

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В РОССИИ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЭЛЕГАЗОВЫХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

К.т.н. Крайчич А.В., к.т.н. Мордкович А.Г., к.т.н. Цфасман Г.М.  
ООО «АСУ-ВЭИ», г. Москва

## Введение

Необходимость оснащения коммутационных аппаратов средствами непрерывного контроля их состояния диктуется двумя обстоятельствами:

- коммутационные аппараты (прежде всего выключатели) обеспечивают оперативное управление схемами передачи и распределения электроэнергии и выполняют функции защиты оборудования энергообъектов и потребителей при возникновении аварийных ситуаций и, следовательно, должны обеспечивать очень высокие показатели готовности к выполнению заявок на необходимые коммутационные операции. Так как время ожидания заявок может быть неопределенно большим, то в интервале между выполнением заявок только средства непрерывного контроля позволяют подтвердить готовность аппарата к выполнению очередной заявки.
- в соответствии с принятыми основополагающими документами «Концепция развития Единой национальной электрической сети» и «Стратегия развития ЕНЭС на десятилетний период» в ОАО «ФСК ЕЭС» создается корпоративная автоматизированная система технологического управления (АСТУ). Поскольку АСТУ должна обеспечивать управление оперативными переключениями на оборудовании электрических сетей из удаленных центров управления, то именно системы непрерывного контроля являются одним из основных источников информации для принятия решения и оценки правильности исполнения команд из удаленных центров управления.

Таким образом, оснащение коммутационных аппаратов средствами непрерывного контроля должно существенно повысить эффективность оперативного управления переключениями и обеспечить предотвращение выполнения коммутационных операций аварийными аппаратами.

## Состояние дел

Находящиеся в эксплуатации, вновь строящиеся и реконструируемые подстанции и ОРУ станций 220 – 750 кВ оснащаются, как правило, элегазовым коммутационным оборудованием (КРУЭ или отдельно стоящими выключателями). При этом энергообъекты с уровнем напряжения 330 кВ и выше оснащаются, как правило, коммутационными аппаратами фирм AREVA и ABB, на энергообъектах с уровнем напряжения до 220 кВ к этим поставщикам присоединяются иногда отечественные производители ЗАО «Энергомаш (Екатеринбург) – Уралэлектротяжмаш» и ОАО ВО «Электроаппарат».

Коммутационные элегазовые аппараты российского производства средствами мониторинга в настоящее время не оснащены. Зарубежные компании предлагают выключатели с системами мониторинга различных фирм-производителей.

Фирма AREVA оснащает выключатели собственного производства системами мониторинга типа CBWatch-2. Фирмы ABB, Siemens, Konsar Institut, Crompton Greaves, Mitchubishi используют систему мониторинга OLM2 фирмы ELCON International AB (Швеция). Ряд производителей систем непрерывного контроля предлагают устройства с ограниченным набором функций. Так фирма INCON (Intelligent controls) разработала устройство учета коммутационного ресурса высоковольтных выключателей OPTImizer+.

Рядом компаний предлагаются устройства, позволяющие решить проблему ограничения перенапряжений, возникающих при отключении шунтирующих реакторов и трансформаторов, работающих на холостом ходу. Фирма ABB, например, предлагает устройство управления коммутацией высоковольтных выключателей SwitchsyncTM, а компания AREVA - устройство синхронизации при коммутации высоковольтного оборудования Rph2 .

Систематизированных данных по результатам применения систем мониторинга элегазового оборудования в ЕНЭС нет. Однако известно, что на объектах, где элегазовое оборудование внедрено при проведении реконструкции и капитальных ремонтов вместо выработавших ресурс или отказавших воздушных выключателей, установленные системы мониторинга не используются по назначению и не интегрированы в АСУ ТП подстанций.

Авторами проведен анализ технических характеристик наиболее часто применяемых в мировой практике устройств мониторинга элегазовых выключателей, в том числе:

- Система мониторинга CBWatch-2 фирмы AREVA;
- Система мониторинга OLM2 фирмы ELCON International AB (Швеция), которую используют фирмы ABB, Siemens, Konsar Institut, Crompton Greaves, Mitchubishi;
- Устройство учета коммутационного ресурса высоковольтных выключателей OPTImizer+ фирмы INCON (Intelligent controls);
- Устройство управления коммутацией высоковольтных выключателей SwitchsyncTM фирмы ABB;
- Устройство синхронизации при коммутации высоковольтного оборудования Rph2 производства компании AREVA T&D (Австрия);
- Цифровые устройства защиты с элементами мониторинга высоковольтных выключателей фирмы Baster Electric.

В таблице 1 показан объем функций, выполняемых каждым из рассмотренных устройств.

Таблица 1

Функции мониторинга	CBWatch2 (Areva)	OLM2 (Elcon)	BE1-700C, BE1-1051 (Baster Electric)	OPTImizer+ (INCON)	БМЭВ «АСУ- ВЭИ»
<b>Функции контроля элегаза (SF<sub>6</sub>):</b>					
Плотность элегаза	+	+	-	-	+
Контроль сжижения	+	+	-	-	+
Расчет уровня утечки	+	+	-	-	+
Определение тенденции (расчет времени до достижения уровней срабатывания сигнализации и защиты)	+	+	-	-	+

Функции мониторинга	CBWatch2 (Areva)	OLM2 (Elcon)	BE1-700C, BE1-1051 (Baster Electric)	OPTImizer+ (INCON)	БМЭВ «АСУ- ВЭИ»
<u>Аварийные сигналы при достижении порогов:</u>					
Порог 1 «Подкачка»	+	+	-	-	+
Порог 2 «Блокировка или автоматическая работа»	+	+	-	-	+
Порог 3 «Перепополнение»	+	+	-	-	+
<u>Функции контроля рабочих операций:</u>					
а) базовый вариант:					
Учет количества операций	+	+	+	+	+
Обнаружение несоответствия полюсов	+	+	-	-	+
Измерение и анализ времени срабатывания для операций включения и отключения	+	+	+	+	+
б) дополнительно в варианте с датчиком перемещения контактов:					
Уточненное измерение и анализ времени срабатывания для операций включения и отключения	+ <sup>*)</sup>	+	-	-	+
Анализ скорости размыкания контактов	+ <sup>*)</sup>	+	-	-	+
Контроль возвратов и конечного положения	+ <sup>*)</sup>	+	-	-	+
Контроль перемещения контактов в течение цикла ВО	+ <sup>*)</sup>	+	-	-	+
Контроль блок-контактов и кинематики между блок-контактами и полюсами	+ <sup>*)</sup>	+	-	-	+
Коррекция сигнала датчика перемещения контакта в зависимости от кинематики механизма	+ <sup>*)</sup>	-	-	-	+
Коррекция смещения времени срабатывания в зависимости от изменения температуры и напряжения катушки	+ <sup>*)</sup>	-	-	-	+
<u>Функции контроля тока отключения:</u>					
Измерение тока перед и во время отключения	+	+ <sup>*)</sup>	+	+	+
Расчет электрического износа контакта и остаточного ресурса работы	+	+ <sup>*)</sup>	+	+	+
Время горения дуги	+	+ <sup>*)</sup>	+	+	+
Сигнализация при превышении порога времени горения дуги	+	+ <sup>*)</sup>	+	+	+
<u>Функции контроля завода пружины:</u>					
Измерение и анализ времени завода пружин	+	+	-	-	+
Учет количества запусков двига-	-	+	-	-	+

Функции мониторинга	CBWatch2 (Areva)	OLM2 (Elcon)	BE1-700C, BE1-1051 (Baster Electric)	OPTImizer+ (INCON)	БМЭВ «АСУ-ВЭИ»
теля заводки пружин					
Измерение и анализ тока двигателя	-	+	-	-	+
<u>Функции контроля гидравлического приводного механизма (для выключателей с гидравлическим приводным механизмом):</u>					
Учет количества запусков приводного механизма	+ <sup>*)</sup>	-	-	-	-
Анализ времени повторной подкачки после выполнения коммутационной операции	+ <sup>*)</sup>	-	-	-	-
Оценка уровня утечек из гидравлической системы	+ <sup>*)</sup>	-	-	-	-
Оценка КПД подкачки	+ <sup>*)</sup>	-	-	-	-
Обнаружение утечки азота из аккумулятора	+ <sup>*)</sup>	-	-	-	-
Гидравлические пороги давления (при наличии датчика гидравлического давления)	+ <sup>*)</sup>	-	-	-	-
<u>Функции контроля собственных нужд и оперативных цепей, самоконтроль:</u>					
Контроль целостности цепей соленоидов	+	+	-	-	+
Контроль наличия напряжения в аккумуляторных батареях	+	-	-	-	+
Контроль наличия напряжения собственных нужд	+	-	-	-	+
Контроль системы обогрева	+	-	-	-	+
Самоконтроль технических средств системы мониторинга	+	-	-	-	+

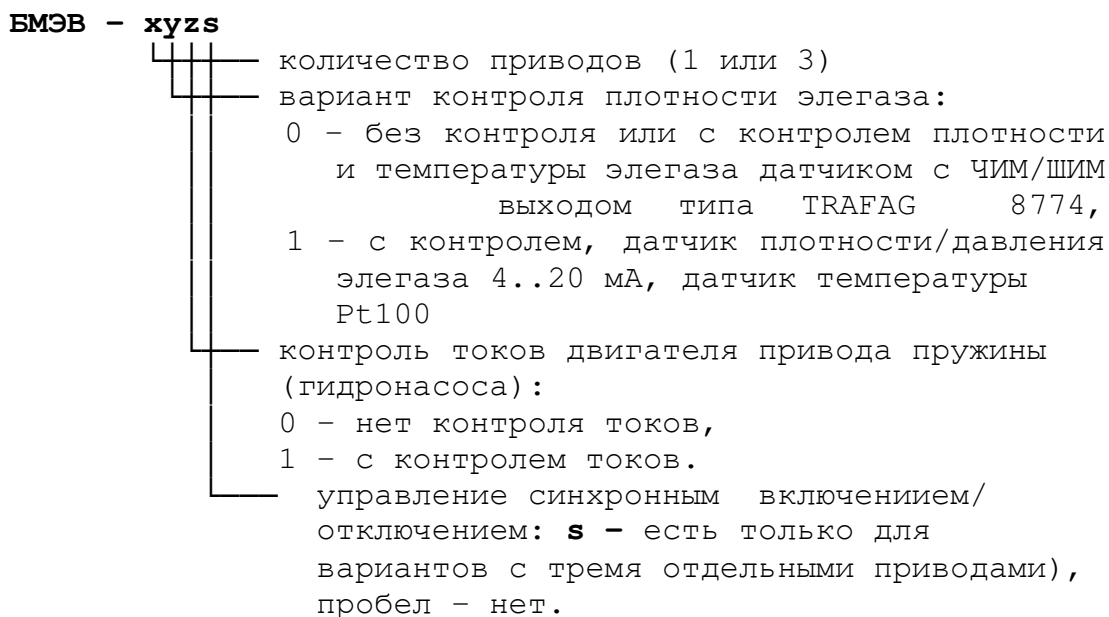
Примечание: +<sup>\*)</sup> – опционально.

Из табл.1 видно, что ни одно из рассмотренных устройств не реализует полный набор функций контроля выключателя. При этом наиболее совершенные из этих устройств (CBWatch2) весьма дороги. Широкому внедрению этих устройств в России препятствуют их высокая стоимость и сложности, связанные с эксплуатацией аппаратуры иностранных производителей, а также с интеграцией этой аппаратуры в АСУ ТП энергообъекта.

Учитывая эти обстоятельства, ООО «АСУ-ВЭИ» разработало и подготовило к производству оригинальный прибор контроля состояния элегазовых выключателей типа БМЭВ. Реализуемые этим прибором функции приведены в последнем столбце приведенной выше таблицы.

## Блок мониторинга элегазовых выключателей БМЭВ

Варианты исполнений прибора:



Структурно-функциональная схема БМЭВ приведена на рис.1.

Блок построен как мультипроцессорная система, содержащая главный микроконтроллер и до трех периферийных микроконтроллеров для выполнения отдельных функций.

Блок содержит базовую плату (БП) и 4 модуля расширения:

- Модуль расширения аналогового ввода (МРА);
- Модуль контроля токов двигателей (МКТД);
- Модуль расширения для контроля трех отдельных приводов (МРЗП);
- Модуль синхронной коммутации фаз выключателя (МСК).

Такое построение блока позволяет набирать требуемые типоразмеры блока, устанавливая различные комбинации модулей расширения.

Состав модулей для всех предусмотренных исполнений показан в табл. 2.

Таблица 2

Вариант исполнения	100	101	110	111	300	300s	301	301s	310	310s	311	311s
БП	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
МРА			√	√					√	√	√	√
МКТД		√		√			√	√			√	√
МРЗП						√	√	√	√	√	√	√
МСК						√		√		√		√

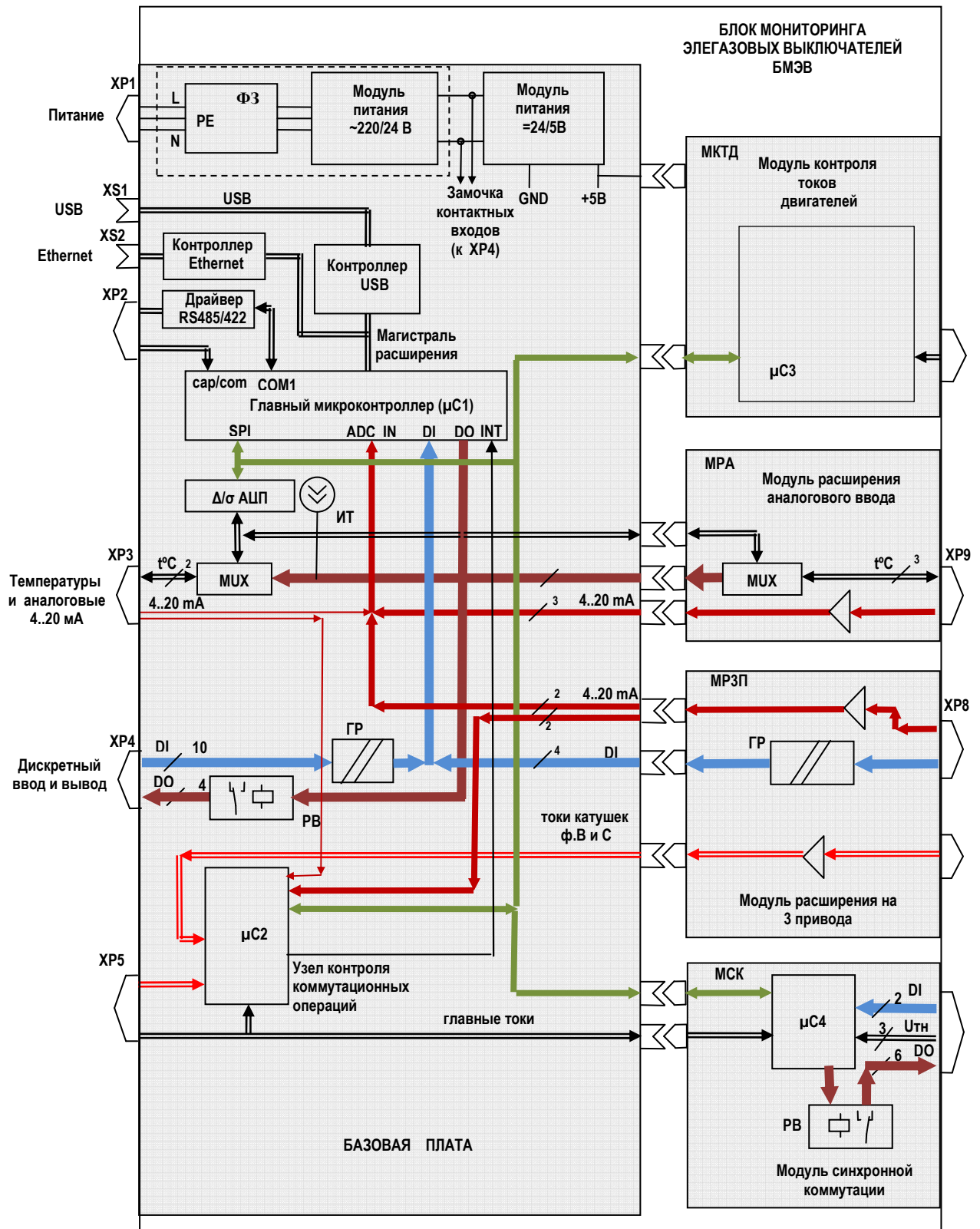


Рис.1 Функциональная схема БМЭВ

Базовая плата обеспечивает реализацию всех функций минимального исполнения БМЭВ-100. На базовой плате расположены:

- главный микроконтроллер  $\mu C1$  с встроенным АЦП, коммуникационным портом COM1, таймерным блоком захвата/сравнения (CAP/COM), синхронным последовательным интерфейсом SPI, параллельной магистралью расширения для подключения внешней памяти или устройств ввода/вывода, рядом линий дискретного ввода (DI) и вывода (DO) и входами прерывания;
- внешний аналого-цифровой преобразователь типа  $\Delta/\sigma$ , совместно с источником тока ИТ и мультиплексором предназначенный для измерения температуры с помощью термометров сопротивления;
- контроллеры интерфейсов Ethernet и USB для обеспечения связи блока с устройством верхнего уровня Комплекса и с персональным компьютером (для перезагрузки и отладки ПО); эти контроллеры подключаются к магистрали расширения ввода/вывода;
- узел контроля коммутационных операций; узел содержит микроконтроллер  $\mu C2$  со встроенным многоканальным АЦП и 3 компаратора, на которые поступают сигналы от датчиков токов катушек трех соленоидов фазы А выключателя – одного включающего и двух отключающих;
- входной (ГР) и выходной (РВ) узлы дискретного ввода/вывода с гальванической изоляцией от потенциала главного контроллера;
- модули вторичного электропитания, обеспечивающие питание всех частей блока необходимыми уровнями напряжения.

Модуль расширения аналогового ввода МРА предназначен для приема трех аналоговых сигналов 4..20 мА от датчиков давления или плотности элегаза в трех отдельных баках выключателя и трех сигналов от термометров сопротивления для измерения температуры элегаза в случаях, когда выключатель не укомплектован датчиками плотности и температуры с частотной и широтной модуляцией выходного сигнала типа TRAFAG 8774. Как видно из схемы рис.3.1, этот модуль пассивный и содержит только дополнительные нормализующие усилители и мультиплексоры для подключения термометров.

Ядром модуля контроля токов двигателей МКТД является микроконтроллер  $\mu C3$  со встроенным восьмиканальным АЦП. Это позволяет осуществлять измерение шести токов трех двигателей и два калибровочных сигнала (нулевой и эталонный). Для каждого двигателя измеряются мгновенные значения токов двух фаз. Ток третьей фазы вычисляется как сумма токов двух других фаз (с обратным знаком). Значения токов измеряются в 16 или 32 точках периода сетевой частоты и по результатам измерения вычисляются среднеквадратичные значения токов.

Пассивный модуль расширения для трех приводов МРЗП содержит дополнительные входные цепи для приема дискретных сигналов и сигналов датчиков тока катушек соленоидов приводов фаз В и С выключателя.

Модуль синхронной коммутации МСК предназначен для управления синхронным пофазным включением или отключением выключателя. Для реализации алгоритма синхронной коммутации в модуль поступают сигналы датчиков главных токов выключателя (после нормализации в базовой плате), сигналы от трансформаторов напряжения на шинах выключателя и исходные иницирующие команды включения/отключения. Алгоритм синхронной коммутации реализуется своим микроконтроллером  $\mu C4$ . Выходные команды управления формируются узлом релейного вывода РВ.

В стационарном режиме работы выключателя главный микроконтроллер осуществляет измерение медленно меняющихся параметров (давления, температуры) и по запросу с верхнего уровня передает в него обработанную информацию.

При поступлении команды на включение или отключение выключателя водной из катушек соленоидов управления появляется ток. Срабатывает соответствующий компаратор в узле контроля коммутационных операций, и по его сигналу выдается сигнал прерывания в главный микроконтроллер  $\mu C1$ , а в микроконтроллере  $\mu C2$  запускается программа непрерывной оцифровки главных токов выключателя. Микроконтроллер  $\mu C1$  в ответ временно прекращает измерение медленных сигналов и переходит к контролю состояния блок-контактов выключателя и оцифровке сигналов датчика (датчиков) положения привода (при наличии последних).

По завершении коммутационной операции (срабатывание соответствующего блок-контакта выключателя)  $\mu C1$  выдает сообщение об этом в  $\mu C1$ , по каналу SPI запрашивает и принимает информацию о значениях главного тока во время коммутации, после чего выполняет алгоритм контроля и анализа выполненной операции (см. раздел 5 настоящей книги ПЗ).

При включении двигателя заводки пружины модуль МКТД (при его наличии) самостоятельно осуществляет измерение и запись диаграммы токов двигателя. Результаты обработки измеренной информации передаются в главный микроконтроллер по его запросу по каналу SPI.

При наличии модуля синхронной коммутации он работает самостоятельно, получая для запуска своего алгоритма иницилирующую команду включения или отключения выключателя. Из главного микроконтроллера в МСК передается информация о реальных временах срабатывания отдельных фаз выключателя, которая используется для настройки алгоритма синхронизации. Обратная информация в главный микроконтроллер может передаваться информация самодиагностики модуля.

## **Функции, выполняемые БМЭВ**

### Контроль элегаза (SF<sub>6</sub>):

- контроль плотности элегаза;
- расчет точки сжижения;
- расчет уровня утечки;
- определение тенденции поведения показателя плотности (расчет времени до достижения уровней срабатывания сигнализации);
- сигнализация при достижении порогов давления:

    порог 1 «Низкая плотность» (предупредительный сигнал);

    порог 2 «Недопустимо низкая плотность» (аварийный сигнал);

    порог 3 «Высокая плотность» (предупредительный сигнал);

### Контроль рабочих операций:

    а) базовый вариант:

- пофазное формирование дискретных сигналов выключатель «включен\отключен»;
- учет количества операций;



- обнаружение неполнофазных режимов во включенном и отключенном состояниях;
- измерение и анализ времени срабатывания для операций включения и отключения;
- коррекция смещения времени срабатывания в зависимости от температуры и напряжения собственных нужд (при наличии данных от завода-изготовителя);
  - б) дополнительно в варианте с датчиком перемещения контактов:
- уточненные измерение и анализ времени срабатывания для операций включения и отключения;
- анализ скорости размыкания контактов;
- контроль возвратов и конечного положения;
- контроль перемещения контактов в течение цикла ВО;
- контроль времени и положения срабатывания блок-контактов по кривой перемещения контактов;
- коррекция сигнала датчика перемещения контакта в зависимости от кинематики механизма привода (при наличии данных от завода-изготовителя);

#### Функции контроля тока отключения:

- измерение тока перед и во время отключения;
- расчет электрического износа контакта и остаточного ресурса работы;
- время горения дуги;
- сигнализация при превышении порога времени горения дуги;

#### Функции контроля завода пружины:

- измерение и анализ времени завода пружин;
- учет количества запусков двигателя заводки пружин;
- измерение и анализ тока двигателя;

#### Функции контроля гидравлического приводного механизма (для выключателей с гидравлическим приводным механизмом):

- учет количества запусков приводного механизма;
- анализ времени повторной подкачки после выполнения коммутационной операции;
- оценка уровня утечек из гидравлической системы;
- оценка КПД подкачки;
- гидравлические пороги давления (при наличии датчика гидравлического давления);
- контроль утечки азота из аккумулятора;

#### Функции контроля собственных нужд и оперативных цепей, самоконтроль:

- контроль целостности цепей соленоидов;
- контроль наличия оперативного тока;
- контроль наличия напряжения собственных нужд;
- контроль температуры в шкафу, где установлен блок БМЭВ;
- самоконтроль аппаратных устройств системы мониторинга;

#### Функции сигнализации:

- формирование дискретных сигналов аварийной и предупредительной сигнализации;

- формирование команд на пофазное отключение выключателя в момент перехода токов через ноль.

Функции временной синхронизации:

- синхронизация с системой единого астрономического времени.

Конструктивно БМЭВ выполняется в прямоугольном металлическом экранном корпусе для установки на плоскую панель (рис.2).

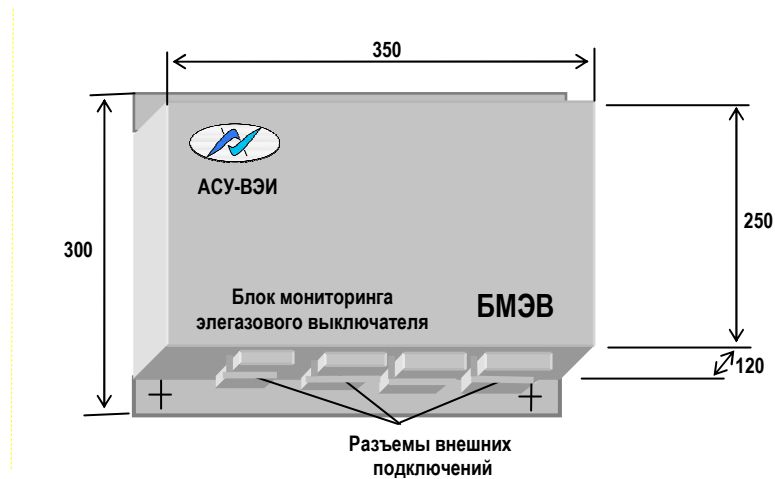


Рис. 3.2. Эскиз внешнего вида БМЭВ

Для поставки БМЭВ на подстанции вне шкафа управления выключателем предусматривается вариант поставки блока в собственном шкафу наружной установки с габаритными размерами 600х600 мм, укомплектованном необходимыми аппаратами защиты цепей питания, клеммниками и уплотнителями для подвода внешних кабелей, системой поддержания температурного режима.