

## Арктические блочно-модульные КТП-10/0,4 с функциями цифровой подстанции

*О.В. Крюков (ООО «ТСН-электро», г. Нижний Новгород)*

**Введение.** Успешное освоение территорий и богатейших ресурсов Крайнего Севера РФ неразрывно связано с надежным и энергоэффективным электроснабжением производственных и социальных объектов инфраструктуры [1-4]. Компания ООО «ТСН-электро» имеет положительный опыт комплексного проектирования и строительства «под ключ» трансформаторных подстанций КТП-10/0,4 кВ в блочно-модульном исполнении полной заводской готовности (рис. 1) для объектов Арктики [5-8]. При этом трансформаторные подстанции КТП-10/0,4 кВ представляют собой блочно-модульные здания полной заводской готовности, состоящие не более чем из 3-х модулей. Все технические решения, принятые при проектировании и изготовлении блочных зданий, электрооборудования и систем АСУЭ соответствуют требованиям экологических, санитарно-гигиенических, противопожарных и других норм, действующих на территории Российской Федерации, и обеспечивают безопасную для жизни и здоровья людей его эксплуатацию при соблюдении НТД [9-12].



Рис. 1. Общий вид комплектной трансформаторной подстанции в заводском цехе сборки.

Уникальные климатические условия арктических территорий размещения КТП характеризуются как очень суровые с диапазоном температур воздуха от минус 52 °С и до плюс 30 °С при среднегодовой влажности 84 %. Большое влияние имеет многолетняя мерзлота, обилие болот и рек [13-16], климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69 – ХЛ1.

В связи со сложными инженерно-геологическими и климатическими условиями, недостаточно развитой инфраструктуры региона строительства [17-20], блочно-модульные КТП-10/0,4 кВ поставляются на объект установки максимально комплектными для минимизации объема строительно-монтажных (СМР) и пуско-наладочных работ (ПНР) (рис. 2) [21-24] и с максимальным спектром функциональных возможностей превентивного прогнозирования состояния [25-28] на уровне цифровых подстанций в соответствии с принципами малолюдных технологий [29-32]. В блочно-модульных КТП полностью

установлено современное оборудование для освещения, отопления, вентиляции и систем сигнализации [33-36]. Категория надежности электроснабжения по ПУЭ – 1, электропитание САУ обеспечивается по 1 категории особой группы электроснабжения.



Рис. 2. Производство строительного-монтажных работ с блочно-модульными КТП на объекте.

Кроме типового унифицированного электрооборудования в КТП арктического исполнения устанавливаются специализированные системы автоматизации и мониторинга в каждом модуле [37-39]:

- распределительное устройство низкого напряжения (РУНН-0,4 кВ) с приборами учета электроэнергии для передачи в систему АСТУЭ и выводом на верхний уровень;
- шкаф собственных нужд 0,4 кВ с ИБП для питания потребителей собственных нужд и независимыми расцепителями для отключения при пожаре на базе УК-ВК/04;
- установки компенсации реактивной мощности (УКРМ) с конденсаторными установками и антирезонансными фильтрами гармоник для стабилизации коэффициента мощности на уровне 0,95, обеспечивающие микропроцессорное регулирование мощности и цифровой интерфейс RS-485 с выходом в АСУЭ.

#### **Особенности реализации функций автоматического управления цифровой КТП.**

Архитектура построения АСУЭ в составе шкафа РУНН, шкафа гарантированного электропитания и щитов станций управления КРУ базируется на централизованном устройстве сбора данных – Концентраторе данных РУНН, который контролирует работу АВР, расцепителей, счетчиков, УКРМ, модулей ввода-вывода. Подключение УВН выполнено напрямую по протоколу Ethernet 100 BASE TX / МЭК 61850.

Блок управления автоматическим вводом резерва (АВР) выполнен на базе программируемого контроллера и сенсорной панели оператора. Контроллер предназначен для автоматического ввода резерва, реализации функции возврата к нормальному режиму работы, контроля выполнения команд управления, контроля контактной группы силовых выключателей, автоматической блокировки подачи напряжения на аварийную секцию шин. Дополнительно контроллер выполняет функции сбора и передачи информации на верхний уровень по цифровому протоколу обмена в соответствии с концепцией цифровой КТП.

Сенсорная панель оператора выполняет функции отображения динамической мнемосхемы распределительного устройства, просмотра журнала событий и списка неkwитированных неисправностей, а также для отображения и изменения настроек режимов работы блока АВР. Причем основные настройки указываются соответствующими переключателями на панели шкафа управления, а доступ к расширенным настройкам осуществляется через экран панели оператора после авторизации пользователя.

Основные функции управления АВР следующие:

- блок АВР разрешает управление силовыми выключателями с помощью ключей управления (кнопок), расположенных на панели управления, если переключатель режима работы установлен в положение «ручной»;
- блок АВР обеспечивает автоматическое включение резерва, если переключатель режима работы установлен в положение «автоматический»;
- блок АВР обеспечивает управление силовыми выключателями по командам дистанционного управления, если переключатель режима работы установлен в положение «дистанционный» (при этом алгоритм АВР не работает);
- средствами программно-технического комплекса (ПТК) обеспечивается возможность изменения параметров работы электроустановки (выдержки времени и режимы АВР).
- все действия оперативного персонала по управлению коммутационными аппаратами, изменению режимов работы фиксируются в журнале событий с указанием метки времени.
- предусмотрено разграничение уровней доступа пользователей по доступу к настройкам АВР (запрещено, частично разрешено, разрешено).
- отсутствие подтверждения выполнения управляющих команд регистрируется в журнале событий и сопровождается соответствующей сигнализацией.

Контроллером АВР и панелью оператора в составе блока АВР, обеспечивается:

- предупредительная сигнализация при действии АВР, при неисправностях технических средств ПТК, при перебоях в оперативном питании;
- аварийная сигнализация при срабатывании защит и действии блокировок, при отключении измерителя напряжения на вводе или секции шин, при аварийном отключении автоматических выключателей;
- квитирование сигнализации доступно со шкафа управления с индикацией неисправности до момента устранения причины ее появления (предупредительная сигнализация) или устранения причины ее появления и квитирования на щите (аварийная);
- появление и пропадание вышеуказанных событий подлежит регистрации в журнале событий с присвоением метки времени.

### **Описание интерфейсов панели оператора.**

На рис. 3 представлен интерфейс панели оператора в режиме «Мнемосхема». Рамками выделены основные элементы интерфейса: функциональные кнопки (1), область видеокadra (2), поле отображения режимов АВР (3), заголовок окна (4). Функциональные кнопки используются для перехода между основными экранами. Назначение функциональных кнопок показано соответствующими поясняющими надписями на экране. Назначение функциональных кнопок одинаковое на всех экранных формах.

С помощью поля отображения режимов АВР отображаются режимы работы РУНН и режимы работы АВР. Режимы АВР СВ, АВР АВ устанавливаются с помощью переключателей на панели управления РУНН, а ВНР СВ, ВНР АВ устанавливаются с помощью программных переключателей на экранах «Выдержки времени, режимы АВР СВ», «Выдержки времени, режимы АВР АВ».

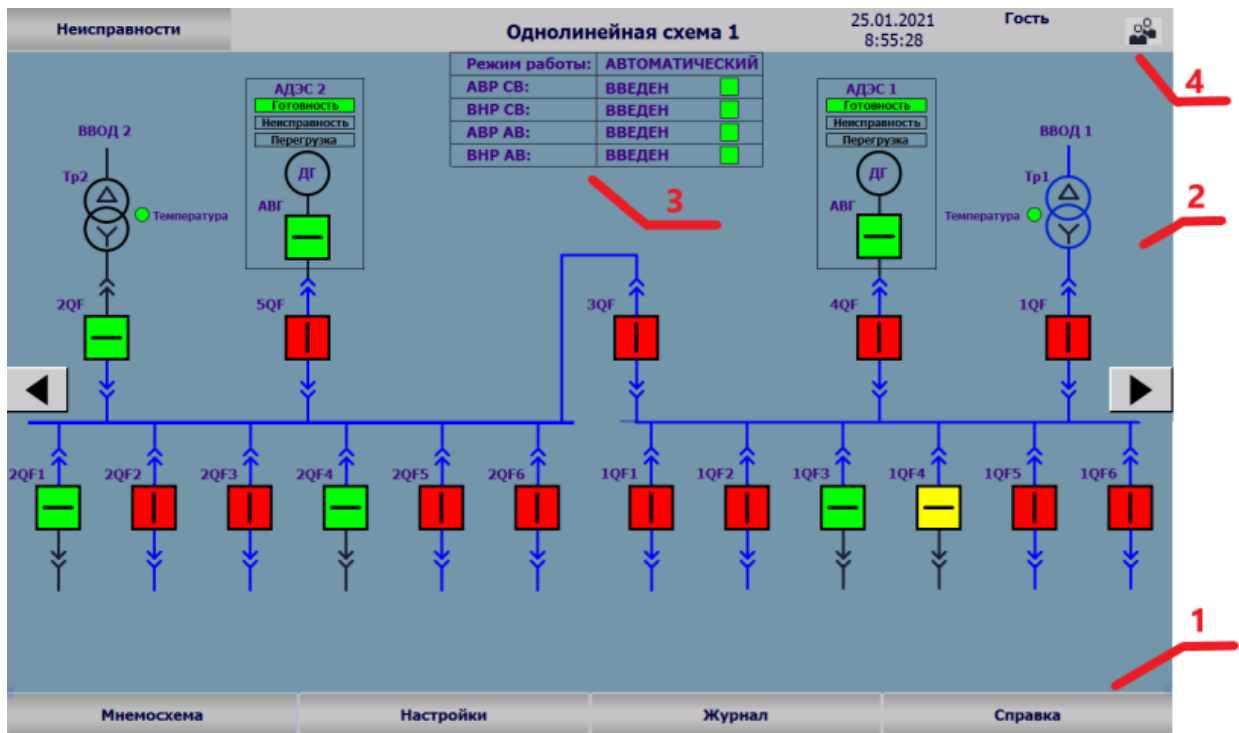


Рис. 3. Интерфейс панели оператора.

На однолинейной схеме (рис. 3) в режиме реального времени динамически отображается следующая информация:

- наличие напряжения на сборных шинах и вводах;
- состояния вводных выключателей, секционного выключателя;
- состояния выключателей аварийных вводов и выключателей генераторов АДЭС;
- состояние перегрузки и неисправности АДЭС;
- режимы работы распределительного устройства;
- режимы АВР и ВНР.

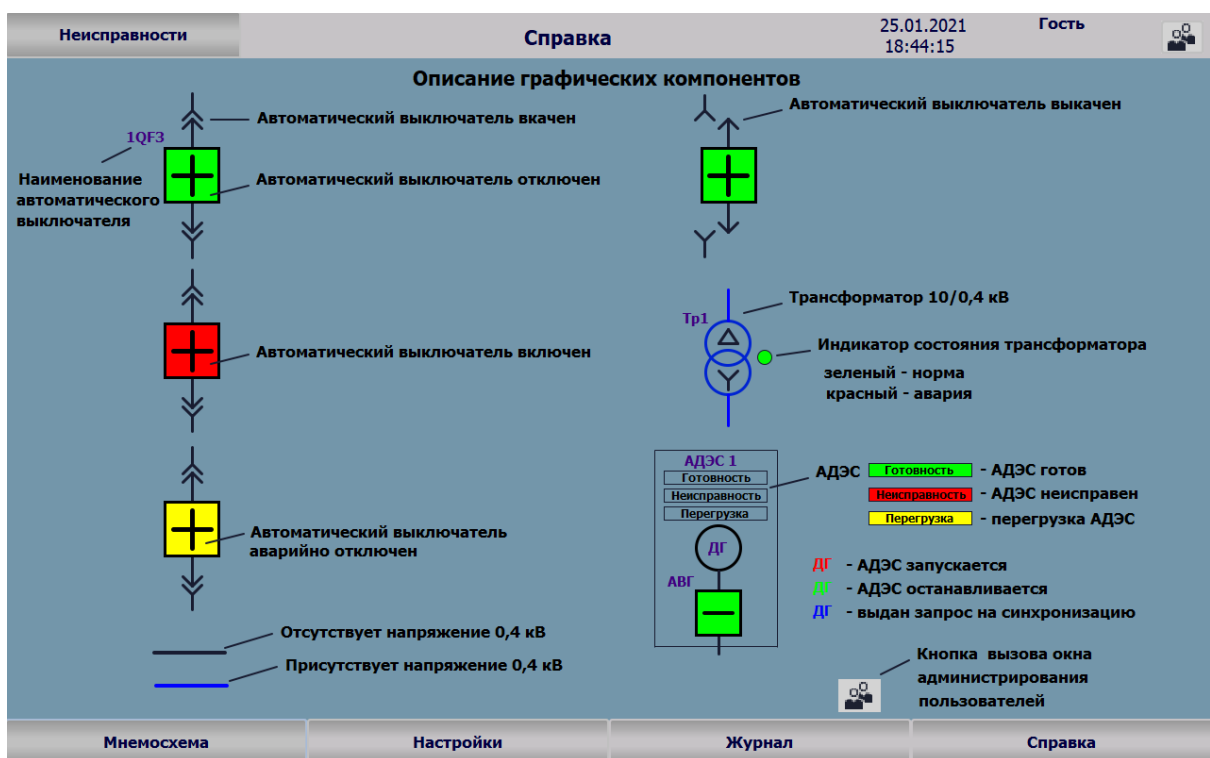


Рис. 4. Окно «Справка».



Для перехода на экран «Справка» необходимо нажать функциональную кнопку «Справка». Экран «Справка» представлен на рис. 4, где показано графическое отображение состояний и положений выключателей, цветовая индикация наличия или отсутствия исправного напряжения.

Для перехода на экран «Настройки АВР СВ» (рис. 5) необходимо на экране «Настройки» нажать кнопку «Режимы АВР СВ. Выдержки времени».



Рис. 5. «Настройки АВР СВ»

Экран «Настройки АВР СВ (1)» содержит уставки: выдержка на запуск АВР, токовая пауза при переключениях, режим возврат к нормальной работе (ВНР) секционного выключателя (СВ), параллельная работа (разрешена/запрещена, задание времени), приоритет при одновременном появлении вводов, поочередный пуск нагрузок секций шин, контроль контактной группы ВВ, СВ, АВ, отключение ВВ, СВ по защите от минимального напряжения (ЗМН).

Если в уставке «контроль контактной группы» из списка выбрана строка «Сигнализация», то при аварии по напряжению на секции шин (СШ) - отсутствие напряжения, неполнофазный режим, перекус напряжения на СШ при включенном вводном автоматическом выключателе и наличии на данном вводе напряжения - будет сформировано сообщение «Авария по напряжению на секции», « $QF$  неисправность контактной группы». Если же в уставке «контроль контактной группы» из списка выбрана строка «отключение неисправного выключателя», то неисправный выключатель отключается, дальнейшее включение выключателя блокируется до момента нажатия кнопки «квитирование». При выборе строки «блокировка секции шин», подача напряжения на неисправную секцию шин блокируется (отключается неисправный выключатель и формируется запрет на подачу напряжения на данную СШ).

Для перехода на экран «настройки АВР АВ» необходимо на экране «настройки» нажать кнопку «Режимы АВР АВ. Выдержки времени». Экран «настройки АВР АВ» содержит следующие уставки: выдержка на запуск АВР, характеристики автономной дизель-электрической системы (АДЭС), настройки управления (уставки) АДЭС, режим ВНР АВ с учетом синхронизации и режим подачи напряжения на СШ1 и СШ2.

Переход к экрану «Журнал» (рис. 6) производится нажатием кнопки «Журнал». Информация журнала событий находится в памяти контроллера. Панель оператора служит средством просмотра записей журнала.

Неисправности		Журнал		23.11.2020	Администратор
КТП				10:01:20	admin
№	Событие	Время	Дата		
39	Авторизован пользователь группы "Администратор"	6:31:43 : 938	23.11.2020		
38	5QF: выкачен	6:31:21 : 540	23.11.2020		
37	(-) АДЭС 2: недостоверное состояние ГА	6:30:48 : 816	23.11.2020		
36	(-) АДЭС 1: недостоверное состояние ГА	6:30:47 : 150	23.11.2020		
35	5QF: отключен	6:30:45 : 670	23.11.2020		
34	5QF: рабочее положение	6:30:44 : 151	23.11.2020		
33	4QF: включен	6:30:43 : 269	23.11.2020		
32	4QF: рабочее положение	6:30:43 : 810	23.11.2020		
31	3QF: отключен	6:30:42 : 158	23.11.2020		
30	3QF: рабочее положение	6:30:42 : 872	23.11.2020		
29	2QF: включен	6:30:41 : 99	23.11.2020		
28	2QF: рабочее положение	6:30:41 : 735	23.11.2020		
27	1QF: включен	6:30:40 : 701	23.11.2020		
26	1QF: рабочее положение	6:30:39 : 62	23.11.2020		
25	(+) АДЭС 2: недостоверное состояние ГА	6:30:31 : 972	23.11.2020		

Мнемосхема      Настройки      Журнал      Справка

Рис. 6. «Журнал событий»

В журнал записываются все основные события в хронологическом порядке с указанием даты и времени. Емкость журнала 1000 записей. В фоновом режиме журнал обновляется автоматически. Чтобы обновить список событий, отображаемый в окне «Журнал», необходимо нажать кнопку «Журнал».

События в журнале имеют цветовую окраску в зависимости от класса, к которому относится данное сообщение:

- аварийные сообщения с квитированием – красный цвет;
- предупредительные сообщения с квитированием – оранжевый;
- команды управления – черный текст на белом фоне;
- телесигнализация – зеленый цвет
- сигналы с двумя состояниями без квитирования – синий цвет;

недостоверные сигналы – фиолетовый цвет.

В случае наличия неисправностей кнопка «Неисправности» подсвечивается красным цветом и при ее нажатии (рис. 7) на данном экране отображается четыре вкладки.

Неисправности		Неисправности		26.01.2021	Гость
				18:04:08	
Неисправность	Готовность АВР	Диагностика ПЛК	Системные сообщения	Диагностика по выключателям	
№	Время	Дата	Стат...	Причина несправ.	Квитировать
1... 50	18:02:0...	26.01.2021	I	Пуск АДЭС_1 заблокирован	1
1... 151	17:59:5...	26.01.2021	I	Секция 2 заблокирована	1
5... 32	17:59:5...	26.01.2021	IO	3QF отключен аварийной кнопкой	1

Мнемосхема      Настройки      Журнал      Справка

Рис. 7. Вкладка «Неисправности».

По нажатию кнопки «Неисправность» отображаются сигналы, по причине которых замкнут выход контроллера на лампочку «Общая неисправность» и красным цветом подкрашена кнопка «Неисправности». Если статус сообщения «I» - неисправность активна, ели «IO» - неисправность неактивна. В столбце «Квитировать» цифрой «1» обозначаются сообщения требующие квитирования.

По нажатию кнопки «Готовность АВР» отображается условие, препятствующее формированию сигнала «готовность АВР СВ», «готовность АВР АВ». По нажатию кнопки «Диагностика ПЛК» на экран выводится содержание диагностического буфера контроллера. Кнопки в левом нижнем углу предназначены для просмотра текста сообщения, обновления отображаемых данных диагностического буфера контроллера.

По нажатию кнопки «Системные сообщения» на экран выводятся системные сообщения панели оператора. В системных сообщениях отображаются события: включение/отключение панели оператора, потеря/установление связи с контроллером, авторизация пользователей.

По нажатию кнопки «Диагностика по выключателям» на экран выводятся 5 окон просмотра сообщений по каждому выключателю схемы АВР (рис. 8). Сообщение уточняет причину, по которой выключатель не включен.

№	Время	Дата	Текст
Al... 180	9:40:26	23.11.2020	выключатель не в рабочем положении
Al... 144	9:24:21	23.11.2020	ожидается отключение
Al... 179	9:16:04	23.11.2020	нет напряжения от источника

№	Время	Дата	Текст
Al... 184	9:41:52	23.11.2020	ожидается включение
Al... 185	9:40:26	23.11.2020	выключатель не в рабочем положении
Al... 145	9:24:37	23.11.2020	ожидается отключение
Al... 189	9:16:04	23.11.2020	нет напряжения от источника

№	Время	Дата	Текст
Al... 155	9:42:03	23.11.2020	напряжение на ШУ не в норме
Al... 172	9:40:26	23.11.2020	выключатель не в рабочем положении
Al... 164	9:16:04	23.11.2020	нет напряжения на Ш11, Ш12

№	Время	Дата	Текст
Al... 116	9:42:11	23.11.2020	ожидается включение
Al... 158	9:42:11	23.11.2020	приоритет у АВ2
Al... 210	9:40:26	23.11.2020	выключатель не в рабочем положении
Al... 159	9:24:48	23.11.2020	ожидается отключение
Al... 207	9:16:04	23.11.2020	резервный источник не готов

№	Время	Дата	Текст
Al... 202	9:42:30	23.11.2020	выключатель не в рабочем положении
Al... 100	9:43:39	23.11.2020	ожидается включение
Al... 201	9:16:04	23.11.2020	резервный источник не готов

Рис. 8. Вкладка «Диагностика по выключателям»

### Описание алгоритма.

Входными переменными для логики АВР являются дискретные сигналы о состоянии и положении силовых выключателей, дискретные сигналы от реле контроля напряжения на вводах и секциях шин, дискретные сигналы из схемы АДЭС, значения программных уставок режимов и таймеров.

Логика функционирования АВР и дистанционное управление по Modbus блокируются в следующих случаях:

- обнаружены недостоверные сигналы о состоянии силового выключателя;
- отключены оперативные цепи силового выключателя или неисправны цепи сигнализации (24VDC).

Автоматический ввод резерва происходит при выполнении следующих условий:

- установлен режим работы «автоматический»;
- неисправный ввод отключен;
- секция шин, на которую предполагается подавать питание, без напряжения и не заблокирована.
- переключатель АВР СВ в положении введен.

Ввод считается неисправным, если:

- отсутствует сигнал о наличии исправного напряжения на вводе в течение времени, превышающего выдержку на запуск АВР;

- выключатель ввода не выполнил команду на включение;
- обнаружена неисправность силовых контактов выключателя ввода (в уставках панели оператора в пункте «контроль контактной группы» указано «отключение неисправного выключателя» или «блокировка секции шин»);
- неисправен силовой трансформатор (авария по температуре или давлению масла и т.д.) или сработала защита от ОЗЗ (однофазного замыкания на землю).

Секция шин блокируется в следующих случаях:

- аварийно отключен вводной или секционный выключатель, который был включен на данную секцию шин;
- силовой выключатель отключен аварийной кнопкой;
- обнаружена неисправность силовых контактов выключателя ввода (в уставках панели оператора в пункте «контроль контактной группы» указано «блокировка секции шин»).

Для правильной работы функции контроля контактной группы выключателя необходимо, чтобы уставка минимального напряжения реле на секции шин была ниже, чем уставка минимального напряжения реле на вводе. Если есть контроль повышенного напряжения, то уставка повышенного напряжения реле на секции шин должна быть выше, чем уставка максимального напряжения реле на вводе.

Выдержка на отключение в реле контроля напряжения должна быть минимальной (для используемого реле). Выдержка на включение реле после восстановления напряжения также должна быть минимальной. Выдержки на срабатывание режимов АВР и ВНР задаются программно через панель оператора.

При работе в автоматическом или дистанционном режиме контроллер блока АВР осуществляет контроль выполнения команд включения и отключения силовых выключателей, АДЭС. Время выполнения команды включения, команды отключения силового выключателя не должно быть более 10 с., иначе выключатель считается неисправным. Время ожидания выполнения команды запуска АДЭС, команды останова АДЭС задается программно через интерфейс панели оператора.

Для адаптации логики работы алгоритма к условиям конкретной энергосети используются переключатели режимов на щите: АВР СВ, АВР АВ, Режим работы АДЭС, Приоритет АДЭС и с панели оператора: ВНР СВ, ВНР АВ.

### **Выводы.**

Длительная энергоэффективная и безаварийная работа всех систем цифровых КТП в арктическом исполнении производства ООО «ТСН-электро» подтвердила корректность реализации заложенных при проектировании принципов малолюдных технологий и алгоритмов АСУЭ с полным набором всех основных функций мониторинга позволяет говорить о перспективности дальнейшего совершенствования электрооборудования КРУ «Каскад» и IT-технологий КТП для арктических объектов нефтегазового сектора.