с применением QR-кода, а также с использованием TeamViewer для оперативной ликвидации аварий и выявления ненормального режима работы трансформаторного оборудования. Разработанная система мониторинга трансформаторов предназначена для контроля изоляции, регистрации и анализа частичных разрядов, мониторинга технического состояния, обеспечивающая максимальный безаварийный срок службы трансформаторов. Кроме того, внедрение автоматизированной диагностики и электрооборудования являются необходимым условием внедрения технологии SmartGrid в промышленных электрических сетях, способствует снижению капитальных вложений в обновление парка оборудования. Методы, используемые в настоящее время, не обнаруживают опасные ухудшения состояния изоляции, не чувствительны к её старению, а в некоторых случаях ошибочно оценивают состояние изоляции. Наличие таких функций в предлагаемой системе положительно отличает ее от традиционно используемых методов. В работе анализируется работоспособность и качество функционирования рассматриваемых систем, приводится иерархическая структура предлагаемой к внедрению СМУД. Применяв предложенную идею с QR-кодом, можно ускорить процесс поиска информации о текущем техническом состоянии электрооборудования.

**Ключевые слова:** диагностика оборудования, оперативный персонал, информация, SCADA, производство, техническое состояние, АИИС КУЭ, АСУ ЭТО, QR-код.

**Для цитирования:** Денисова А.Р., Спасов Д.П., Галяутдинова А.Р., Иванова В.Р. Исследование работоспособности и качества функционирования трансформаторного оборудования электротехнических систем // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 3 С. 23-35. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-3-23-35.

## THE STUDY OF HEALTH AND QUALITY OF OPERATION OF THE TRANSFORMER EQUIPMENT ELECTRICAL SYSTEMS

AR. Denisova, DP. Spasov, AR. Galyautdinova, VR. Ivanova

Kazan State Power of Engineering University, Kazan, Russia  
denisova\_ar@mail.ru, spasovdenis@list.ru, Alsu296@ya.ru, vr-10@mail.ru

**Abstract:** Detection of defects at an early stage of their occurrence, especially for power transformers that have worked out the standard term, is an acute problem. This article discusses the possibility of using the system of monitoring, control and diagnosis of transformer equipment (SMUID) electrical systems in conjunction with the automated control system of electrical equipment (ASU ETO) and automated information-measuring system of commercial electricity metering (AIIIS KUE) with the use of QR-code, as well as using TeamViewer for the operational elimination of accidents and identify abnormal operation of transformer equipment. Transformer

*monitoring system is designed for monitoring isolation, recording and analysis of partial discharges, monitoring of technical condition ensuring maximum fault-free service life of transformers. In addition, the introduction of automated diagnostics and electrical equipment is a necessary condition for the introduction of SmartGrid technology in industrial electric networks, contributes to the reduction of capital investments in the renewal of the equipment fleet. The methods currently used do not detect dangerous insulation degradation, are not sensitive to its aging, and in some cases mistakenly assess the isolation condition. The work analyses the operability and quality of the systems under consideration, shows the hierarchical structure of SMUID. By applying the proposed idea with the QR-code, it is possible to speed up the process of searching for information about the current technical state of electrical equipment.*

**Keywords:** *equipment diagnostics, operational personnel, information, SCADA, production, technical condition, AIIS KUE, ASU ETO, QR-code.*

**For citation:** Denisova AR, Spasov DP, Galyautdinova AR, Ivanova VR. The study of health and quality of operation of the transformer equipment electrical systems. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2020;22(3):23-35. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-3-23-35.

### **Введение**

В силу того, что силовые трансформаторы являются одним из наиболее дорогостоящих элементов, есть необходимость иметь возможность выявления начальной стадии развития дефекта, а также предаварийных и аварийных режимов на трансформаторном оборудовании. В большинстве случаев принимается решение оставлять в работе трансформаторы с большим сроком эксплуатации. Поэтому крайне актуальными становятся вопросы поиска новых подходов и методов мониторинга, диагностики и оценки текущего состояния для эффективного технического обслуживания, ремонта, а также продления срока службы трансформаторов без потери надежности [1]. Вопрос выявления дефектов на ранней стадии их возникновения у нормальных и, особенно, отработавших нормативный срок силовых является острой проблемой. Кроме того, внедрение автоматизированной диагностики и электрооборудования являются необходимым условием внедрения технологии *SmartGrid* в промышленных электрических сетях, способствует снижению капитальных вложений в обновление парка оборудования. В то же время существующие традиционные средства и методы диагностирования состояния изоляции силового трансформатора не позволяют в полной мере выявить дефекты на ранней стадии их образования.

Исследование работоспособности и качества функционирования трансформаторного оборудования электротехнических систем рассмотрим на примере Филиала АО «Татэнерго» - Казанской ТЭЦ-1.

### **Литературный обзор**

Методы, используемые в настоящее время (измерение тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$ , коэффициента абсорбции  $K_{\text{абс}}$  и др.), не обнаруживают опасные ухудшения состояния изоляции, не чувствительны к её старению, а в некоторых случаях ошибочно оценивают состояние изоляции. Большинство применяемых методов основаны на использовании явления абсорбции, однако, на абсорбционные зависимости изоляции, кроме увлажнения, влияет и целый ряд иных факторов (температура, погрешность измерительной аппаратуры), затрудняющих определение состояния изоляции и др. Так же, существующие методы проверки изоляции определяют состояние только части объёма изоляции и не могут характеризовать состояние изоляции по всему объёму трансформатора [2, с.463].

Всем традиционным методам присуща зависимость результатов измерений от физико-химических показателей масла, в то же время продукты разложения масла и твёрдой изоляции вносят большие погрешности в оценку состояния изоляции. Кроме того, результаты контроля на отключённом трансформаторе значительно отличаются от результатов контроля в рабочем состоянии из-за температурного режима, миграции влаги в системе «бумага-масло», напряжённости электрического поля в составных частях силового трансформатора [3, 4, 5, 6, 7].

### **Материалы и методы**

Целью нашей работы является обоснование возможности использования системы мониторинга, управления и диагностики трансформаторного оборудования в электротехнических системах. Мы предлагаем внедрять на все силовые трансформаторы систему мониторинга, управления и диагностики трансформаторного оборудования в

комплексе с автоматизированной системой управления электротехнического оборудования и автоматизированной информационно-измерительной системой коммерческого учета электроэнергии с применением QR-кода, концепция которых разработана авторами.

Предлагаемая система мониторинга трансформаторов предназначена для контроля изоляции, регистрации и анализа частичных разрядов, мониторинга технического состояния. Основной задачей этой системы является обеспечение максимального безаварийного срока службы трансформаторов. Можно кратко сформулировать цели мониторинга, управления и диагностики:

- повышение эффективности эксплуатации трансформаторного оборудования (ТО);
- сокращение случаев сбоев энергообеспечения по вине отказа оборудования;
- выявление начальной стадии развития дефекта и/или предаварийных и аварийных режимов на контролируемом оборудовании;
- сокращение инвестиционных затрат на необоснованное обновление оборудования;
- снижение расходов на проведение ремонтов;
- сокращение трудозатрат персонала в результате внедрения автоматизированных методов контроля и диагностики;
- увеличение времени эксплуатации оборудования на основании фактических значений критических параметров контролируемого оборудования;
- снижение рисков причинения экологического ущерба из-за выхода из строя оборудования.

Система создана на базе информационно-измерительной системы. Ядром системы мониторинга, управления и диагностики является SCADA-система, которая разработана для решения следующих задач:

- непрерывное измерение различных физических параметров с их преобразованием в электрические сигналы, отображение оперативной информации на видеокдрах и регистрация основных параметров ТО в нормальных, предаварийных и аварийных режимах, выполнение вычислительных операций по измеренным значениям и их совокупности с использованием аналитических и математических моделей, разработанных на базе национальной нормативно-технической документации (НТД) и международных стандартов, прогнозирование технического состояния ТО;

- формирование управляющих команд коммутационному оборудованию, исполнительным механизмам и другому оборудованию с выдачей и контролем прохождения соответствующих значений выходных электрических сигналов по каналам системы;

- управление системой охлаждения (СО).

СМУиД может обеспечивать интеграцию в единое информационное пространство различных подсистем, отвечающих за функционирование различных узлов, устройств, приборов и ТО во всех режимах его работы.

Основными функциями СМУиД являются:

- прием и первичная обработка информации, которая поступает от датчиков и подсистем мониторинга отдельных технологических узлов ТО;
- контроль текущего режима и состояние ТО;
- контроль работы технологических защит и формирование соответствующей сигнализации;

- визуализация на устройстве отображения информации, характеризующей состояние ТО и параметры его работы;

- регистрация событий;

- формирование сигналов предупредительной и аварийной сигнализации по всем контролируемым параметрам при превышении граничных значений (уставок);

- формирование экспертных оценок и прогнозов технического состояния оборудования на основе расчетных моделей, в том числе и в режиме реального времени;

- контроль и работа с архивными данными с удаленного рабочего места;

- создание и хранение базы данных технического состояния контролируемого объекта, срабатывания аварийной и предупредительной сигнализации, результатов расчета моделей, экспериментальных оценок и прогнозов;

- самодиагностика состояния СМУиД с локальными компонентами, вышедшего из строя.

СМУиД является многоуровневой иерархичной информационно-измерительной системой распределительного типа, работающей в режиме реального времени, которая оснащена средствами сбора, обработки, отображения, хранения и передачи

информации. Система мониторинга включает в свой состав РС: совместимые компьютеры, SCADA-систему, программируемые логические контроллеры, первичные измерительные преобразователи (датчики), а также системы для контроля технического состояния отдельных частей и узлов ТО.

По результатам выполнения алгоритмов диагностики и прогнозирования технического состояния ТО формируются наглядные графические формы, звуковая и световая предупредительная и аварийная сигнализация, сопровождающаяся предупредительными или аварийными сообщениями [8]. Основанием для формирования технологической сигнализации служит достижение (или приближение) одного или нескольких параметров к критическим величинам, определенным в НТД, действующей на территории РФ.

Структура предлагаемой СМУиД:

- шкаф мониторинга трансформатора (ШМТ), выполненный на основе системы интеллектуальных модулей в составе модуля процессорного P06/P06 DIO и модулей ввода-вывода: Т3102 (модуль на 6 каналов ввода аналоговых сигналов с индивидуальной гальванической развязкой (ГР), исполнение на расширенный температурный диапазон – 40 С до +50 С), ТСС8-220 DC (модуль на 8 каналов выходных дискретных сигналов на электромеханических реле с индивидуальной гальванической развязкой, исполнение на расширенный температурный диапазон от –40 С до +50 С), ТСВ08RT (модуль на 8 каналов выходных дискретных сигналов на электромеханических реле с индивидуальной гальванической развязкой, исполнение на расширенный температурный диапазон –40 С до +50 С). Кроме того, в шкафу располагаются дополнительное оборудование, соединительные клеммники, автоматические выключатели, сигнальные лампы и т.п.

- дополнительное оборудование, первичные датчики и устройства контроля отдельных технологических узлов ТО;

- шкаф серверов (ШС) СМУиД;

- программное обеспечение (ПО) СМУиД, состоящее из прикладного проекта *ISaGRAF*, проекта SCADA-системы, функционирующего на серверах СМУиД и автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора.

Соединение шкафов ШМТ и ШС между собой осуществляется посредством резервированной волоконно-оптической линии связи (ВОЛС). Шкаф серверов СМУиД может выполнять функции единого диагностического центра системы мониторинга и диагностики электротехнического оборудования станции (СМД-ЭТО), совмещая в себе функции верхнего уровня системы мониторинга, например, распределительного устройства, силовых трансформаторов и реакторов, генераторов, высоковольтных выключателей и т.п. (рис.1).

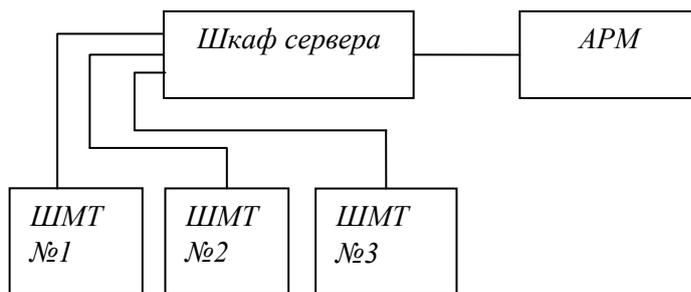


Рис. 1. Структурная схема СМУиД

Усовершенствование предложенной технологии возможно внедрением автоматизированной системы управления электротехническим оборудованием (АСУ ЭТО), а также интеграция с автоматизированной информационно-измерительной системой коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) (рис.2).

АСУ ЭТО предназначена для контроля режима работы каждой электрической части предприятия и ее отображения для оперативного и другого персонала, повышения эффективности диспетчерско-технологического управления, оптимизации режимов работы и электрооборудования главных схем, повышения надежности и безаварийности работы электрооборудования главных схем, повышения эффективности управления процессом ремонта электрооборудования главных схем, снижения эксплуатационных затрат, управления коммутационными аппаратами (КА) на нижнем уровне [9].

АИИС КУЭ предназначена для сбора, обработки и хранения результатов измерений количества электрической энергии выработанной, полученной, потребленной на собственные нужды (СН) и отпущенной потребителям электроэнергии, осуществления контроля за энергопотреблением, регистрации параметров энергопотребления, проведения расчетов в объеме оказываемых услуг.

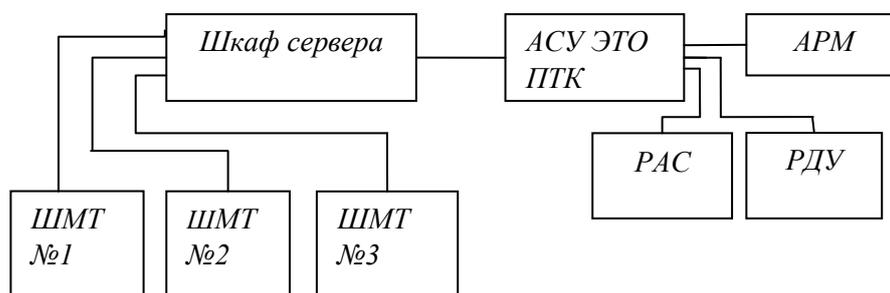


Рис. 2. Структурная схема с внедрением АСУ ЭТО и АИИС КУЭ

Система мониторинга включает в свой состав РС: совместимые компьютеры, SCADA-систему, программируемые логические контроллеры (ПЛК), первичные измерительные преобразователи (ИП), зарегистрированные в Государственном реестре средств измерений и допущенные к применению ВРФ, а также приборы, системы для контроля технического состояния отдельных частей и узлов ТО.

СМУиД имеет иерархическую трехуровневую структуру, которая представлена на рис. 3.

I уровень – уровень сбора данных, который включает в себя исполнительные устройства, первичные датчики и измерительные системы, установленные на ТО. В число таких датчиков и устройств могут входить датчики температуры масла, обмоток и окружающей среды, датчики наличия потока масла, манометры в трубопроводах СО, датчики тока электродвигателей маслонасосов и вентиляторов СО, датчики контроля газосодержания и влагосодержания масла, привод регулятора РПН, приборы/устройства управления и контроля РПН, приборы/устройства управления и контроля СО, приборы/устройства регистрации частичных разрядов, приборы/устройства контроля состояния изоляции высоковольтных вводов, для маслonaполненных вводов, дополнительно манометры, датчики вибраций и т.д.

СМУиД обеспечивает прием и обработку сигналов различных типов:

- унифицированные сигналы тока и напряжения от первичных преобразователей: 4...20 мА, 0...20 мА, ±5 В, 0...5 В;
- дискретные сигналы от датчиков типа «сухой» контакт;
- сигналы переменного тока и напряжения: 0...1 А, 0...5 А, 0...100 В, 0...380 В;
- сигналы от термосопротивлений типа Pt 100, подключаемых по двух-, трех- или четырехпроводной схеме;
- цифровые сигналы от интеллектуальных устройств с использованием интерфейса RS-485.

II уровень – уровень первичной обработки измеряемых параметров и команд управления (по аналоговым, дискретным и цифровым измерительным каналам). Реализуется в виде ШМТ, устанавливаемых в непосредственной близости от контролируемого ТО. Технические средства (ТС) шкафа ШМТ выполняют нормализацию и преобразование сигналов, полученных от первичных датчиков Уровня I, расчет параметров ТО с помощью математических моделей, и обеспечивают информационный обмен с Уровнем III. На Уровне II могут применяться следующие ТС:

- системы интеллектуальных модулей;
- модули устройств связи с объектом (УСО), процессорных модулей;
- многофункциональные ИП.

1) III уровень – уровень консолидации, хранения и визуализации данных, применяемые ТС, выполнены на базе РС-совместимых компьютеров промышленного или офисного исполнения, работающие под управлением операционных систем (ОС), совместимых со SCADA-системой, а также сетевое оборудование для объединения всех ТС локальной вычислительной сетью (ЛВС) Ethernet. Реализуется в виде шкафа серверов (ШС) и устанавливается в помещении управления энергообъектом.

2) III уровень – уровень консолидации, хранения и визуализации данных, применяемые ТС, выполнены на базе PC-совместимых компьютеров промышленного или офисного исполнения, работающие под управлением операционных систем (ОС), совместимых со SCADA-системой, а также сетевое оборудование для объединения всех ТС локальной вычислительной сетью (ЛВС) Ethernet. Реализуется в виде шкафа серверов (ШС) и устанавливается в помещении управления энергообъектом.

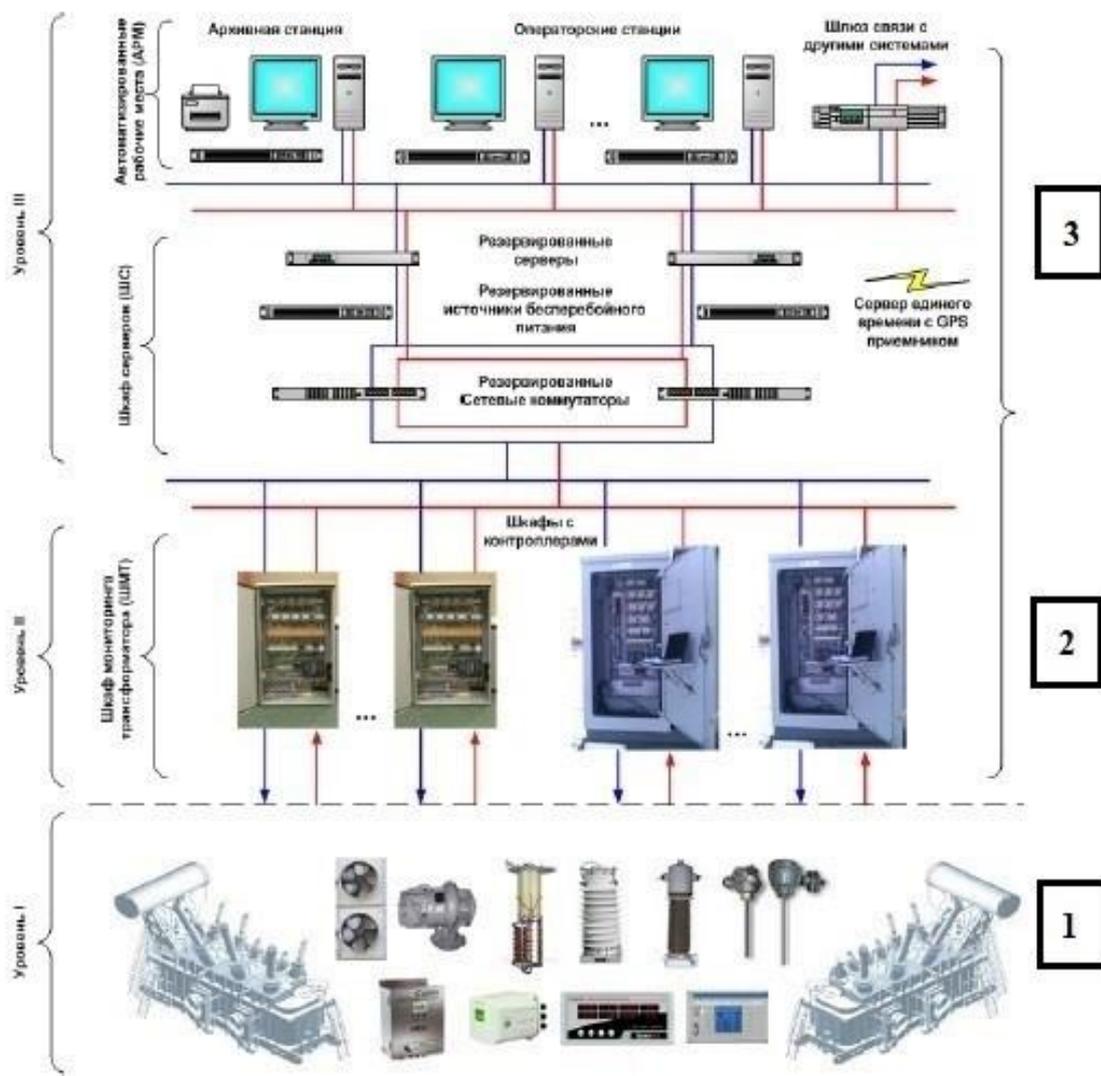


Рис.3. Иерархическая структура СМУиД:

1 – I уровень – ТО; 2 – II уровень – ШМТ; 3 - III уровень – сервера сбора данных и синхронизации времени, ШС, операторские станции, АРМ

В качестве функциональных компонентов III уровня в системе СМУиД могут использоваться:

- выделенные шлюзы обмена данными с контроллерами, серверы архивных данных, предназначенные для регистрации и архивирования информации, поступающей с ПЛК и процессорных модулей II уровня;
- операторские станции (АРМ) оперативно-диспетчерского и управленческого персонала, которые предназначены для визуализации значений измеряемых и рассчитываемых параметров ТО в режиме «online», отображения архивной информации о технологическом процессе в ретроспективном режиме;
- инженерные станции, предназначенные для проведения наладочных и сервисных работ по обслуживанию абонентов II уровня и III уровня системы СМУиД;
- сервер точного времени, предназначенный для поддержания единого астрономического времени устройств I, II и III уровней системы, с его коррекцией по

сигналу точного времени, получаемого от приемника *GPS*/Глонасс или посредством стандартного сетевого протокола точного времени *SNTP*.

Для отображения информации СМУиД могут быть использованы экраны коллективного пользования, существующие в автоматизированной системе управления технологическим процессом (АСУ ТП) энергообъекта.

Некоторые из указанных выше функциональных компонентов III уровня могут реализовываться на базе одного и того же РС-совместимого компьютера (например, в случае использования АРМ со встроенным шлюзом и архивным сервером).

В структуре проекта АСУ ТП зона ответственности программно-технического комплекса (ПТК), как основного компонента СМУиД:

- в части границ комплекса и подключения к другим составным частям системы – и входные и выходные клеммы (разъемы) в электромонтажном шкафу с ПЛК, интеллектуальными модулями системы и сетевым оборудованием, размещенным в шкафах и стойках или автономно, к которым подключаются датчики или сторонние системы сбора и обработки информации;

- в части функционала комплекса – совокупность всех информационных и сервисных функций, реализуемых с помощью вычислительных средств в соответствии с настоящими техническими условиями.

Связь между различными уровнями системы, а также со смежными подсистемами реализуется посредством локальной вычислительной сети (ЛВС) [10]. Типовая структурная схема внутренней ЛВС ШМТ представлена на рис.4.

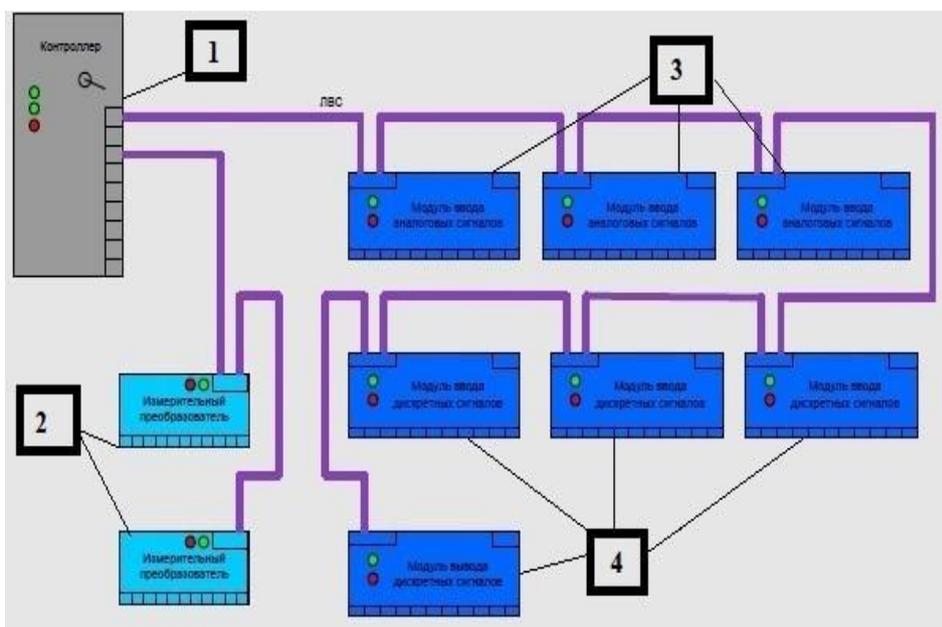


Рис. 4. Типовая структурная схема ЛВС ШМТ:

1 – контроллер в шкафу ШМТ; 2 – измерительный преобразователь; 3 – модуль ввода аналоговых сигналов; 4 – модуль ввода дискретных сигналов

ЛВС представляет собой совокупность ТС, обеспечивающих контролируемый информационный обмен между компонентами системы. В состав ЛВС входят активные и пассивные компоненты, а также ПО, обеспечивающее нормальное функционирование ТС ЛВС (активных). К пассивным компонентам ЛВС относятся кабельная продукция (оптические и медные кабели, в т.ч. патч-корды, пигтейлы), сетевые шкафы, включая коммутационные панели (патч-панели, оптические кроссы), кабельные органайзеры, кабельные коробки, лотки, кабельные розетки, разъемы. К активным компонентам ЛВС относятся сетевые коммутаторы, маршрутизаторы, в т.ч. с функцией межсетевого экрана, медиаконвертеры, преобразователи интерфейсов, серверы последовательных портов, сетевые платы рабочих станций, серверов [11].

Для передачи сигналов используется стандартный интерфейс *RS-485*, работающий в полудуплексном режиме с одной витой парой проводников в общем экране. Мастер сети (процессорный модуль *P06*) передает и принимает данные через *COM*-порты. При подключении модулей или интеллектуальных измерительных устройств к *COM3*-*COM5*, эти *COM*-порты должны быть настроены на среду передачи *RS-485*. Если модули или интеллектуальные измерительные устройства подключаются к *COM1* или *COM6*, следует

использовать интеллектуальный конвертор сигнала интерфейса RS-232 в RS-485 [12]. Автоматический конвертор берет на себя функцию управления переключением направления передачи и обеспечивает преобразование уровней сигнала.

Поскольку АИИС КУЭ является информационно-вычислительной системой с централизованным управлением и распределительной функцией измерения, она включает в себя следующие уровни:

- Уровень информационно-измерительных комплексов точек измерений (ИИК);
- Уровень информационно-вычислительного комплекса электроустановок (ИВК).

Первый уровень включает в себя измерительные трансформаторы тока и напряжения, многофункциональные счетчики активной и реактивной электроэнергии, вторичные измерительные цепи [13]. Второй уровень включает в себя компьютер в промышленном исполнении (рис. 5).

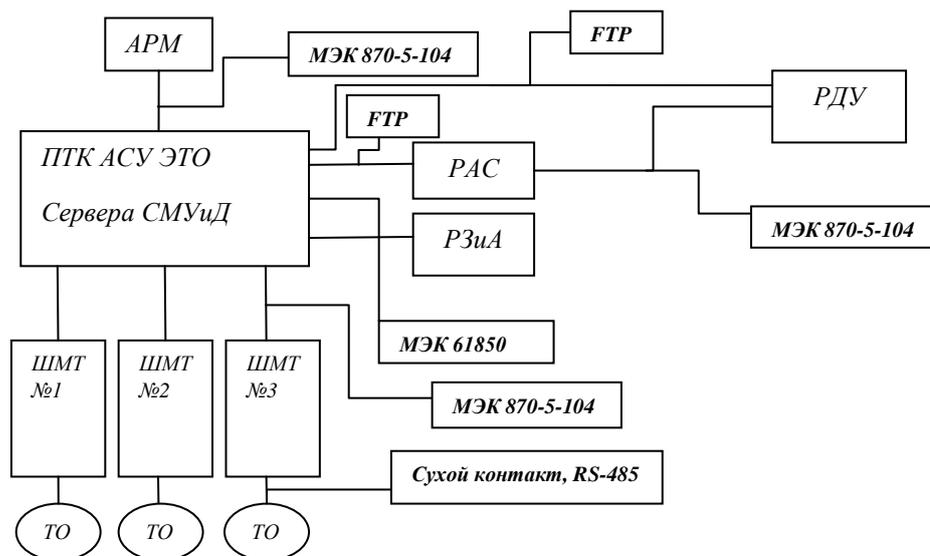


Рис. 5. Алгоритм работы системы с учетом интеграции с АСУ ЭТО

Дальнейшей ступенью развития идеи может быть внедрение QR-кода на ТО. Персонал, отвечающий за техническое состояние электрооборудования, должен вести журналы по учету, по техническому осмотру и ремонту оборудования, составлять план проведения следующего ремонта. По этим данным можно отследить, когда было установлено то или иное оборудование, когда оно проходило последнюю проверку, какие мероприятия в процессе нее производились, какие результаты были получены. Однако применив предложенную идею, можно ускорить процесс поиска последней информации об электрооборудовании, а также посмотреть фактические показания параметров: температуру, напряжения на выводах и т.д., что позволит сэкономить время на обследование тех или иных дефектов оборудования, следовательно, оперативный персонал сможет начать диагностику на устранение данного дефекта без предварительных оперативных переговоров (рис. 6).

*TeamViewer* – пакет программного обеспечения для удалённого контроля компьютеров, обмена файлами между управляющей и управляемой машинами, видеосвязи и веб-конференцией [14]. Предлагаем использовать данную технологию для всего парка оборудования на предприятии.

Установив QR-код на трансформатор, РПН, газоанализатор, ШАОТ, оперативный персонал при обходе или проверке технического состояния электрооборудования может просканировать его, используя установленное приложение («Молния QR-сканер») на своем телефоне.

Для этого он наведет фотокамеру, поймает код в рамке и получит всю информационную базу о трансформаторе. При необходимости на расстоянии можно продиагностировать проблему, с помощью удаленного АРМ (ноутбук, телефон, планшет) можно подключиться к оборудованию, используя программу удаленного администрирования «*TeamViewer*». И при обнаружении неисправности электрооборудования, административный персонал на расстоянии может дать устное распоряжение по выполнению каких-либо мероприятий по ликвидации аварии. В тоже время оперативный персонал, используя QR-код, сможет начать диагностировать

оборудование, взяв всю необходимую информацию о предыдущей диагностике из единой базы на основе ПО (рис. 7) [15].

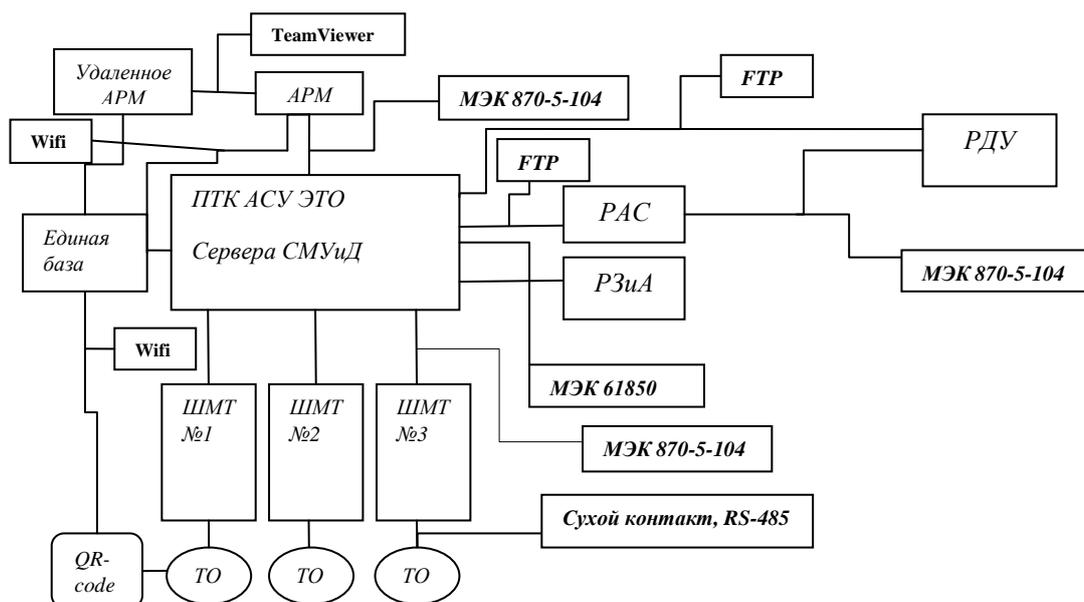


Рис. 6. Система СМУиД АСУ ЭТО, АИИС КУЭ с учетом внедрения QR-кода и TeamViewer



Рис. 7. Сканирование QR-кода на Тольяттинском трансформаторе:  
1 – QR-код; 2 – трансформатор; 3 – аутентификация / сканирование

Мы создали сайт <https://spasovdenis.wixsite.com/qrcode>, где будет находится единая эксплуатационная база предприятия с предыдущими и фактическими показаниями параметров ТО. На этот сайт можно попасть, используя QR-код, представленный на рис. 8.



Рис. 8. QR-код

В процессе эксплуатации база сайта будет развиваться, позволяя создать единую эксплуатационную базу предприятия.

#### **Заключение**

Таким образом, повреждения ТО нарушают работу энергосистемы и потребителей электроэнергии, а ненормальные и аварийные режимы создают вероятность возникновения повреждений или нестабильности работы энергосистемы. Для обеспечения безаварийной работы энергетической системы необходимо, как можно быстрее выявить причину и отделить место повреждения от неповрежденной сети, восстанавливая нормальные условия их работы и прекращая разрушения на месте повреждения. Опасные последствия

ненормальных режимов можно предотвратить путем своевременного обнаружения отклонения от нормального режима и принятия меры к его устранению (снизить ток при его нарастании, понизить напряжение при его увеличении и т.д.). Методы, используемые в настоящее время, не обнаруживают опасные ухудшения состояния изоляции, не чувствительны к её старению, а в некоторых случаях ошибочно оценивают состояние изоляции. В связи с этим возникает необходимость в создании и применении автоматических устройств управления и различных систем мониторинга, выполняющих указанные операции, защищающих систему и ее элементы от опасных последствий, повреждений и ненормальных режимов.

Внедрение таких систем, как СМУиД, АСУЭТО, АИИС КУЭ и QR-код с удаленным мониторингом и возможностью управления и отслеживания через программу удаленного администрирования «TeamViewer» поможет реализовать оперативность при ликвидации аварийных режимов оборудования и досрочное выявление ненормального режима работы трансформаторов.

В настоящее время вышеописанная идея применения системы мониторинга, управления и диагностики трансформаторного оборудования в комплексе с автоматизированной системой управления электротехнического оборудования и автоматизированной информационно-измерительной системой коммерческого учета электроэнергии с использованием QR-кода на предприятиях нигде не применяется. Она является полностью авторской разработкой. На данном этапе мы занимаемся созданием единой эксплуатационной базы предприятия, изучением всевозможности АСУ. Далее планируется написать программу в *MatLab*, интегрируя системы СМУиД, АСУ ЭТО, АИИСКУЭ и QR-код в комплексе, сделать технико-экономический расчет, рассчитать срок окупаемости системы. В ближайшее время планируется внедрить эту систему на одно из предприятий Республики Татарстан – Казанскую ТЭЦ-1 (Филиал АО «Татэнерго»).

#### Литература

1. Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатов О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения / Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2018. №11-12. С. 99-106.
2. Иванова В.Р., Фетисов Л.В. Разработка учебного стенда для эффективной и безопасной эксплуатации резервного электроснабжения на промышленных предприятиях // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2018. № 9-10. С.165-169.
3. Чичёв С.И. Мониторинг и диагностика оборудования сетей региональной сетевой компании "Тамбовэнерго" / Повышение эффективности средств обработки информации на базе математического моделирования: Матер. докл. 9 Всеросс. науч.-техн. конф. 27-28 апреля 2009 г. Тамбов, 2009. С. 461-472.
4. Виноградова Л.В., Игнатъев К.Б., Климов Д.А. и др. Диагностика маслонаполненного электрооборудования на основе экспертных систем / Интеграция науки и производства. Матер, конф. ТРАВЭК. М.: ВЭИ, 2004. С.180.
5. Рыбаков Л.М., Анчарова Т.В., Ахметшин Р.С. Диагностирование силовых трансформаторов 1 и 2 габаритов напряжением 10/0,4 кВ под рабочим напряжением с использованием частотных характеристик // Вестник МЭИ. 2005. № 5. С. 39-48.
6. Чичёв С.И., Калинин В.Ф., Глинкин Е.И. Информационно-измерительная система центра управления электрических сетей. М.: Машиностроение, 2009. С.176.
7. Роженцова Н.В., Баширов М.Г., Хальфиева А.М. и др. Проблемы обеспечения надежности распределительных сетей промышленных предприятий. Изв. вузов. Проблемы энергетики. № 3-4. С. 85-93.
8. Ivanova V.R., Ivanov A.S., Fetisov L.V The development of an automated station for group soldering of the led lines // 2018 14th International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) – 44894 proceedings. pp. 336-338.
9. Богомоллов В.С., Касаткина Т.Е., Кустов С.С. Анализ причин повреждений и результаты обследования технического состояния трансформаторного оборудования // Вестник ВНИИЭ, 2014.
10. SimPowerSystems For Use with Simulink. User's Guide. The MathWorks Inc., 2014. P.411.
11. Ваниндр Б.В. О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110-500 кВ в эксплуатации. М.: АОВНИИЭ-МЭИ (ТУ) РАО «ЕЭСРоссии».
12. Лопухов И. Обеспечение безопасности ОПС для АСУТП // Современные технологии автоматизации. М., 2014. № 2. С. 6.
13. Kominek, D. Effective OPC Security for Control Systems — Solutions you can bank on / D. Kominek, E. Byres. Доступно по: <http://www.tofinosecurity.com/effective-POC-solutions>.
14. Trace Mode IDE 6.09 Base: Справка. М.: AdAstra Research Group, Ltd., 2014.
15. Денисова А.Р., Спасов Д.П., Галяутдинова А.Р. Использование QR-кода в промышленных

целях // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. М., 2019. № 5. С. 41.

16. Роженцова Н.В., Ларионов С.Н., Хальфиева А.М. Использование нейросетевых алгоритмов для повышения надежности работы современных энергосберегающих систем. Труды научно-практ. сем. «Энергосбережение на предприятиях промышленности и жилищно-коммунального хозяйства». Уфа: Гилем. С. 61-64.

17. Рудаков А.И., Нурсубин М.С., Роженцова Н.В. и др. Повышение энергоэффективности ступени конфузторного эжектора с пульсирующим движением активного потока в составе жидкостно-кольцевого вакуум-насоса. Вестник Казанского технологического университета: Т. 17. №17; М-вообраз. и науки России, Казан. нац. исслед.технол. ун-т. Казань: КНИТУ, 2014. С. 150-158.

18. Васенин А.Б. Особенности применения методов мониторинга электрооборудования энергетических объектов // Автоматизация и ИТ в энергетике. №8 М.: Издательский дом «ИД АВИТ-ТЭК», 2018. С. 12-19.

19. Бадуне Дж., Витолина С., Маскалонок В. Методы прогнозирования оставшегося срока службы силовых трансформаторов и их компонентов // Энергетика и электротехника. № 31. 2013. С. 123-126.

20. Karandaev A.S., Khramshin V.R., Khramshin R.R., et al. Conceptual Area of Development of Power Saving Thyristor Electric Drives of Rolling Mills. 2016.

21. Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Sarlybaev A.A., et al. Requirements of a system for monitoring the technical condition of the transformer of a high-power arc steelmaking furnace," Mashinostr.: Setevoi Elektr. Nauch. Zh.V. 2. pp.58-68.

22. Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Khramshin V.R., et al. Diagnostic functions of a system for continuous monitoring of the technical condition of the transformers of arc steelmaking furnaces.2014. Metallurgist. 2014. V.58(7-8). pp. 655-663.

23. Bernat P., Hytka Z., Kacor P. Indication of failures of rotor bar on induction machine with squirrel cage rotor in its external electromagnetic field. In: Proceedings of the 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). 2015. pp. 691–696.

24. Kurilin S.P., Denisov V.N. Methods and Applications of Mathematical Modeling in Electrical Engineering: Monograph. Smolensk, Smolenskiy Filial RUK Publ, 2014, 242 p.

25. Ameid T., Menacer A., Talhaoui H., et al. Broken rotor bar fault diagnosis using fast Fourier transform applied to field-oriented control induction machine: simulation and experimental study. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017. V. 92 (1–4). pp. 917–928.

#### Авторы публикации

**Денисова Алина Ренатовна** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений», Казанский государственный энергетический университет.

**Спасов Денис Павлович** – магистр, Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ).

**Галютдинова Алсу Ренатовна** – магистр, Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ).

**Иванова Вилия Равиловна** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» (ЭХП), Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ).

#### References

1. Fetisov LV, Rozhenzova NV, Bulatov OA. Improvement of the quality of electric energy in low voltage networks. *Izv. Higher educational institutions. Problet.us anticus*. 2018;11-12:99-106.
2. Ivanova VR, Fetisov LV. Development of a training stand for the efficient and safe operation of backup power supply at industrial enterprises. *Izv. universities. Energy problems*. 2018;9-10:165-169.
3. Chichov SI. Monitoring i diagnostika oborudovannykh setey regional'noy setevoy kompanii "Tamboverno". *Povysheniye effektivnosti sredstv obrabotki informatsii na baze matematicheskogo modelirovaniya: Mater, dokl. 9 Vseross. nauch.-tekhn. konf. 27-28 aprelya 2009 g. Tambov, 2009. S. 461-472.*
4. Vinogradova LV, Ignat'yev KB, Klimov DA, et al. Diagnostika maslonapolnennogo elektrooborudovaniya na osnove ekspertnykh system. *Integratsiya nauki i proizvodstva. Mater, konf. TRAVEK. M. : VEI, 2004. 180s.*

5. Rybakov LM, Ancharova TV, Akhmetshii RS. Diagnostirovaniye silovyykh transformatorov 1 i 2 gabaritov napryazhennosti 10 / 0,4kV pod rabochim napryazheniyem s ispol'zovaniyem chastotnykh kharakteristik. *Vestnik MEI*. 2005;5:39-48.
6. Chichov SI, Kalinin VF, Glinkin YeI. *Informatsionno-izmeritel'naya sistema tsentral'nogo upravleniya stolovymi setyami*. M.: Mashinostroyeniye, 2009. 176 s.
7. Rozhentsova NV, Bashirov MG, Khal'fiyeva AM, et al. Problemy obespecheniya nadezhnosti raspredelitel'nykh setey promyshlennykh predpriyatiy. I. vuzov. *Problemy energetiki*. 2010;3-4:85-93.
8. Ivanova VR, Ivanov AS, Fetisov LV. *The development of an automated station for group soldering of the led lines*. 2018 14th International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) 44894 proceedings. pp. 336 -338.
9. Bogomolov VS, Kasatkina TE, Bushes SS. Analysis of the causes of damage and the results of the inspection of the technical condition of transformer equipment. *Vestnik VNIIE*, 2014.
10. *Sim Power Systems For Use with Simulink*. User's Guide. The MathWorks Inc., 2014. P.411.
11. Vanin BV, et al. *Damage to power transformers of 110–500 kV in operation*. Moscow: VNIIE-MEI JSC (TU) RAO UES of Russia.
12. Lopukhov I. Ensuring safety of LFS for process control systems. *Modern automation technologies*. M., 2014;2:6.
13. Kominek D, Byres. *Effective OPC Security for Control Systems. Solutions you can bank on*. Доступно по :<http://www.tofinosecurity.com/effective-POC-solutions>.
14. *Trace Mode IDE 6.09 Base*: Справка. М.: AdAstra Research Group, Ltd., 2014.
15. Denisova AR, Spasov DP, Galyautdinova AR. Use of a QR code for industrial purposes. *Electrical Equipment: Operation and Repair*. 2019;5:41.
16. Rozhentsova NV, Larionov SN, Khal'fiyeva AM. *Ispol'zovaniye neyrosetevykh algoritmov dlya povysheniya nadezhnosti raboty sovremennykh energosberegayushchikh sistem*. Trudynauchno-prakt. sem. «Energosberezheniye na predpriyatiyakh promyshlennosti i zhilishchno-kommunal'nogokhozyaystva». Ufa: Gilem. S. 61-64.
17. Rudakov AI, Nursubin MS, Rozhentsova NV, et al. Povysheniye energoeffektivnosti stupeney konfuzornogo ezhektora s pul'siruyushchim dvizheniyem aktivnogo potoka v sostave zhidkostno-kol'tsevogo vakuuma-nasosa. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. M-voobraz. I nauki Rossii, Kazan. nats. issled. tekhnol. un-t. Kazan': KNITU, 2104;17(17):150-158.
18. Vasenin AB. Osobennosti primeneniya metodov monitoring elektrooborudovaniya energeticheskikh ob'yektov. *Avtomatizatsiya i IT v energetike*. №8 M.: Izdatel'skiy dom «ID AVIT-TEK», 2018. pp. 12-19.
19. Badun J, Vitolina S, Maskalonok V. Methods of predicting the remaining life of power transformers and their components. *Energy and electrical engineering*. 2013;31:123-126.
20. Karandaev AS, Khramshin VR, Khramshin RR, et al. Conceptual Area of Development of Power Saving Thyristor Electric Drives of Rolling Mills. 2016.
21. Karandaev AS, Evdokimov SA, Sarlybaev AA, et al. *Requirements of a system for monitoring the technical condition of the transformer of a high-power arc steelmaking furnace*. Mashinostr.: Setevoi Elektr. Nauch. Zh. 2014;2:655-663.
22. Karandaev AS, Evdokimov SA, Khramshin VR, et al. Diagnostic functions of a system for continuous monitoring of the technical condition of the transformers of arc steelmaking furnaces. *Metallurgist*. 2014;58(7-8):655-663.
23. Bernat P, Hytka Z, Kacor P. *Indication of failures of rotor bar on induction machine with squirrel cage rotor in its external electromagnetic field*. In: Proceedings of the 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). 2015, pp. 691-696.
24. Kurilin SP, Denisov VN. *Metody i prilozheniya matematicheskogo modelirovaniya v elektrotehnike* Monograph. Smolensk, Smolenskiy Filial RUK Publ, 2014, 242 p.
25. Ameid T, Menacer A, Talhaoui H, et al. Broken rotor bar fault diagnosis using fast Fourier transform applied to field-oriented control induction machine: simulation and experimental study. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2017;92(1-4):917-928. doi: 10.1007/s00170-017-0143-2.

#### Authors of the publication

**Alina R. Denisova** – Kazan State Power of Engineering University, Kazan, Russia. Email: [denisova\\_ar@mail.ru](mailto:denisova_ar@mail.ru).

**Denis P. Spasov** – Kazan State Power of Engineering University, Kazan, Russia. Email: [spasovdenis@list.ru](mailto:spasovdenis@list.ru).

© *А.Р. Денисова, Д.П. Спасов, А.Р. Галютдинова, В.Р. Иванова*

*Alsu R. Galyautdinova* – Kazan State Power of Engineering University, Kazan, Russia. Email: Alsu296@ya.ru.

*Vilija R. Ivanova* – Kazan State Power of Engineering University, Kazan, Russia. Email: vr-10@mail.ru.

*Поступила в редакцию*

*16 декабря 2019 г.*