УДК 621.3 DOI 10.14489/td.2021.05.pp.032-039

МОНИТОРИНГ И НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ С НКУ «КАСКАД»



B. A. Ипполитов, ООО «ТСН-электро», Нижний Новгород, Россия. E-mail: ippolitov72@mail.ru



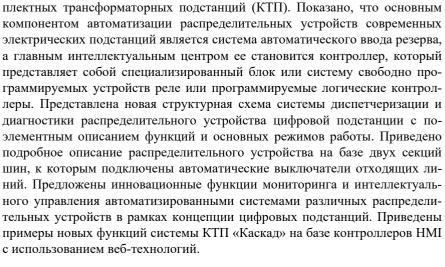
A. Б. Кононенко, ООО «ТСН-электро», Нижний Новгород, Россия. E-mail:speedf11@yandex.ru



A. A. Косоротов, ООО «ТСН-электро», Нижний Новгород, Россия. E-mail:andrey.kosorotov@ gmail.com



О. В. Крюков, д-р техн. наук, ООО «ТСН-электро», Нижний Новгород, Россия. E-mail:o.v.kryukov@mail.ru



Рассмотрены перспективы развития и внедрения новых технологий для расширения функциональных возможностей и надежности работы ком-

Ключевые слова: цифровая подстанция, распределительное устройство, автоматический ввод резерва, промышленный контроллер, интеллектуализация.

V. A. Ippolitov, A. B. Kononenko, A. A. Kosorotov, O. V. Kryukov (TSN-electro LLC, Nizhny Novgorod, Russia)

MONITORING AND NEW FUNCTIONALITY OF SWITCHGEARS OF TRANSFORMER SUBSTATIONS WITH LCD "CASCADE"

The prospects for the development and implementation of new technologies for expanding the functionality and reliability of complete transformer substations are considered. It is shown that the main component of automation of switchgears of modern electrical substations is the system of automatic input of the reserve, and the main intellectual center of it becomes the controller, which is a specialized unit or system of freely programmable relay devices or programmable logic controllers. A new block diagram of the dispatching and diagnostics system of the digital substation switchgear with an element-by-element description of the functions and main operating modes is presented. A detailed description of the switchgear based on two bus sections, to which the circuit breakers of the outgoing lines are connected, is given. Innovative functions of monitoring and intelligent control of automated systems of various switchgears within the framework of the concept of digital substations are proposed. Examples of new functions of the CTS "Cascade" system based on HMI controllers using web technologies are given.

Keywords: digital substation, switchgear, automatic reserve input, industrial controller, intellectualization.



Статья поступила в редакцию 24.02.2021

Received 24.02.2021

Современный этап развития систем электроснабжения промышленных предприятий характеризуется ежегодным увеличением спроса на электроэнергию с учетом Стратегии развития электросетевого комплекса РФ [1-3] и внедрением новых технологий автоматизации для повышения надежности и энергоэффективности ТЭК [4 – 7]. Это обусловливает поиск инновационных технологий на основе интеллектуализации всех составляющих, включая современные низковольтные (0,4 и 0,69 кВ) распределительные устройства (РУ) комплектных трансформаторных подстанций (КТП) [8 – 12]. Активное внедрение в энергетику сетевых технологий и увеличение доступности средств автоматизации низкого и среднего уровней связано с применением программируемых контроллеров и средств человеко-машинного интерфейса (ЧМИ), Human-Machine Interface (HMI).

Основным компонентом автоматизации распределительных устройств является система автоматического ввода резерва (АВР). Главным интеллектуальным центром ее является контроллер АВР, который представляет собой специализированный блок (например, БМРЗ-0,4 [13]) или систему свободно программируемых устройств (например, программируемые реле [14, 15] или программируемые логические контроллеры [16, 17]).

Уровни интеллектуализации АВР КРУ. Применение специализированных блоков АВР, таких как БМР3-0,4, OptiSave или Lovato ATL, сопряжено с определенными трудностями:

- в случае с блоками БМРЗ-0,4 и подобными это высокие стоимость и сложность интеграции;
- в случае с более простыми блоками отсутствие достаточно гибкой настройки под конкретные задачи, трудности в случае расширения функциональных возможностей вследствие невозможности вносить изменения в алгоритмы работы данных устройств. Кроме того, при повреждении входа или выхода устройства необходимо менять его целиком.

Использование программируемых реле позволяет реализовывать логику работы под каждую конкретную задачу, причем достаточно простыми программными средствами. Так же при наличии резерва можно перепрограммировать входы/выходы устройства в случае выхода их из строя. Практически все подобные устройства имеют на борту коммуникационные интерфейсы (Siemens Logo, «ОВЕН ПР200») или коммуникационные модули расширения (Zelio Logic) для передачи данных в системы диспетчеризации. Кроме этого программируемые реле имеют простой НМІ, который позволяет проводить первичную диагностику системы АВР и распределительного устройства в целом. Однако

использование программируемых реле подходит только для шкафов небольшой мощности и там, где не требуется серьезная диагностика работы электрооборудования.

Применение современных промышленных контроллеров среднего уровня автоматизации (сер. ПЛК210 «ОВЕН», М241, М251, М262 Schneider Electric, Siemens S7-1200, WAGO PFC200) позволяет существенно расширить возможности системы АВР распределительных устройств. Обладая достаточно серьезной производительностью, данные контроллеры берут на себя помимо задач непосредственно АВР еще и задачи организации телеизмерения и телеуправления, фиксации аварийных событий, а также взаимодействие с пользователем посредством НМІ. Именно такая перспективная идеология применена в системе автоматизированного мониторинга и диагностики КТП «Каскад» от компании «ТСН-электро» [18].

Описание системы диспетчеризации КТП «Каскад». Структура системы показана на рис. 1.

Рассматриваемое распределительное устройство представляет собой две секции шин, к которым подключены автоматические выключатели отходящих линий (ОЛ). Секции питаются либо от ввода через силовой трансформатор (Т1, Т2), либо от автоматизированных дизельных электрических станций (АДЭС1, АДЭС2). Защиту вводов осуществляют автоматические выключатели BB1 и BB2 (для вводов от трансформаторов) и АВ1, АВ2 (для вводов от АДЭС). Секционирование происходит через выключатель СВ. Контроль нормального напряжения осуществляют реле контроля напряжения (РКН), которые расположены на вводах и на секциях шин. Дополнительно на секциях шин могут быть предусмотрены устройства дуговой защиты (ДЗ) для оперативного отключения питания на секции шин при возникновении дуги. Защиту трансформаторов осуществляют устройства тепловой защиты ШТЗТ1 и ШТЗТ2. Для осуществления контроля температуры контактных соединений автоматических выключателей применяются датчики температуры, которые подключены к аналоговым модулям ввода (МВА).

Данные о состоянии электрооборудования распределительного устройства поступают в контроллер ABP и диспетчеризации [19 - 21]. Для этого используются различные каналы передачи информации:

1) дискретные сигналы состояния (состояние коммутационных аппаратов, РКН, блока ДЗ, аварийная температура трансформатора, состояние АДЭС и т.д.) и управления (включение, отключение автоматических выключателей, пуск и останов АДЭС);

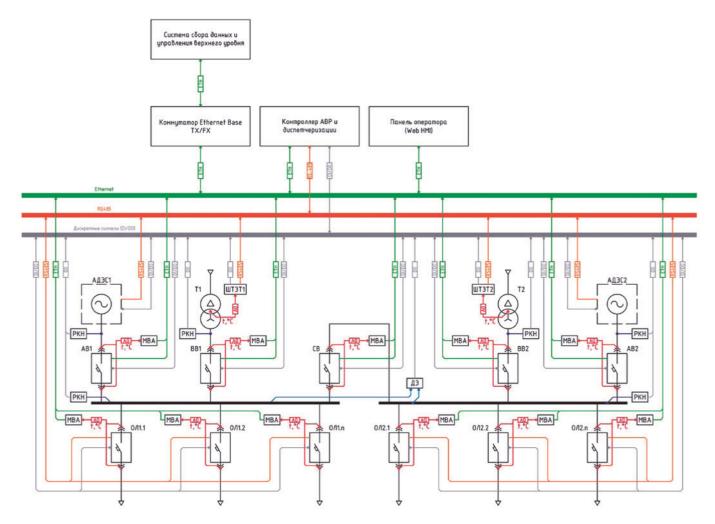


Рис. 1. Структурная схема системы диспетчеризации РУ «Каскад»

- 2) интерфейс RS-485 (температура обмоток трансформатора, измерения с электронных расцепителей аппаратов отходящих линий, дополнительная информация от АДЭС);
- 3) интерфейс Ethernet (данные с электронных расцепителей вводных и секционного автоматов, температура контактных соединений от блоков аналогового ввода) [22].

Для взаимодействия с пользователем (визуализация и изменение параметров работы системы) используется панель оператора, которая подключена к контроллеру посредством Ethernet. Для связи с системой верхнего уровня может быть установлен коммутатор (или маршрутизатор) с поддержкой интерфейса Ethernet как Base TX, так и Base FX (оптический канал).

Функциональные особенности системы. Главными приоритетными преимуществами новой системы «Каскад» является комплекс инновационных функций, которые дают синергетический эффект от применения КТП:

– визуализация данных на HMI с помощью веб-технологий;

- реализация различных алгоритмов системы ABP под существующие схемы энергосбережения;
- контроль температуры контактных соединений;
- журналы текущих неисправностей и журнал событий;
- самодиагностика алгоритма ABP и выявление неявных неисправностей;
- переназначение входов и выходов контроллера;
 - разграничение прав пользователей;
- интеграция в системы верхнего уровня по различным протоколам связи;
- применение стандартизованной среды разработки.
- *Визуализация данных на НМІ с помощью веб-технологий.* Состояние электрооборудования наглядно отображается на мнемосхеме (рис. 2).

При этом можно отслеживать состояние и положение коммутационных аппаратов распределительного устройства, состояние трансформаторов (температура и срабатывание защиты), наличие нормального напряжения на вводах и секциях шин,

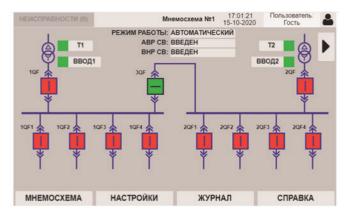


Рис. 2. Мнемосхема РУ-0,4 кВ

а также наличие и количество текущих неисправностей. НМІ разработан с применением вебинтерфейса и доступен как с панели оператора на самом распредустройстве, так может быть и отображен удаленно на ПК с любым веб-браузером с поддержкой HTML5, что позволяет проводить работы с контроллером даже при отключенной или же неисправной панели оператора.

➤ Реализация различных алгоритмов системы автоматического ввода резерва под существующие схемы энергоснабжения. Опираясь на многолетний опыт изготовления и внедрения КТП с системами АВР, авторами проработаны и проверены на практике алгоритмы, которые учитывают самые различные ситуации и схемы как аварийного ввода резерва, так и автоматического возврата нормального

режима. Гибкие настройки позволяют адаптировать программное обеспечение контроллера ABP посредством установки режимов подключения, отключения и переключения основных и резервных вводов, режимов пуска и останова АДЭС, приоритетов вводов, а также определения реакции блока ABP на выявление неисправностей (рис. 3). Все это позволяет с минимальными временными затратами корректировать алгоритм работы под конкретные нужды эксплуатационного персонала.

> Контроль температуры контактных соединений. Система диагностики КТП «Каскад» может комплектоваться датчиками температуры, которые устанавливаются на места контактных соединений коммутационных аппаратов в целях диагностики их состояния. Датчики подключаются к контроллеру системы диагностики посредством аналоговых модулей ввода-вывода. Контроллер оценивает абсолютное значение и динамику изменения температуры и в случае превышения критических параметров рассчитывает время до отключения коммутационного аппарата. При этом также выдается предупреждающий сигнал. По истечении данного времени происходит отключение автоматического выключателя для его защиты от теплового повреждения, а также недопущения пожара в шкафу распредустройства. Описанные действия системы диагностики и пороги уровней температуры задаются в настройках.

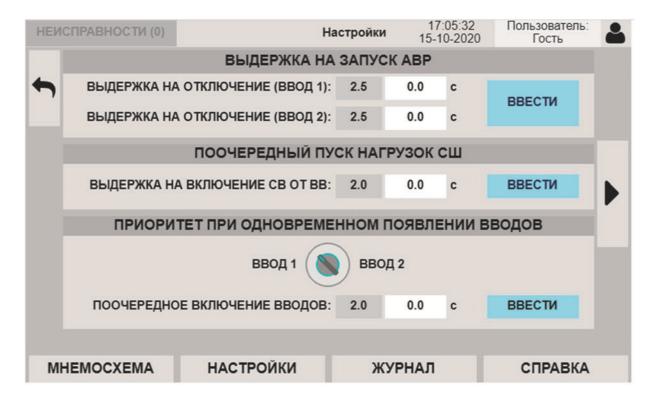


Рис. 3. Настройки АВР

НЕИСПРАВНОСТИ (3)		РУНН 0,4кВ	Неисправности 17:27 15-10-2		Пользователь: Гость		
	Дата и время	Подтверждение	Неисправность				
1	15-10-2020 17:24:09.003		1QF.Сработал расцепитель				
2	15-10-2020 17:24:03.008		2QF.Отключен AB опер. цепей 24 VDC				
3	15-10-2020 17:23:52.067		1QF.Отключен AB опер. цепей 24 VDC				
					КВИТИРОВАНИЕ		
N	HEMOCXEMA	НАСТРОЙКИ	ЖУР	НАЛ	СПРАВКА		

Рис. 4. Список (журнал) неисправностей

Журналы текущих неисправностей и журнал событий. Контроллер системы диагностики отслеживает и записывает во внутреннюю энергонезависимую память все события, связанные с изменением состояния электрооборудования, настроек системы, сменой пользователя (рис. 4, 5). Каж-

дому событию присваивается метка времени с точностью, привязанной ко времени скана контроллера. В отличие от журналов, основанных на базе стандартных НМІ, подобная реализация позволяет с высокой точностью отследить последовательность событий, которые привели к аварийной ситуации.

НЕИСПРАВНОСТИ (0)			Жур	нал событий	17:12:23 15-10-2020	Пользователь: Гость	2	
	Дата и время		Событие					
1	15-10-2020 16:58	8:34.057	СШ1.Напряжение восстановлено					
2	15-10-2020 16:58	8:34.057	1QF.Включен					
3	15-10-2020 16:58	8:34.031	СШ1.Напряжение отсутствует					
4	15-10-2020 16:58	8:34.031	3QF.Отключен					
5	15-10-2020 16:58	8:29.017	ВВ1.Напряжение восстановлено					
6	15-10-2020 16:58	8:06.009	СШ1.Напряжение восстановлено					
7	15-10-2020 16:58	8:06.009	3QF.Включен					
8	15-10-2020 16:58:06.009		Сработал АВР СВ					
9	15-10-2020 16:58:06.004		1QF.Отключен					
10	15-10-2020 16:58:03.008		СШ1.Напряже	СШ1.Напряжение отсутствует				
11	15-10-2020 16:58:03.008		ВВ1.Напряжение отсутствует					
12	15-10-2020 16:55:15.081		ABP CB введен				M	
M	МНЕМОСХЕМА НАСТРОЙКИ ЖУРНАЛ СПРАВКА							
IVI	MHEMOCXEMA HA		PONKN	ЖУРП	AJI	СПРАВКА		

Рис. 5. Журнал событий

Кроме журнала ведется и список текущих неисправностей, который также отображается в табличном виде, с указанием времени возникновения и квитирования.

- ▶ Самодиагностика алгоритма ABP и выявление неявных неисправностей. В некоторых случаях возможна ситуация, при которой контроллер АВР не выявил явных неисправностей оборудования, однако алгоритм отрабатывает некорректно или не полностью (как бы «зависает» на половине пути). Это может быть связано, например, с тем, что на контроллер не приходит сигнал, который в нормальных условиях приходил. Для упрощения поиска подобных неисправностей оперативным персоналом реализована возможность просмотра каких же условий, недостаточных для перехода алгоритма на следующий шаг. Открыв данную таблицу, персоналу, прибывшему разобраться в ситуации, гораздо легче понять, в чем проблема, что существенно сокращает время на ее поиск и устранение.
- ➤ Переназначение входов и выходов контроллера. В случае выявления неисправности входа или выхода контроллера имеется возможность переназначения неисправного канала на неиспользуемый (резервный) вход или выход (рис. 6). Это позволяет оперативно исправлять подобные неисправности без перепрограммирования контроллера. Так же подобная функция полезна в процессе эксплуатации и наладки на объекте заказчика.
- ▶ Разграничение прав пользователей. Для ограничения доступа к настройкам системы диагностики

- предусмотрена система прав пользователей. Например, пользователям из группы «Операторы» доступен только мониторинг и переключение режимов работы, инженеру изменение временных уставок, а администратор дополнительно к этому имеет возможность изменять назначение входов и выходов, а также редактировать учетные записи пользователей.
- № Интеграция в системы верхнего уровня по различным протоколам связи. Система диагностики «Каскад» поддерживает передачу данных по протоколам связи ModBus RTU, ModBus TCP [23], МЭК 60870-5-104 [24], МЭК 60870-5-101 [25], МЭК 61850-8-1 (ММЅ) [26] в зависимости от выбранной платформы ПЛК (программируемых логических контроллеров). Так же контроллер может служить концентратором данных и преобразователем протоколов, собирая данные от других устройств подстанции, например от системы нагружения и испытаний [17, 27], а также от устройств тепловой защиты трансформаторов.
- ➤ Применение стандартизированной среды разработки. Для разработки и отладки программного обеспечения системы диагностики «Каскад» используются программные продукты на базе системы программирования для ПЛК CODESYS 3.5 с использованием языков программирования, описанных стандартом МЭК 61131-3 [28]. Применение единой среды разработки позволяет легко переносить программные модули между платформами ПЛК разных производителей и ускоряет миграцию решений между ними.

НЕИСПРАВНОСТИ (3) РУНН 0,4кВ			Настройки			17:26:53 15-10-2020	Пользователь: Гость	4	
Вход	Уст.	(№ выхода по схеме) Сигнал			Вход	Уст.	(№ выхода по схеме) Сигнал		
I 1	1.0.1	(0.1)1QF.Включен			I 13	1.0.13	(0.13)2QF.Вкачен		
I 2	1.0.2	(0.2)1QF.Отключен			I 14	1.0.14	(0.14)2QF.Выкачен		
I3	1.0.3	(0.3)1QF.Аварийно отключен			I 15	1.0.15	(0.15)2QF.Готовность к включению		
I 4	1.0.4	(0.4)1QF.Вкачен			I 16	1.0.16	(0.16)BB2.Напряжение на вводе исправно		
I 5	1.0.5	(0.5)1QF.Выкачен			I 17	1.0.17	(0.17)СШ2.Напряжение на СШ исправно		
I 6	1.0.6	(0.6)1QF.Готовность к включению			I 18	1.0.18	(0.18)Тр2.Аварийная температура		
I7	1.0.7	(0.7)ВВ1.Напряжение на вводе исправно			I 19	1.0.19	(0.19)3QF.Включен		
IS	1.0.8	(0.8)СШ1.Напряжение на СШ исправно			I 20	1.0.20	(0.20)3QF.Отключен		
19	1.0.9	(0.9)Тр1.Аварийная температура			I 21	1.0.21	(0.21)3QF.Аварийно отключен		
I 10	1.0.10	(0.10)2QF.Включен			I 22	1.0.22	(0.22)3QF.Вкачен		
I 11	1.0.11	(0.11)2QF.Отключен		~	I 23	1.0.23	(0.23)3QF.Выкачен		~
I 12	1.0.12	(0.12)2QF.Аварийно отключен		~	I 24	1.0.24	(0.24)3QF. Готовность к включению		~
← Дискретные входа ПЛК А1.0 (ТМ241C)				41CE	40R)	•	HAS	ВНАЧЕНИЕ ВХОДОВ	
MH	мнемосхема настройки				журнал справк			СПРАВКА	

Рис. 6. Переназначение входов и выходов

Выводы. Внедрение системы диагностики «Каскад» позволяет продлить срок службы электрооборудования КТП за счет предупреждения аварийных ситуаций, а в случае их возникновения — за счет своевременной реакции на них. Кроме того, облегчается поиск причин неполадок (как явных, так и скрытых) оперативным персоналом, упрощается наладка и ввод оборудования в строй. Широкие коммуникационные возможности позволяют интегрировать систему диагностики в комплекс управления производством предприятия.

Библиографический список

- 1. Стратегия развития электросетевого комплекса РФ: утв. распоряжением Правительства РФ от 3 апреля 2013 г. № 511-р: в ред. постановления Правительства РФ от 29 ноября 2017 г. № 2664-р // Собр. законодательства РФ. 2017. № 49. С. 21027 21029.
- 2. **Крюков О. В., Серебряков А. В.** Активно-адаптивные алгоритмы управления и мониторинга автономными энергетическими комплексами // Пром-Инжиниринг. Тр. II МНТК. Челябинск: ЮУрГУ, 2016. С. 286 290.
- 3. **Крюков О. В., Степанов С. Е., Серебряков А. В.** Современный подход к организации ремонта по данным прогноза технического состояния и ресурса электрооборудования // Газовая промышленность. 2017. № 8(756). С. 84 89.
- 4. **Программа** инновационного развития ПАО «ФСК ЕЭС» на 2016 2020 годы с перспективой до 2025 года. [Электронный ресурс] М.: ФСК ЕЭС, 2016. URL: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/2_2016_PIR_FSK-2016-2020-2025.pdf
- 5. **Крюков О. В.** Синтез и анализ агрегатов КС при стохастических возмущениях // Электротехника. 2013. № 3. С. 22 27.
- 6. Васенин А. Б., Крюков О. В. Энергоэффективные и экологичные установки воздушного охлаждения // Великие реки' 2017: тр. науч. конгресса 19-го МНПФ. НГАСУ, 2017. С. 93-96.
- 7. **Крюков О. В.** Алгоритмы быстрого преобразования Уолша в микропроцессорных системах управления // Известия вузов. Электромеханика. 2005. № 4. С. 39 44.
- 8. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью. [Электронный ресурс] М.: ФСК ЕЭС, 2012. URL: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf
- 9. Воронков В. И., Рубцова И. Е., Крюков О. В. Электроснабжение и электрооборудование линейных потребителей МГ // Газовая промышленность. 2010. № 3. С. 32-37.
- 10. **Репин Д. Г., Крюков О. В.** Концепты системы мониторинга технического состояния компрессорных станций // Контроль. Диагностика. 2017. № 12. С. 30 35.
- 11. **Крюков О. В., Степанов С. Е.** Модернизация систем управления ЭГПА в условиях действующих подстанций // Проблемы автоматизации и управления в технических системах: МНТК / под ред. М. А. Щербакова. 2013. С. 29 32.
- 12. **Kryukov O. V., Gulyaev I. V., Teplukhov D. Y.** Method for stabilizing the operation of synchronous machines

- using a virtual load sensor // Russian Electrical Engineering. 2019. V. 90. No. 7. C. 473 478.
- 13. Принципиальные электрические схемы защиты и автоматики присоединений 0,4 кВ для КТП-10(6)/0,4 на постоянном оперативном токе, выполненных с применением блоков серии БМР3-0,4: TИ-031-2018. URL: https://www.mtrele.ru/files/project/albom_shem_zasch_i_avto_prisoed_04 pot s primeneniem bmrz-04.pdf
- 14. **Техническая коллекция** Schneider Electric. Вып. № 18. Типовые схемы ABP с применением интеллектуального программируемого реле Zelio Logic. [Электронный ресурс]. URL: http://www.netkom.by/docs/N18-Tipovye-shemy-AVR-s-primeneniem-Zelio-Logic.pdf
- 15. Kryukov O. V., Blagodarov D. A., Dulnev N. N. et al. Intelligent control of electric machine drive systems // 10th International Conference on Electrical Power Drive Systems, ICEPDS 2018: Proceedings, 2018. P. 8571670.
- 16. **Типовое решение** ABP. [Электронный ресурс]. URL: https://schneider-electric.app.box.com/s/p25u8feunpu 42fflpoi80mlg54cof641/file/308512304640
- 17. **Крюков О. В., Леонов В. П., Федоров О. В.** Применение микропроцессорной техники в нагружающих устройствах // Двигателестроение. 1987. № 7. С. 37 43.
- 18. **Реализованные проекты** ООО «ТСН-электро». URL: https://www.tcn-nn.ru/
- 19. **Крюков О. В.** Мониторинг условий эксплуатации электрооборудования ГПА // Контроль. Диагностика. 2016. N 12. С. 50 - 58.
- 20. **Kryukov O. V., Serebryakov A. V.** Energy efficient power supply systems of oil and gas pipelines electric drives // Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering. 2017. V. 17. No. 3. P. 102 110.
- 21. **Крюков О.** В. Методология и средства нейронечеткого прогнозирования состояния электрооборудования // Электротехника. 2012. \mathbb{N}_2 9. С. 52 60.
- 22. **Крюков О. В.** Коммуникационная среда передачи данных сети ETHERNET на полевом уровне различных объектов // Автоматизация в промышленности. 2012. № 12. С. 26 30.
- 23. **Modbus application** protocol specification V1.1b3. [Электронный ресурс]. URL: https://modbus.org/docs/Modbus Application Protocol V1 1b3.pdf
- 24. ГОСТ Р МЭК 60870-5-104-2004. Устройства и системы телемеханики. 4.5. Протоколы передачи. Раздел 104. Доступ к сети для ГОСТ Р МЭК 870-5-101 с использованием стандартных транспортных профилей. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-r-mek-60870-5-104-2004.
- 25. **ГОСТ Р МЭК 60870-5-101–2006.** Устройства и системы телемеханики. 4.5. Протоколы передачи. Раздел 101. Обобщающий стандарт по основным функциям телемеханики. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-r-mek-60870-5-101-2006
- 26. **ГОСТ Р МЭК 61850-7-1–2009.** Сети и системы связи на подстанциях. Ч. 7. Базовая структура связи для подстанций и линейного оборудования. Раздел 1. Принципы и модели. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200082215
- 27. **Крюков О. В.** Автоматизированное нагружающее устройство для комплексных испытаний поршневых двигателей // Двигателестроение. 2016. № 2. С. 30 35.
- 28. **ГОСТ Р МЭК 61131-3–2016.** Контроллеры программируемые. Ч. 3. Языки программирования. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200135008

References

- 1. Development strategy for the power grid complex of the Russian Federation. Collection of legislation of the Russian Federation, 49, pp. 21027 21029. [in Russian language]
- Federation, 49, pp. 21027 21029. [in Russian language]
 2. Kryukov O. V., Serebryakov A. V. (2016). Active-adaptive algorithms for control and monitoring of autonomous energy complexes. Prom-Engineering. Proceedings of the II MNTK, pp. 286 290. Chelyabinsk: YuUrGU. [in Russian language]
- 3. Kryukov O. V., Stepanov S. E., Serebryakov A. V. (2017). Modern approach to the organization of repairs according to the forecast of the technical condition and resource of electrical equipment. *Gazovaya promyshlennost'*, 756(8), pp. 84 89. [in Russian language]
- 4. Innovative development program of FGC UES PJSC for 2016 2020 with a perspective until 2025. (2016). Moscow: FSK EES. Available at: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/2_2016_PIR_FSK-2016-2020-2025.pdf [in Russian language]
- 5. Kryukov O. V. (2013). Synthesis and analysis of CS aggregates under stochastic disturbances. *Elektrotekhnika*, (3), pp. 22 27. [in Russian language]
- 6. Vasenin A. B., Kryukov O. V. (2017). *Energy efficient and environmentally friendly air cooling units*. Great Rivers' 2017: proceedings of the scientific congress of the 19th MNPF, pp. 93 96. NGASU. [in Russian language]
- 7. Kryukov O. V. (2005). Fast Walsh transform algorithms in microprocessor control systems. *Izvestiya vuzov*. *Elektromekhanika*, (4), pp. 39 44. [in Russian language]
- 8. The main provisions of the concept of an intelligent power system with an active-adaptive grid. (2012). Moscow: FSK EES. Available at: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf [in Russian language]
- 9. Voronkov V. I., Rubtsova I. E., Kryukov O. V. (2010). Power supply and electrical equipment for linear consumers of MG. *Gazovaya promyshlennost'*, (3), pp. 32 37. [in Russian language]
- 10. Repin D. G., Kryukov O. V. (2017). Concepts of system of monitoring of technical condition of gas-compressor stations. *Kontrol'*. *Diagnostika*, (12), pp. 30 35. [in Russian language] DOI: 10.14489/td.2017.12.pp.030-035
- 11. Shcherbakov M. A. (Ed.), Kryukov O. V., Stepanov S. E. (2013). *Modernization of EGPU control systems in the conditions of existing substations*. Automation and control problems in technical systems: MNTK, pp. 29 32. [in Russian language]
- 12. Kryukov O. V., Gulyaev I. V., Teplukhov D. Y. (2019). Method for stabilizing the operation of synchronous machines using a virtual load sensor. *Russian Electrical Engineering, Vol. 90*, (7), pp. 473 478.
- 13. Basic electrical circuits of protection and automation of 0.4 kV connections for KTP-10 (6) / 0.4 at direct operating current, made using blocks of the BMRZ-0.4 series: TI-031–2018. Available at: https://www.mtrele.ru/files/project/albom_shem_zasch_i_avto_prisoed_04_pot_s_primeneniem_bmr z-04.pdf [in Russian language]

- 14. Schneider Electric technical collection. Issue No. 18. Typical ATS circuits using intelligent programmable relay Zelio Logic. Available at: http://www.netkom.by/docs/N18-Tipovye-shemy-AVR-s-primeneniem-Zelio-Logic.pdf [in Russian language]
- 15. Kryukov O. V., Blagodarov D. A., Dulnev N. N. et al. (2018). *Intelligent control of electric machine drive systems*. 10th International Conference on Electrical Power Drive Systems, ICEPDS 2018: Proceedings.
- 16. ATS typical solution. Available at: https://schneiderelectric.app.box.com/s/p25u8feunpu42fflpoi80mlg54cof641/file/308512304640 [in Russian language]
- 17. Kryukov O. V., Leonov V. P., Fedorov O. V. (1987). The use of microprocessor technology in loading devices. *Dvigatelestroenie*, (7), pp. 37 43. [in Russian language]
- 18. Completed projects of TSN-electro LLC. Available at: https://www.tcn-nn.ru/ [in Russian language]
- 19. Kryukov O. V. (2016). Monitoring of operating conditions of electric motors of gas-compressor units. *Kontrol'*. *Diagnostika*, (12), pp. 50 58. [in Russian language] DOI: 10.14489/td.2016.12.pp.050-058
- 20. Kryukov O. V., Serebryakov A. V. (2017). Energy efficient power supply systems of oil and gas pipelines electric drives. *Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering, Vol. 17*, (3), pp. 102 110.
- 21. Kryukov O. V. (2012). B. Methodology and means of neuro-fuzzy prediction of the state of electrical equipment. *Elektrotekhnika*, (9), pp. 52 60. [in Russian language]
- 22. Kryukov O. V. (2012). Communication medium of data transmission of the ETHERNET network at the field level of various objects. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti,* (12), pp. 26 30. [in Russian language]
- 23. Modbus application protocol specification V1.1b3. Available at: https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf
- 24. Telemechanics devices and systems. 4.5. Transfer protocols. Section 104. Network access for GOST R IEC 870-5-101 using standard transport profiles. *Ru Standard No. GOST R MEK 60870-5-104–2004*. Available at: http://docs.cntd.ru/document/gost-r-mek-60870-5-104-2004 [in Russian language]
- 25. Telemechanics devices and systems. 4.5. Transfer protocols. Section 101. Generalizing standard for the main functions of telemechanics. *Ru Standard No. GOST R MEK 60870-5-101–2006*. Available at: http://docs.cntd.ru/document/gost-rmek-60870-5-101-2006 [in Russian language]
- 26. Communication networks and systems at substations. Part 7. Basic communication structure for substations and line equipment. Section 1. Principles and Models. *Ru Standard No. GOST R MEK 61850-7-1–2009*. Available at: http://docs.cntd.ru/document/1200082215 [in Russian language]
- 27. Kryukov O. V. (2016). Automated loading device for complex tests of piston engines. *Dvigatelestroenie*, (2), pp. 30 35. [in Russian language]
- 28. Controllers are programmable. Part 3. Programming languages. *Ru Standard No. GOST R MEK 61131-3–2016*. Available at: http://docs.cntd.ru/document/1200135008

Для цитирования статьи:

Ипполитов В. А., Кононенко А. Б., Косоротов А. А., Крюков О. В. Мониторинг и новые функциональные возможности распределительных устройств трансформаторных подстанций с НКУ «Каскад» // Контроль. Диагностика. 2021. Т. 24, № 5. С. 32 - 39. DOI 10.14489/td.2021.05.pp.032-039

Use the reference below to cite the publication:

Ippolitov V. A., Kononenko A. B., Kosorotov A. A., Kryukov O. V. (2021). Monitoring and new functionality of switch-gears of transformer substations with low-voltage package module "Cascade". *Kontrol'. Diagnostika, Vol. 24*, (5), pp. 32 – 39. [in Russian language]. DOI 10.14489/td.2021.05.pp.032-039