

**Коновалов Юрий Васильевич,**

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,  
yrvaskon@mail.ru

**Наумова Лилия Алексеевна,**

обучающаяся группы АТПм-18-1, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: naumliliya@yandex.ru

**Истратов Роман Сергеевич,**

обучающийся группы ЭЭ-18-1, Ангарский государственный технический университет.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ТРАНСФОРМАТОРНОГО ПАРКА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИНИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**Konovarov Y.V., Naumova L.A., Istratov R.S.**

### **AUTOMATION OF TRANSFORMER PARK MONITORING TO ENSURE MINIMIZATION OF ELECTRIC POWER LOSSES**

**Аннотация.** Обоснована необходимость постоянного мониторинга технического состояния и загруженности трансформаторов для осуществления организационно-технических мероприятий по уменьшению потерь электрической энергии, в том числе поддержанием оптимальной загрузки и уровня напряжения. Рассмотрена эффективность использования интегрированных интеллектуальных модулей мониторинга и управления в общей системе диспетчерское управления и сбора данных SCADA. Для повышения надежности управления обосновано применение устройств с альтернативными изоляционными жидкостями.

**Ключевые слова:** мониторинг, трансформаторы, потери электрической энергии, интегрированные интеллектуальные модули, SCADA.

**Abstract.** The necessity of continuous monitoring of the technical condition and utilization of transformers for the implementation of organizational and technical measures to reduce electrical energy losses, including maintaining the optimal load and voltage level, is substantiated. The efficiency of the use of integrated intelligent monitoring and control modules in the general system of dispatching control and data acquisition of SCADA is considered. To improve the reliability of control, the use of devices with alternative insulating liquids is justified.

**Keywords:** monitoring, transformers, electric power losses, integrated intelligent modules, SCADA.

Силовые трансформаторы являются одним из наиболее важных элементов энергосистем. Естественно, что надежность работы сетей, электростанций и энергосистем в значительной степени зависит от надежности работы трансформаторов, тем более, что значительная часть трансформаторов отработала определенный стандартом минимальный срок службы в 25 лет.

Для современных автоматизированных систем защиты является нормой обеспечить все требуемые функции защиты в одном терминале. Согласно нормам технологического проектирования подстанций, при новом строительстве и реконструкции подстанций, должны применяться современные устройства релейной защиты и автоматики (РЗА), соответствующие действующим нормам и прошедшим регламентированную процедуру проверки качества оборудования.

Применяемая аппаратура РЗА должна иметь стандартные протоколы обмена информацией по ГОСТ, соответствовать стандартам международной

электротехнической комиссии (МЭК), отвечать требованиям надежности и электромагнитной совместимости (ЭМС). Алгоритм функционирования должен обеспечивать отсутствие излишней работы данного устройства при внешнем коротком замыкании (КЗ) и насыщении трансформатора тока (ТТ). На терминале MiCOM P64x разработано реле защиты R64x для обеспечения автоматизации защиты силовых трансформаторов с использованием последних цифровых технологий [1]. Возросшая функциональность цифровых реле дает возможность использования расширенных функций защиты для широкого спектра приложений, которые в сочетании с большим количеством дополнительных функций могут выполнять требования контроля и мониторинга энергосистем.

Кроме обеспечения защиты силового трансформатора важным является минимизация потерь электрической энергии в этих трансформаторах. Значимость этой проблемы подчеркивает их огромная установленная мощность, и поэтому выбор оптимального режима может привести к значительной экономии. Так, в ПАО «МРСК Сибири» (дочерняя компания ПАО «Россети») трансформаторная мощность более 460 тысяч подстанций составляет 726 ГВА [2]. Высоковольтные мощные трансформаторы являются достаточно совершенным электротехническим устройством с высоким КПД, который в номинальном режиме достигает 98-99 %. Однако, при малой загруженности КПД трансформатора значительно уменьшается. Исследования загрузки трансформаторов трансформаторных подстанций 35-110 кВ предприятия «Красноярскэнерго», являющегося филиалом ПАО «МРСК Сибири», полученные в результате проведенной статистической обработки информации о результатах контрольных замеров электрических параметров режимов работы оборудования объектов электросетевого хозяйства [3], показывают, что ее среднее значение не превышает 50 %.

Для эффективной работы электросетевого хозяйства необходим постоянный мониторинг технического состояния и загруженности трансформаторов для осуществления организационно-технических мероприятий по уменьшению потерь электрической энергии, в том числе поддержанием оптимальной загрузки и уровня напряжения путем автоматического регулирования под нагрузкой (РПН) коэффициента трансформации как отдельных, так и параллельно работающих силовых трансформаторов. Современные технические средства контроля строятся на применении интегрированных интеллектуальных модулей, способных регистрировать и обрабатывать почти все рабочие данные силового трансформатора.

Расширение процесса объединения сетей и повышение требований к эксплуатационной надежности оборудования, используемого в электросетях, делают постоянный контроль и анализ рабочего состояния неизбежным. Интегрированные интеллектуальные модули (Integrated Smart Module (ISM)) предоставляющие возможность визуализации и анализа верхнего уровня, являют-

ся экономически выгодным и практичным техническим решением, которое значительно облегчает управление ресурсами и производством.

Применение систем мониторинга трансформатора или целого трансформаторного парка позволит разработать регулировочные мероприятия и обеспечить перераспределение нагрузки трансформаторов с целью минимизации потерь электроэнергии, что вписывается в современную концепцию развития технологии интеллектуальных электрических сетей. Вариант технического решения при использовании модулей ISM, представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Управление силового трансформатора с использованием интегрированных интеллектуальных модулей (ISM)

Система с использованием интегрированных интеллектуальных модулей позволяет вписаться в общую систему диспетчерского управления SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) – программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления. SCADA может являться частью автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ). Структурная схема функционирования системы ISM в системе SCADA приведена на рисунке 2.

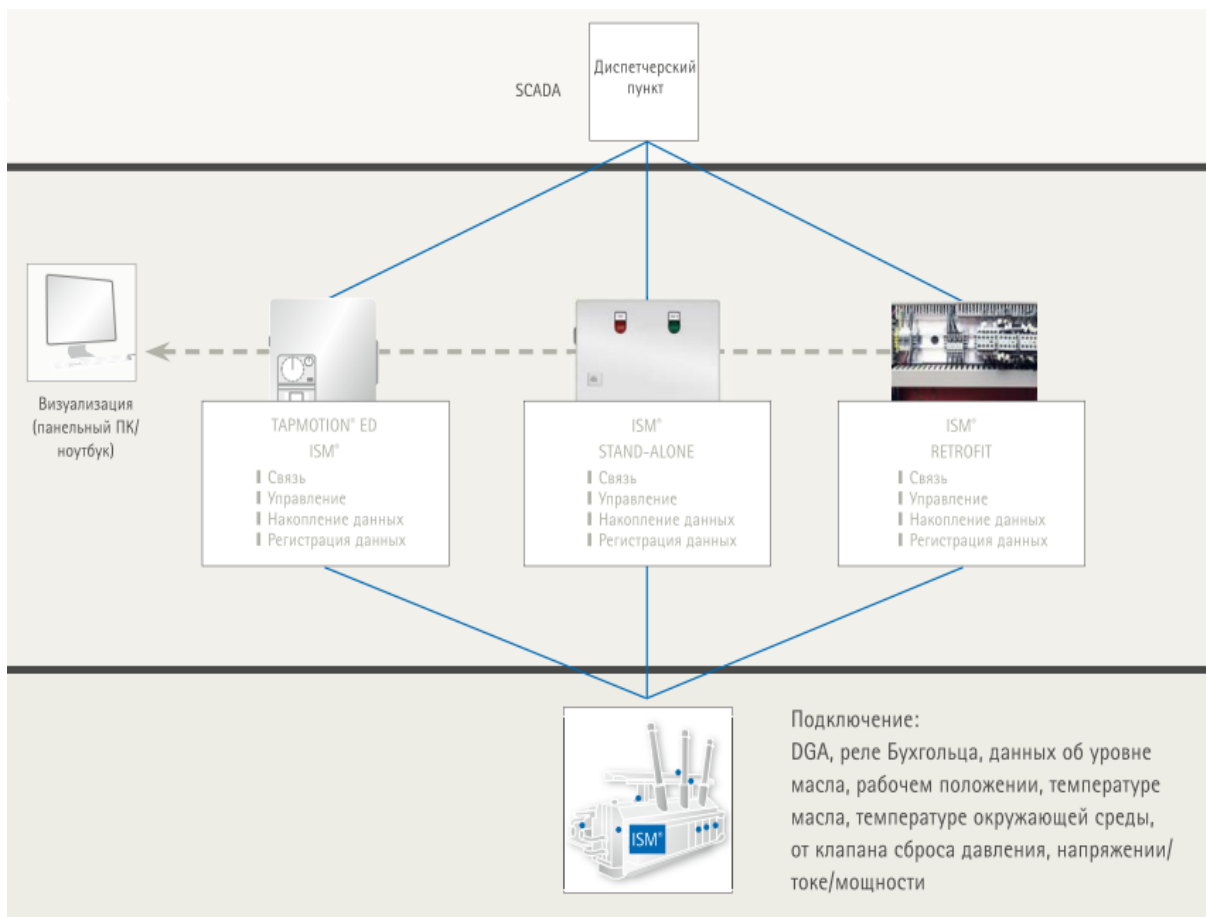


Рисунок 2 – Структурная схема функционирования системы ISM в системе SCADA

Оптимальное использование силовых трансформаторов обеспечивается регулированием напряжения в автоматическом режиме для реализации концепции интеллектуальных электрических сетей. «Интеллектуальным» следует называть трансформатор, обеспечивающий максимально возможный контроль состояния всех систем трансформаторного оборудования (активной части, масла, вводов, системы охлаждения, РПН, технологических защит и др.), самодиагностику и выдачу рекомендаций по дальнейшим действиям в случае появления развивающегося повреждения или ненормированного воздействия на трансформатор. Принципиально важно, что при этом трансформатор должен обеспечивать все режимы управления своими регулируемыми устройствами (РПН, системой охлаждения) – автоматический, ручной местный и ручной дистанционный, в том числе из удаленных центров управления, с полным контролем правильности исполнения команд.

В то же время большой процент повреждаемости элементов РПН [1, 4] указывает на необходимость разработки мероприятий по повышению их надежности [5, 6, 7]. Внедрение организационных мероприятий по повышению надежности в работе снижает число повреждений, однако устаревший тип уст-

ройств РПН с традиционной технологией переключения с гашением дуги в изоляционном масле не удовлетворяет эксплуатационный персонал. С 2006 года в устройствах РПН на многих производствах находит применение технология гашения электрической дуги в вакууме, которая позволяет производить до первой ревизии 300 тысяч переключений без необходимости технического обслуживания. К преимуществам этой технологии относится то, что не возникает электрической дуги в масле устройства РПН, нет потребности в маслофильтровальной установке, значительно увеличиваются интервалы технического обслуживания. Кроме этого, в процессе переключений, качество вакуума в камерах становится еще выше, т.к. возникающая при электрической дуге плазма паров металла связывает свободные молекулы газа из материала контактов (эффект геттера), поверхность контактов не окисляется, и таким образом гарантируется стабильное переходное сопротивление. Внешний вид такого компактного устройства РПН представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Компактное вакуумное устройство РПН

Вакуумные РПН могут использоваться в сталелитейном и алюминиевом производстве, на буровых установках при повышенной взрывоопасности, а также на химических заводах в условиях агрессивной или загрязненной окружающей среды.

Еще одной тенденцией будущего в оборудовании для трансформаторов являются возрастающие требования к пожарной безопасности, экологичности и отсутствию необходимости технического обслуживания. Этого можно достичь использованием альтернативных изоляционных жидкостей. Альтернативные изоляционные жидкости с натуральными эфирами добываются, например, из рапса, сои, подсолнечника или кокоса.

Эфирные жидкости имеют преимущество, так как по классификации водоопасности они определены как «не загрязняющие воду». Благодаря фильтрации и добавкам образуется высококачественное изоляционное масло с именно теми преимуществами, которые потребуются в будущем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тинина Л.П., Коновалов Ю.В., Наумова Л.А. Автоматизация системы защиты силового трансформатора // Вестник АНГТУ. № 12. 2018. С. 58 – 62.

2. Официальный сайт ПАО «МРСК Сибири» (дочерняя компания ПАО «Россети») [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mrsk-sib.ru/index.php?lang=ru40> (02.03.2019).

3. Информация о результатах контрольных замеров электрических параметров режимов работы оборудования объектов электросетевого хозяйства. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.mrsk-sib.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3824:informatsiya-o-rezultatakh-kontrolnykh-zamerov-elektricheskikh-parametrov-rezhimov-raboty-oborudovaniya-ob-ektov-elektrosetevogo-khozyajstva-20150812-180544&catid=2888](https://www.mrsk-sib.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=3824:informatsiya-o-rezultatakh-kontrolnykh-zamerov-elektricheskikh-parametrov-rezhimov-raboty-oborudovaniya-ob-ektov-elektrosetevogo-khozyajstva-20150812-180544&catid=2888) (02.03.2019).

4. Zakaryukin V., Kryukov A., Cherepanov A. Intelligent Traction Power Supply System // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport. EMMFT 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol 692. Springer, Cham. P. 91-99.

5. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Нгуен Ван Хуан. Применение прогностических регуляторов в установках распределенной генерации систем электроснабжения железных дорог // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. В 2-х тт. Т. 1. Иркутск: ИрГУПС, 2016. С. 573-578.

6. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2005. 273 с.

7. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Сетевые кластеры в системах электроснабжения железных дорог. Иркутск: ИрГУПС, 2015. 208 с.