

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ КТП «КАСКАД»

С.Е. СТЕПАНОВ, А.Б. ВАСЕНИН (ООО «Газпром проектирование», г. Н. Новгород),
А.Б. КОНОНЕНКО, А.А. КОСОРОТОВ, О.В. КРЮКОВ
(ООО «ТСН-электро», г. Н. Новгород)



Рассмотрены перспективы интеллектуализации и расширения функциональных возможностей цифровых подстанций путем проектирования и внедрения новых технологий для превентивного мониторинга и активно-адаптивного управления электросетями на стороне среднего и низкого напряжения. Предложены инновационные функции обслуживания щитового электрооборудования на базе автоматизированных систем АВР распределительных устройств в рамках концепции Smart Grid. Приведены примеры новых функций системы КТП «Каскад» на базе контроллеров HMI с использованием веб-технологий, обеспечивающих реализацию систем принятия решений.

Ключевые слова: цифровая подстанция; распределительное устройство; автоматический ввод резерва; щитовое электрооборудование; интеллектуализация.

ВВЕДЕНИЕ

Главным направлением развития современных систем электроэнергетики и внедрение новых технологий автоматизации для повышения надежности и энергоэффективности ТЭК [1-4] является дальнейшее повышение уровня интеллектуализации цифровых подстанций для расширения их функциональных возможностей на всех этапах развития [5-8].

Это обуславливает поиск инновационных технологий всех составляющих с применением программируемых контроллеров, включая современные низковольтные (0,4 и 0,69 кВ) распределительные устройства комплектных трансформаторных подстанций (КТП) [9-12].

Основным компонентом автоматизации комплектных распределительных устройств (КРУ) (рис. 1) является система автомати-

Рис. 1.
Технологии сборки
и наладки КРУ





Рис. 2. Структура концепции интеллектуальной электроэнергетики

ческого ввода резерва (АВР). Главным интеллектуальным центром ее является контроллер АВР, который представляет собой специализированный блок [13-16] или систему свободно программируемых устройств [17-20], обеспечивающих активное внедрение в энергетику сетевых технологий и рост доступности средств автоматизации на базе человеко-машинного интерфейса.

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВЫХ КТП В СИСТЕМЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Главные составляющие стратегии новой концепции электроэнергетики России показаны на рис. 2. Критериями цифровой подстанции являются [21-24]:

- наблюдаемость параметров и режима работы силового электрооборудования и вторичных систем;
- управляемость всеми технологическими процессами в режиме реального времени посредством цифровых систем связи и оборудования, обеспечивающего поддержку протоколов, утвержденных стандартами МЭК;
- самодиагностика всех силовых аппаратов и вторичных систем;
- цифровой обмен данными между всеми технологическими системами;

- интеллектуальное или активно-адаптивное управление режимом работы силового электрооборудования и вторичных систем с учетом режимов прилегающей электрической сети и внутренних технологических процессов.

Вопросы, решаемые цифровой подстанцией [25-28]:

1. Унификация информационных протоколов обмена данными, обеспечение способности к взаимодействию устройств, сокращение кабельного хозяйства вследствие применения необслуживаемых волоконно-оптических соединений.
2. Обеспечение наблюдаемости каналов сбора и передачи информации и управления, снижение метрологических потерь во вторичных цепях, упрощение способов тиражирования первичной информации.
3. Применение устройств с обновляемым ПО, унификация механизмов конфигурирования подстанции, формирование единой удаленной системы диагностики, переход к необслуживаемым подстанциям.

Наличие в проектируемых цифровых подстанциях последних из отмеченных критериев и решаемых вопросов (отмечены курсивом) переводят их в категорию интеллектуальных подстанций, поскольку обеспечивают успешную реализацию всех функций систем принятия решений.



Рис. 3. Систематизация сетевых, внутренних и потребительских возможностей НКУ семейства “Каскад”

Основными **экономическими** преимуществами цифровых КТП являются:

- Автоматическое управление подстанцией без участия оперативного персонала с АРМ диспетчера со снижением затрат на обслуживание до 30 %.
- Сокращение длительности перерывов в электроснабжении потребителей в аварийных режимах работы с уменьшением недоотпуска электроэнергии.
- Увеличение точности измерений (особенно при токах менее 10-15 % $I_{ном}$) с улучшением учета и точности определения мест повреждения.
- Снижение потребления по цепям переменного тока и напряжения вследствие применения оптических измерительных трансформаторов.
- Самодиагностика и дистанционный мониторинг электрооборудования, ТОиР по фактическому состоянию и снижение затрат на обслуживание.
- Упрощение электромагнитной совместимости цепей, применение ВОС.

Основными **технологическими** преимуществами цифровых КТП являются:

- Типизация и автоматизация проектных решений со снижением времени и трудоемкости проектирования.

- Поставка оборудования в полной заводской готовности со снижением времени и затрат на строительные-монтажные и пусконаладочные работы (СМР и ПНР).
- Повышение безопасности из-за отсутствия электрических связей между первичными и вторичными цепями в электрооборудовании.
- Сокращение возможности появления дефектов типа “земля в сети постоянного тока” благодаря снижению размерности системы оперативного постоянного тока (СОПТ) при использовании цифровых оптических связей.
- Исключение ошибочных действий персонала, производящих оперативные переключения на подстанции, и снижение травматизма вследствие видеоконтроля.
- Автоматическая фиксация и контроль всех действий в журнале событий.
Существующие пока недостатки:
- Отсутствие единой нормативно-технической документации на проектирование.
- Недостаточно реализованы проблемы информационной безопасности.
- Применение собственных профилей сигналов диагностики у производителей согласно МЭК 618508.1, которые требуют адаптации.

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КРУ В РАМКАХ ЦИФРОВЫХ КТП

Рассмотрим реализацию отмеченных выше возможностей цифровых подстанций на примере низковольтных комплектных устройств распределения и управления (НКУ) семейства “Каскад” (рис. 3) [29-34].

В настоящее время основной проблемой электроснабжения по первичной стороне питания от центральных сетей является низкое качество параметров амплитуды и частоты напряжения переменного тока. Следствием его становятся нарушения технологического процесса, перекося фаз, снижение ресурса изоляции, а также аварийные режимы электрооборудования. Вместе с тем, Государственная программа РФ “Энергоэффективность и развитие энергетики”, Федеральный закон № 35-ФЗ “Об электроэнергетике” и “Стратегия развития электросетевого комплекса РФ” требуют строгого обеспечения качественного и экономически обоснованного снабжения потребителей электроэнергией со стандартными значениями параметров напряжения. Это может быть достигнуто либо внедрением управляемых электрических сетей нового поколения, либо развитием источников распределенной генерации, что предполагает создание систем электроснабжения среднего и низкого напряжений с автоматизированными узлами регулирования напряжения и потоков мощности (АРНМ).

В этой связи на энергетическом уровне цифровых подстанций возможна реализация технологий Smart Grid в электрических сетях 0,4-20 кВ по принципам:

- технологии D-FACTS с помощью энергоэффективных силовых трансформаторов, устройств регулирования потоков мощности, автоматизированных КТП с цифровым управлением, тиристорных регуляторов напряжения и устройств продольно-поперечной компенсации;
- технологии Micro Grid с использованием новых накопителей электроэнергии, генерирующих установок на основе ВИЭ, виртуальных электростанций и систем SCADA, EMS, DMS, Web-технологий и биллинговых систем.

На рис. 4 показан пример построения цифровой подстанции 10/0,4 кВ с тиристорным регулятором напряжения (ТРН), обеспечивающий реализацию технологической системы управления (ТСУ) на базе активно-адаптивной системы управления (ААСУ) в распределенной системе мониторинга и управления (РСМУ).

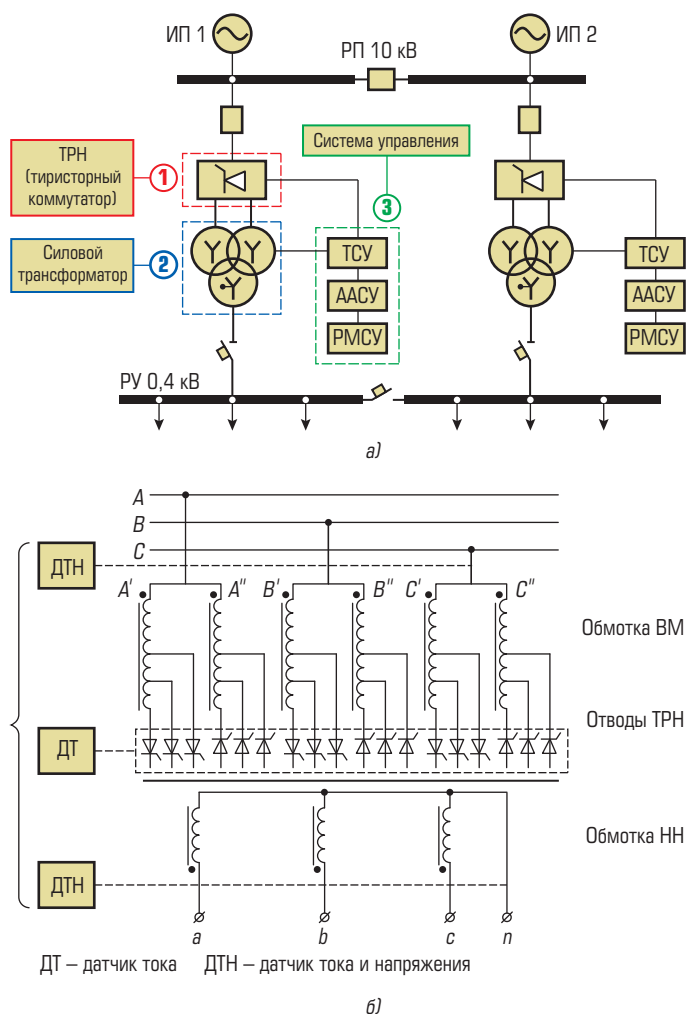


Рис. 2. Структура концепции интеллектуальной электроэнергетики

Технические характеристики электрооборудования КТП:

1	КТ-400/10 Диапазон регулирования напряжения ± 5 %; Время отклика на внешнее возмущение 20 мс; Время срабатывания защиты 20 мс; КЦД (не менее) 92 %; Способ регулирования напряжения дискретный импульсно-фазовый.
2	ТСЭН-400/10 Номинальная мощность $S_{ном} = 400 \text{ кВ}\cdot\text{А}$; Номинальное напряжение ВН $U_{ВН} = 10,5 \text{ кВ}$; Номинальное напряжение НН $U_{НН} = 0,4 \text{ кВ}$; Потери холостого хода $\Delta P_x = 0,96 \text{ кВт}$; Потери короткого замыкания $\Delta P_k = 4,31 \text{ кВт}$; Напряжение КЗ $U_{к, \%} = 5,4 \%$; Ток холостого хода $I_x = 1,8 \%$; Схема соединения обмоток $Y-Y/Y_n$.

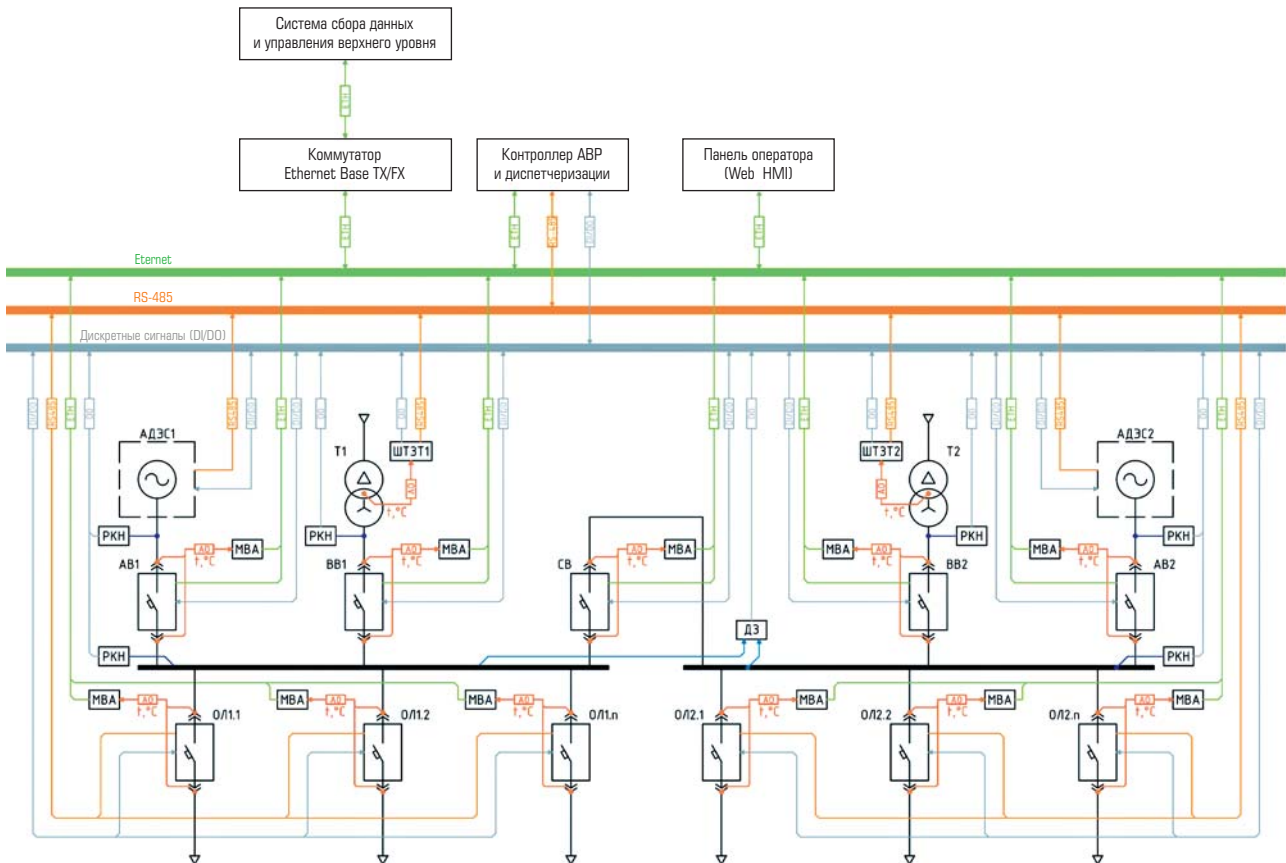


Рис. 5. Структурная схема системы диспетчеризации НКУ "Каскад"

Применение современных промышленных контроллеров среднего уровня автоматизации (серия ПЛК210 "ОВЕН", M241, M251, M262 "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 HMI. Именно такая перспективная идеология применена в системе автоматизированного мониторинга и диагностики КТП "Каскад" от компании ООО "ТСН-электро".

СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ НКУ С ПО "КАСКАД SOFT" КАК ПЛАТФОРМА ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Структура системы показана на рис. 5.

Рассматриваемое распределительное устройство представляет собой две секции шин, к которым подключены автоматические выключатели отходящих линий (ОЛ). Секции питаются либо от ввода через силовой транс-

форматор (Т1, Т2), либо от автоматизированных дизельных электрических станций (АДЭС1, АДЭС2). Защиту вводов осуществляют автоматические выключатели ВВ1 и ВВ2 (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 секции шин. Дополнительно, на секциях шин могут быть предусмотрены устройства дуговой защиты 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 АВР и диспетчеризации. 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

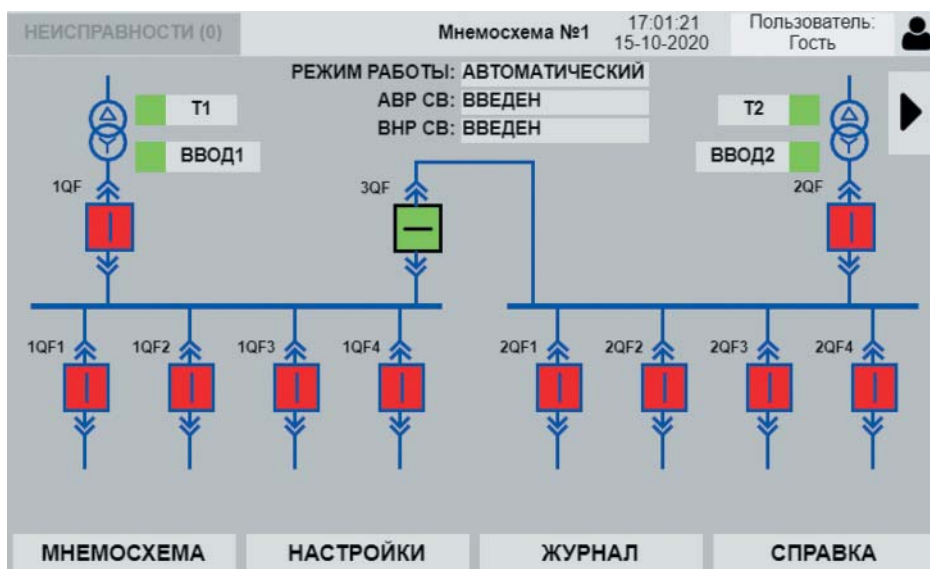


Рис. 6.
Мнемосхема
КРУ-0,4 кВ

(включение, отключение автоматических выключателей, пуск и останов АДЭС).

- Интерфейс RS-485 (температура обмоток, измерения с электронных расцепителей аппаратов отходящих линий, дополнительная информация от АДЭС).
- Интерфейс Ethernet (данные с электронных расцепителей вводных и секционного автоматов, температура контактных соединений от аналоговых блоков).

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). Применение единой среды для разработки системы автоматизации позволяет легко переносить программные модули между платформами программируемых контроллеров разных производителей – это ускоряет миграцию решений между ними, что позволяет разработать и внедрить систему, отвечающую всем требованиям клиента. Широкие коммуникационные возможности позволяют интегрировать АСУ в системы верхнего уровня по различным протоколам связи.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ

Поскольку “Каскад Soft” является универсальным, мультибрендовым, гибким к будущим изменениям ПО, при разработке можно реализовать требуемые алгоритмы системы

АВР под различные схемы электроснабжения и в любое время можно осуществить перенастройку или расширение системы автоматизации, дополнив необходимыми функциями.

Главными приоритетными преимуществами новой системы “Каскад” является комплекс инновационных функций, которые дают синергетический эффект от применения цифровых КТП:

- Визуализация данных на НМИ при помощи веб-технологий. Состояние электрооборудования наглядно отображается на мнемосхеме (рис. 6).

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, а также наличие и количество текущих неисправностей. НМИ разработан с применением веб-интерфейса и доступен как с панели оператора на самом распределительном устройстве, так и может быть 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 автоматами проработаны и проверены на прак-

тике 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 АВР посредством установки режимов подключения, отключения и переключения основных и резервных вводов, режимов пуска и останова АДЭС, приоритетов вводов, а также определения реакции блока АВР на выявление неисправностей. 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, с целью 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 распределительного устройства. Описанные выше действия системы диагностики и пороги уровней температуры задаются в настройках.
- *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. Каждому событию присваивается метка времени с точностью, привязанной ко времени скана контроллера. В отличие от журналов, основанных на базе стандартных НМИ, подобная реализация позволяет с высокой точностью отследить последовательность событий, которые привели к аварийной ситуации. Кроме журнала ведется и список текущих неис-

правностей, который также отображается в табличном виде, со временем возникновения и квитирования.

- *Самодиагностика алгоритма АВР и выявление неявных неисправностей.* В некоторых случаях может произойти ситуация при которой, контроллер АВР не выявил явных неисправностей оборудования, однако алгоритм обрабатывает 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. С целью упростить поиск подобных неисправностей для оперативного персонала, реализована возможность просмотра каких же условий недостаточно 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. 7).

Это позволяет оперативно исправлять подобные неисправности без перепрограммирования контроллера. Также 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 Mod-Bus RTU, ModBus TCP, МЭК 60870-5-104, МЭК 60870-5-101, МЭК 61850-8-1 (MMS) в зависимости от выбранной платформы

НЕИСПРАВНОСТИ (3)		РУНН 0,4кВ		Настройки		17:26:53 15-10-2020		Пользователь: Гость	
Вход	Уст.	(№ выхода по схеме) Сигнал		Вход	Уст.	(№ выхода по схеме) Сигнал			
I 1	<input type="checkbox"/>	1.0.1	(0.1)1QF.Включен	I 13	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.13	(0.13)2QF.Вкачен		
I 2	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.2	(0.2)1QF.Отключен	I 14	<input type="checkbox"/>	1.0.14	(0.14)2QF.Выкачен		
I 3	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.3	(0.3)1QF.Аварийно отключен	I 15	<input type="checkbox"/>	1.0.15	(0.15)2QF.Готовность к включению		
I 4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.4	(0.4)1QF.Вкачен	I 16	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.16	(0.16)ВВ2.Напряжение на вводе исправно		
I 5	<input type="checkbox"/>	1.0.5	(0.5)1QF.Выкачен	I 17	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.17	(0.17)СШ2.Напряжение на СШ исправно		
I 6	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.6	(0.6)1QF.Готовность к включению	I 18	<input type="checkbox"/>	1.0.18	(0.18)Тр2.Аварийная температура		
I 7	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.7	(0.7)ВВ1.Напряжение на вводе исправно	I 19	<input type="checkbox"/>	1.0.19	(0.19)3QF.Включен		
I 8	<input type="checkbox"/>	1.0.8	(0.8)СШ1.Напряжение на СШ исправно	I 20	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.20	(0.20)3QF.Отключен		
I 9	<input type="checkbox"/>	1.0.9	(0.9)Тр1.Аварийная температура	I 21	<input type="checkbox"/>	1.0.21	(0.21)3QF.Аварийно отключен		
I 10	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.10	(0.10)2QF.Включен	I 22	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.22	(0.22)3QF.Вкачен		
I 11	<input type="checkbox"/>	1.0.11	(0.11)2QF.Отключен	I 23	<input type="checkbox"/>	1.0.23	(0.23)3QF.Выкачен		
I 12	<input type="checkbox"/>	1.0.12	(0.12)2QF.Аварийно отключен	I 24	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.24	(0.24)3QF. Готовность к включению		

Дискретные входы ПЛК А1.0 (ТМ241СЕ40R)

НАЗНАЧЕНИЕ ВХОДОВ

МНЕМОСХЕМА НАСТРОЙКИ ЖУРНАЛ СПРАВКА

Рис. 7. Переназначение входов и выходов

ПЛК. Также контроллер может служить концентратором данных и преобразователем протоколов, собирая данные от других устройств подстанции, например, от системы отопления и вентиляции, 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. Использование единой среды разработки позволяет легко переносить программные модули между платформами ПЛК разных производителей и ускоряет миграцию решений между ними.

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 непо-

ладок (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.

Список литературы

1. *Воронков В.И., Рубцова И.Е., Крюков О.В.* Электроснабжение и электрооборудование линейных потребителей МГ // Газовая промышленность. 2010, № 3, с. 32-37.
2. *Крюков О.В., Серебряков А.В.* Экологические направления электроснабжения и задачи энергосбережения при реконструкции объектов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2015, № 8, с. 23-33.
3. *Крюков О.В.* Оптимальное управление технологическим процессом магистрального транспорта газа // В сборнике: XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2014, с. 4602-4613.
4. *Васенин А.Б., Степанов С.Е., Крюков О.В., Титов В.Г.* Реализация капсулированных электроприводных ГПА на объектах ПАО “Газпром” // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2020, т. 63, № 1, с. 31-37.

5. *Серебряков А.В., Крюков О.В.* Интеллектуальные энергетические установки для автономных систем электроснабжения // Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014, 135 с.
6. *Kryukov O.V., Blagodarov D.A., Dulnev N.N., Safonov Y.M., Fedortsov N.N., Kostin A.A.* Intelligent control of electric machine drive systems // В сб.: 2018 10th International Conference on Electrical Power Drive Systems, ICEPDS 2018 – Conference Proceedings 10. 2018, p. 8571670.
7. *Крюков О.В.* Моделирование и микропроцессорная реализация электромеханических систем // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. 2015, № 3, с. 55-61.
8. *Крюков О.В.* Анализ моноблочных конструкций электрических машин для ГПА // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2015, т. 3, № 4, с. 53-58
9. *Крюков О.В., Серебряков А.В.* Методы синтеза встроенных систем прогнозирования ТС высоковольтных двигателей // В сб.: Состояние и перспективы развития электро- и тепло-технологии. МНТК XVIII Бенардосовские чтения. 2015, с. 69-73.
10. *Воеков В.Н., Мещеряков В.Н., Крюков О.В.* Вентильный электропривод для погружных нефтяных насосов с импульсным повышающим преобразователем напряжения в звене постоянного тока ПЧ и релейным управлением инвертором напряжения // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. 2020, т. 20, № 2, с. 110-119.
11. *Васенин А.Б., Степанов С.Е., Крюков О.В.* Сравнительная оценка методов прогнозирования технического состояния электроприводов опасных производственных объектов // Контроль. Диагностика. 2020, т. 23, № 11(269), с. 54-62.
12. *Крюков О.В.* Автоматизированное нагружающее устройство для комплексных испытаний поршневых двигателей // Двигателестроение. 2016, № 2(264), с. 30-35.
13. *Крюков О.В.* Коммуникационная среда передачи данных сети ETHERNET на полевом уровне различных объектов // Автоматизация в промышленности. 2012, № 12, с. 26-30.
14. *Васенин А.Б., Степанов С.Е., Крюков О.В.* Альтернативные источники электроэнергии на объектах добычи и транспорта углеводородов // В сборнике: Великие реки' 2019. труды научного конгресса: 3-х томах. 2019, с. 37-40.
15. *Крюков О.В.* Комплексный анализ условий эксплуатации электродвигателей ГПА // Компрессорная техника и пневматика. 2013, № 4, с. 14-19.
16. *Гуляев И.В., Волков А.В., Попов А.А., Ионова Е.И., Бобров М.А.* Сравнительный обзор синхронного двигателя с постоянными магнитами и бесколлекторного двигателя постоянного тока при непосредственном управлении моментом // Научно-технический вестник Поволжья. 2015, № 6, с. 123-128.
17. *Репин Д.Г., Крюков О.В.* Концепты системы мониторинга технического состояния компрессорных станций // Контроль. Диагностика. 2017, № 12, с. 30-35.
18. *Крюков О.В., Краснов Д.В.* Перспективы применения ПЧ для регулирования производительности ЭГПА // Газовая промышленность. 2014, № 6(707), с. 86-89.
19. *Belousov A.S., Meshcheryakov V.N., Valtchev S., Kryukov O.V.* Development of a control algorithm for three-phase inverter in two-phase electric drives reducing the number of commutations // В сборнике: Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019. 2019, p. 444-449.
20. *Степанов С.Е., Васенин А.Б., Крюков О.В.* Цифровое моделирование синхронных электрических машин при работе на турбокомпрессорную нагрузку // Наука и техника в газовой промышленности. 2020, № 4(84), с. 84-90.
21. *Крюков О.В., Серебряков А.В., Макриденко Л.А., Волков С.Н., Сарычев А.П., Кобельков Н.О.* Мониторинг и прогнозирование технического состояния электромеханических систем энергетики // М.: АО "ВНИИЭМ", 2017.
22. *Tutaev G.M., Bobrov M.A., Gulyaev I.V.* Evaluation of the energy characteristics of an asynchronous inverter-fed induction motor at different approximations of the magnetization curve // Russian Electrical Engineering. 2017, b. 88, № 6, p. 321-325.
23. *Васенин А.Б., Степанов С.Е., Крюков О.В.* Методология и средства оперативного мониторинга электродвигателей на КС // Контроль. Диагностика. 2019, № 11, с. 52-58.
24. *Kryukov O.V., Serebryakov A.V.* Modern systems of outdoor illumination for compressor stations // Light & Engineering. 2016, b. 24, № 2, p. 128-131.
25. *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, b. 17, № 3, p. 102-110.
26. *Крюков О.В.* Принципы малолюдных технологий в организации работы электроприводных компрессорных станций // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2014, № 4, с. 10-13.
27. *Степанов С.Е., Крюков О.В.* Выбор методов мониторинга и прогнозирования технического состояния

- автоматизированных электроприводов энергетических объектов // Контроль. Диагностика. 2018, № 11, с. 32-39.
28. *Крюков О.В., Степанов С.Е., Васенин А.Б.* Поддержка диспетчерских решений ГТС на базе оценки энергоэффективности // Наука и техника в газовой промышленности. 2019, № 4, с. 71-81.
29. *Конonenко А.Б., Косоротов А.А., Крюков О.В.* Расширение функциональных возможностей автоматизации и мониторинга распределительных устройств КТП “Каскад” // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2020, № 12, с. 26-31.
30. *Крюков О.В.* Идентификация параметров приводных электродвигателей газовых турбокомпрессоров // В сборнике: Идентификация систем и задачи управления: Труды X Международной конференции. ИПУ им. В.А. Трапезникова. 2015, с. 348-367.
31. *Груздев В.В., Волков А.С., Крюков О.В.* Методологический подход к прогнозированию технического состояния трансформаторов распределительных устройств // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2021, № 1(138), с. 14-19.
32. *Крюков О.В.* Оптимизация работы технологически связанных электроприводов ГПА КС // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. 2014, т. 1, № 2, с. 26-31.
33. *Васенин А.Б., Степанов С.Е., Крюков О.В.* Система интеллектуального мониторинга состояния магистрального газопровода “Сахалин-Хабаровск-Владивосток” // Автоматизация и ИТ в нефтегазовой области. 2019, № 2(36), с. 40-53.
34. *Крюков О.В., Степанов С.Е., Васенин А.Б.* Моделирование и мониторинг термодинамических процессов в синхронных электродвигателях // Контроль. Диагностика. 2020, № 4, с. 28-35.

ООО “Газпром проектирование”, г. Нижний Новгород:

Степанов Сергей Евгеньевич – канд. техн. наук, ведущий инженер отдела технологического проектирования,

Васенин Алексей Борисович – ведущий инженер отдела комплексного проектирования АСУ КС.

ООО “ТСН-электро”, г. Нижний Новгород:

Конonenко Андрей Борисович – ведущий инженер АСУ ТП,

Косоротов Андрей Александрович – ведущий инженер АСУ ТП,

Крюков Олег Викторович – д-р техн. наук, заместитель директора по науке.