

Состояние оперативной блокировки безопасности на объектах энергетики и мероприятия по повышению её надёжности¹

БОРИСОВ Р.К., ЖУЛИКОВ С.С., КОВАЛЕВ Д.И., КОКОРИН С.А.,
УСИТВИНА А.А., ЧЕРНОКОЗ А.Я.

Представлены результаты комплексной диагностики систем оперативной блокировки безопасности (ОББ) на более чем 60 действующих объектах энергетики. По результатам диагностики проведен анализ их текущего состояния: выявлены основные недостатки и наименее надежные элементы, определены основные причины их возникновения. На основе статистических данных проведен расчет надежности как отдельных элементов, так и системы ОББ в целом: истинное значение вероятности безотказности системы ОББ находится в пределах от 0 до 14 %. Предложены технические решения по усовершенствованию систем ОББ, среди которых применение терминалов с алгоритмом блока логики, использование каналов связи по цепям электропитания или радиоканалов для передачи информации о положении оборудования и разрешении/запрете оперирования тем или иным коммутационным аппаратом, снижение влияния «человеческого фактора» за счет обеспечения принципа полноты системы ОББ (для контроля наличия напряжения в высоковольтной линии, которое может быть подано с противоположной ее стороны, устанавливаются датчики напряжения на линейных разъединителях), непрерывный мониторинг состояния системы посредством самоконтроля и периодические полные проверки ОББ на объектах (рекомендуемая периодичность 5 лет), контроль использования деблокирующих устройств (аварийных ключей) путем регистрации их расположения на объекте с помощью специального датчика, резервирование электропитания системы и каналов передачи информации с помощью отдельной аккумуляторной батареи, суперконденсатора или блока бесперебойного питания, использование экранированных кабелей с заземлением экранов с двух сторон для обеспечения требований ЭМС. Перечисленные технические решения реализованы в системе нового поколения ОББ «Блокпост-1», расчетное значение надежности которой составляет 90%. Работа имеет огромное практическое значение, так как внедрение ее результатов позволяет повысить электробезопасность персонала энергообъектов при осуществлении оперативных переключений.

Ключевые слова: объекты энергетики, оперативный персонал, безопасность, система оперативной блокировки, вероятность безопасной работы

Ошибочные действия оперативного персонала при оперировании разъединителями и заземляющими ножами приводят к авариям и несчастным случаям. В соответствии с требованиями нормативных документов для предотвращения неправильных действий персонала при оперативных переключениях на распределительных устройствах должны применяться ОББ. Существующие системы оперативной блокировки безопасности (ОББ) не выполняют поставленных перед ними задач, так как достаточно часто выходят из строя, а поиск причины неисправности и отказавшего элемента представляет собой продолжительную и трудоемкую процедуру.

Ни одним из нормативных документов не предусмотрен полный периодический контроль состояния ОББ, поэтому в настоящее время отсутствуют объективные данные о текущем состоянии систем блокировок. Информация о состоянии систем ОББ на энергообъектах необходима для определения

причин возникновения дефектов, приводящих систему в нерабочее состояние, и выявления наименее надежных элементов. С этой целью в 2012–2013 гг. сотрудниками ООО «НПФ ЭЛНАП» и НИУ «МЭИ» была проведена диагностика состояния систем блокировки на более чем 60 объектах энергетики.

Системы ОББ, применяемые на энергообъектах. На энергообъектах в распределительных устройствах высокого напряжения применяются различные системы оперативной блокировки, каждая из которых представляет собой совокупность таких элементов, как блок логики, блок-замок и блокируемый элемент (рис. 1).

Механическая блокировка непосредственного действия используется только локально. Механическая замковая и электромеханическая блокировки не допускаются к применению из-за малонадежных блок-замков и низкой ремонтпригодности. Электрическая и программная блокировки применяются в распределительных устройствах с автоматическими (двигательными) приводами. Они не препятствуют ошибочным действиям персонала при переходе на

¹ Работа выполняется в Национальном исследовательском университете «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.



Рис. 1. Структурная схема системы блокировки

ручное управление при потере собственных нужд подстанции. Наибольшее распространение получила электромагнитная блокировка (ЭМБ), используемая в качестве основной системы на действующих энергообъектах и резервной на недавно введенных в эксплуатацию энергообъектах нового поколения.

Ни одна из систем блокировки не предусматривает блокирование заземляющих ножей линейных разъединителей в сторону линии из-за сложности реализации, т.е. не является полной и тем самым не исключает возможности неправильных действий персонала.

Методика диагностики систем ОББ. Так как в нормативной документации отсутствует методика по периодической полной проверке систем блокировки, то для формирования перечня работ, необходимых для определения их работоспособности, было проведено экспресс-обследование систем ОББ на 10 произвольно выбранных энергообъектах. Результаты обследования представлены в виде диаграммы (рис. 2).

Наличие дефектов у всех составляющих ОББ свидетельствует о том, что системы ОББ на большинстве энергообъектов находятся в неудовлетво-

рительном или в нерабочем состоянии, т.е. не соответствуют требованию надёжности при эксплуатации. В связи с этим оперативный персонал бесконтрольно использует деблокирующие устройства при переключениях, что может привести к возникновению аварийных ситуаций.

С учетом требований нормативно-технической документации и использования результатов предварительного экспресс-обследования разработана методика диагностики систем ЭМБ на действующих объектах. Методика включает как традиционные виды проверок (визуальный осмотр, проверка при первичном вводе системы в эксплуатацию) [1, 2], так и новые виды, к которым относится проверка выполнения требований электромагнитной совместимости (ЭМС), проверка правильности составления и сборки логических схем систем. Многие дефекты ЭМБ обусловлены несоблюдением требований ЭМС при их эксплуатации: наводки в кабельных линиях приводят к повреждениям изоляции кабелей и блок-контактов устройств. Необходимость проверки схем логического построения продиктовано тем, что во время эксплуатации объекта очень часто изменяется схема его первичной коммутации или происходит замена отдельных её

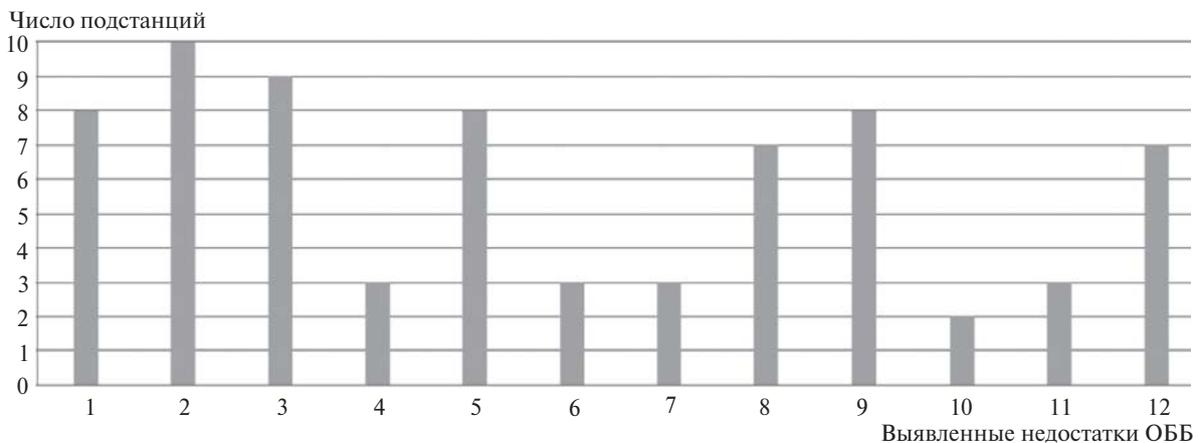


Рис. 2. Дефекты систем ОББ на действующих энергообъектах: 1 – отсутствие схем ОББ; 2 – отсутствие протоколов проверки ОББ; 3 – отсутствие резервного источника питания; 4 – отсутствие аппаратов защиты цепей ОББ; 5 – выработан эксплуатационный ресурс аппаратов защиты; 6 – не собраны логические цепи; 7 – наличие «земли» в логических цепях; 8 – цепи не под напряжением; 9 – неудовлетворительное состояние контроллера сигнальные аппаратуры (КСА); 10 – неполная блокировка; 11 – неудовлетворительное состояние блок-замков; 12 – неисправность ЭМБ в КРУ

элементов. Как правило, эти изменения не учитываются в логических схемах ОББ.

Важным элементом любой системы блокировки является блок логики, который определяет порядок переключений: дает разрешение или запрет на соответствующие операции. В [1, 3] представлены блоки построения логических цепей только по некоторым схемам первичного включения оборудования, для многих первичных схем они отсутствуют. Основная масса схем строится непосредственно для каждого отдельного объекта и не имеет единой формы. Поэтому для удобства составления цепей логического построения ОББ разработан алгоритм, основанный на том, что все цепи логики можно представить совокупностью блоков 1–4 (рис. 3). В алгоритме построения цепей логики отдельно выделены схемы, реализованные на отделителях и короткозамкательях, которые актуальны для старых объектов энергетики. Разработанный алгоритм построения логики систем ОББ может быть реализован в виде единого комплекса. В отличие от схем логики, представленных в нормативной документации, алгоритм позволяет составлять логические цепочки для всех существующих схем первичного включения оборудования.

Разработанная методика позволяет наиболее точно выявить дефекты ОББ, определить причины их возникновения и целесообразна для применения как для вновь вводимых в работу, так и для действующих объектов энергетики.

Результаты комплексной диагностики систем ОББ. По результатам проведенных обследований состояния ОББ на более чем 60 действующих объектах энергетики можно отметить, что практически все установленные в свое время системы механической замковой, электромеханической и электромагнитной блокировки в ячейках комплектных

распределительных устройств (КРУ) в настоящее время являются непригодными к эксплуатации из-за поломки ключей и/или замков.

Установленная на открытых и в закрытых распределительных устройствах ЭМБ исправна только на 7 из 52 объектов. Можно выделить следующие основные неисправности ЭМБ (рис. 4).

1. Отсутствие блока питания цепей ОББ или его непригодность к эксплуатации вследствие выхода из строя отдельных элементов. Выявлено на 25% обследованных объектов. Отказ в работе блока питания приводит к полной неработоспособности всей системы ОББ на объекте.

2. Неисправность 50% кабельных линий из-за пониженного сопротивления изоляции и механических повреждений (обрыва жил). Возникает в результате эксплуатации кабельных линий на открытых распределительных устройствах (кабели находятся в воде), случайного повреждения обслуживающим персоналом, невыполнения условий ЭМС, истечения эксплуатационного ресурса работы. Использование кабелей большой протяженности делает систему очень ненадежной и усложняет ее диагностику.

Пониженное сопротивление изоляции кабельных линий было выявлено на всех энергообъектах с открытыми распределительными устройствами. Кроме того, 3% всех кабельных линий имеют механические повреждения. Неисправности распределительных кабельных линий приводят к частичной неработоспособности системы ОББ на объекте.

3. Неправильная работа блока логического построения на 85% обследованных объектов. К основным причинам некорректной работы блока логики относится неисправность клеммников, блок-контактов и распределительных кабельных линий, с помощью которых собираются цепи логики. В некоторых случаях блок логики был непра-



Рис. 3. Схема блока логики: ЗН – заземлитель; Р – разъединитель; В – масляный выключатель

вильно собран вследствие некорректно составленных логических цепей и ошибок при монтаже. На нескольких объектах блок логики отсутствовал полностью, что связано с отсутствием схемы построения данного блока в нормативной документации для подобных распределительных устройств.

4. Неисправность 60% блок-замков и 80% блок-контактов вследствие механических повреждений из-за неправильных действий персонала или отсутствия должной защиты от погодных-климатических воздействий.

Выход из строя блок-замка, блок-контакта, групповой кабельной линии приводит к неработоспособности системы в пределах присоединения, к которому относится отказавший элемент, и, как следствие, система становится неполной. В любом случае система при отказе какого-либо элемента уже не может выполнять всех поставленных перед ней задач и требует ремонта.

Также следует отметить, что ни на одном из обследованных объектов нет полного комплекта технической документации по ОББ, список которой определён в [1]. Некоторые из электрических и монтажных схем, являющиеся частью проектной документации, устарели и не соответствуют фактическим схемам.

Таким образом, по результатам комплексной диагностики получен большой статистический объём информации, который использован в дальнейшем для разработки технических решений по усовершенствованию систем ОББ.

Расчет надежности систем ОББ. Для разработки технических решений по усовершенствованию сис-

темы ОББ необходимо было провести расчёт надёжности отдельных элементов и системы в целом. Существуют три подхода к определению показателей надёжности: расчетный, экспериментальный и расчетно-экспериментальный. Поскольку были получены статистические данные, надёжность системы ОББ определялась посредством экспериментального метода. Для системы, если ее отказ или отказ отдельных элементов приводит к нарушению безопасности работы обслуживающего персонала, основным показателем надёжности является безотказность, выражающаяся в виде наработки на отказ или вероятности безотказной работы. Оценка надёжности системы ОББ выполнена по показателю вероятности безотказной работы каждого элемента в отдельности и всей системы в целом.

По результатам обследований 33 произвольно выбранных объектов рассчитано необходимое их число для оценки надёжности системы ОББ. Каждая из этих систем включает в себя все необходимые элементы согласно структурной схеме (рис. 5). Число объектов превышает 30, т.е. выходит за пределы малой выборки.

Расчеты показателей безотказности отдельных элементов и системы в целом для каждого из объектов проводились по формулам из [4]:

$$p(t) = P(t) = \frac{N - n(t)}{N}, \quad (1)$$

где N – число объектов, работоспособных в начальный момент времени наблюдений ($t=0$) или

Число неисправных элементов (% общего числа проверенных элементов)

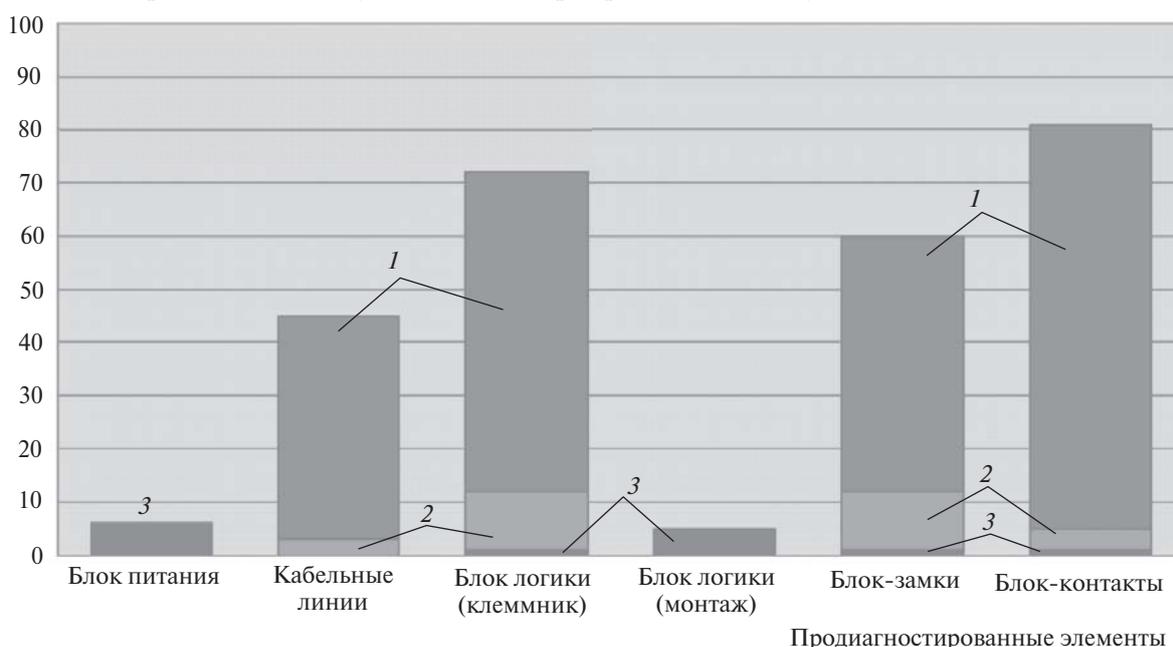


Рис. 4. Результаты диагностики систем ОББ: 1 – погодное-климатическое влияние; 2 – механические повреждения; 3 – производственный брак



Рис. 5. Структурная схема надежности системы ОББ

поставленных на испытание; $n(t)$ – число объектов, отказавших в интервале времени наблюдения от 0 до t ;

$$P(t) = p_1(t), p_2(t), \dots, p_n(t) \quad (2)$$

как для системы с независимыми элементами.

Период времени, используемый при расчетах, принимался равным 20 годам как средний срок эксплуатации системы до ее ремонта. По полученным значениям надежности для каждого из 33 объектов определялись среднее значение и дисперсии. Необходимый объем выборки рассчитывался по формуле [5]:

$$n_0 = \frac{t^2 s^2}{D_x^2}, \quad (3)$$

где D_x – предельная ошибка выборки, равная среднему значению \bar{x} и определяющая при этом максимально возможную ошибку, чтобы не включать отрицательные значения; $t=3, 5$ – «коэффициент доверия».

Расчёты показали, что 16 объектов достаточно, чтобы с вероятностью 99,9% утверждать: истинное значение вероятности безотказности системы ОББ находится в пределах от 0 до 14%. Полученный результат позволяет сделать заключение о низкой надежности существующей системы ОББ.

Элемент	Общее число проверенных элементов / из них неисправных, шт.	Вероятность безотказности
Блок-замки	2886/1714	0,4
Блок-контакты	2976/2395	0,2
Блок питания	33/2	0,94
Блок логики (клеммники)	12640/9020	0,3
Блок логики	44/2	0,95
Кабельные линии	10735/4800	0,6
Система ОББ в целом	–	0,1

Так как каждая из систем ОББ включает в себя различное число элементов и некоторые из обследованных систем являются неполными, то на следую-

щем этапе все обследованные системы сведены к одной. Общее число проверенных и неисправных элементов для такой системы представлено в таблице. Там же приведены рассчитанные показатели надежности отдельных элементов и системы в целом.

Самыми ненадежными элементами системы ОББ являются блок-замки, блок-контакты, клеммные соединения и кабельные линии, т.е. почти все элементы существующей системы блокировки являются малонадежными. Вероятность того, что система блокировки прослужит 20 лет, не превышает 1%. При этом из-за большого числа неисправных и ненадежных элементов ремонт существующих систем ОББ не целесообразен.

Технические решения по усовершенствованию систем ОББ. 1. *Повысить надежность* применяемой системы за счет уменьшения числа используемых в ней элементов, увеличения надежности каждого элемента в отдельности и снижения влияния «человеческого фактора».

Для увеличения надежности блок-замков и блок-контактов необходимо применять устройства, более устойчивые к погоднo-климатическим и механическим воздействиям. Применение терминалов с алгоритмом блока логики и использование информационных каналов связи по цепям электропитания или радиоканалов, передающих сигналы о положении оборудования и разрешении/запрете оперирования тем или иным коммутационным аппаратом (КА), позволит практически полностью убрать из системы многокилометровые кабельные линии и клеммные соединения, что существенно повысит надёжность системы в целом.

Снизить влияние «человеческого фактора» за счет обеспечения принципа полноты системы ОББ. Для контроля наличия напряжения в высоковольтной линии, которое может быть подано с противоположной её стороны, рекомендуется установить датчики напряжения на линейных разъединителях. На основе расчётов электрического поля, создаваемого ошиновкой линейного разъединителя и воздушной линии, определены места установки датчиков напряжения (рис. 6). Аналогичные датчики необходимо устанавливать в ячейках КРУ-6, 10 кВ выкатного типа для заземляющих ножей ячеек.

Реализация данных мероприятий позволяет устранить причины возникновения выявленных дефектов системы, за исключением производствен-

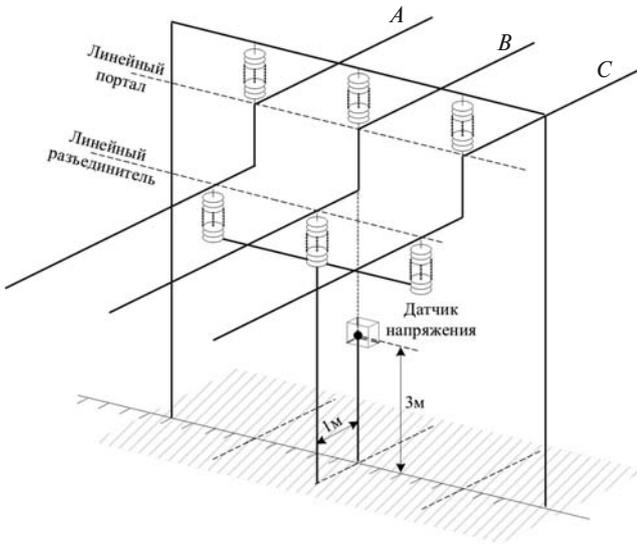


Рис. 6. Рекомендуемое место установки датчика напряжения в линии (уровень расположения ошиновки на высоте 3–4 м – $h = 1$ м, на высоте 4–6 м – $h = 3$ м)

ного брака, и тем самым увеличить вероятность безотказной работы системы до 0,9.

2. Организовать непрерывный мониторинг состояния системы посредством самоконтроля и периодические полные проверки ОББ на объектах с рекомендуемой периодичностью 5 лет.

3. Осуществить контроль применения деблокирующих устройств. Для исключения несанкционированного деблокирования системы следует устранить деблокирующие устройства с блок-замков, а использование деблокирующего ключа (факт его взятия с соответствующего места) должно фиксироваться с помощью датчика. Информация о положении датчика заносится в алгоритм программы самодиагностики системы.

4. Разработать универсальную программу для составления логических цепей блокировки по первичной схеме включения оборудования (с возможностью проверки его оператором).

Вероятность безотказной работы (в течение 20 лет)

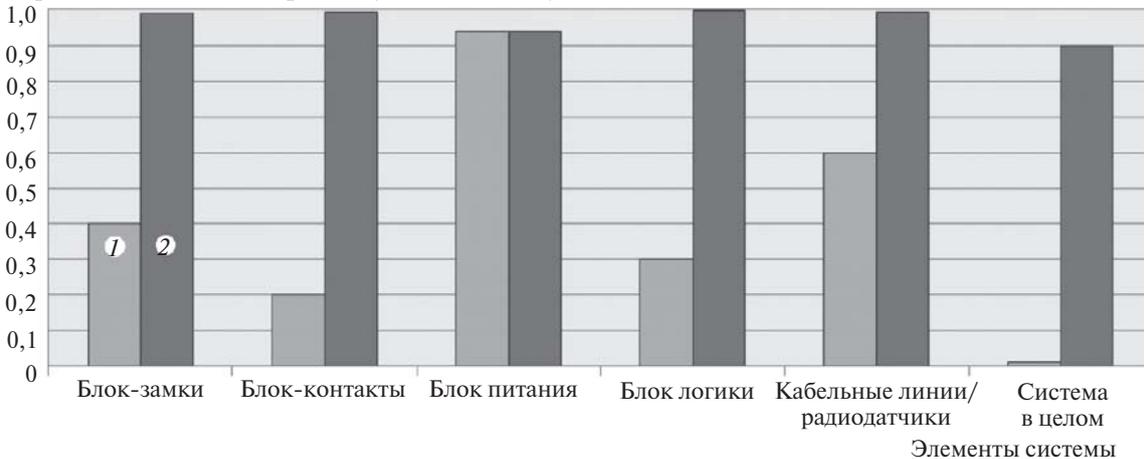


Рис. 7. Диаграмма сравнения вероятностей безотказной работы существующей и усовершенствованной системы ОББ: 1 – существующая система; 2 – новая система

5. Резервировать электропитание системы и каналов передачи информации. В качестве резервного источника питания рекомендуется использовать отдельную аккумуляторную батарею, суперконденсатор или блок бесперебойного питания. Возможность передачи информации о положении оборудования и команд на разрешение/запрет оперирования КА должна обеспечиваться по двум каналам: с использованием цепей электропитания и радиоканала.

6. Использовать экранированные кабели с заземлением экранов с двух сторон для обеспечения требований ЭМС.

Перечисленные технические решения реализованы в системе ОББ «Блокпост-1», структурная схема которой представлена на рис. 8. Система работает следующим образом. В памяти контроллера логики хранится таблица КА с логическими выражениями разрешения на его включение и разрешения на его отключение. Логическое выражение представляет собой булевскую функцию, аргументами которой являются состояния КА. Формирование таблицы логических выражений проводится на стадии пусконаладочных работ системы ОББ с помощью подключенного к контроллеру логики ноутбука и специального программного обеспечения.

Контроллер логики поддерживает актуальной таблицу КА, т.е. логические выражения соответствуют текущим их состояниям. Это достигается циклическим опросом контроллеров КА или инициативной передачей контроллером данных об изменившемся состоянии КА. Такой информационный обмен осуществляется по цепям питания с использованием PLC-модемов. Дополнительно в качестве резервного используется радиоканал в разрешенных диапазонах 868 МГц и 2,4 ГГц с применением сотовой технологии для обеспечения надежности связи.

При истинном значении логического выражения контроллер логики передает сигнал разреше-

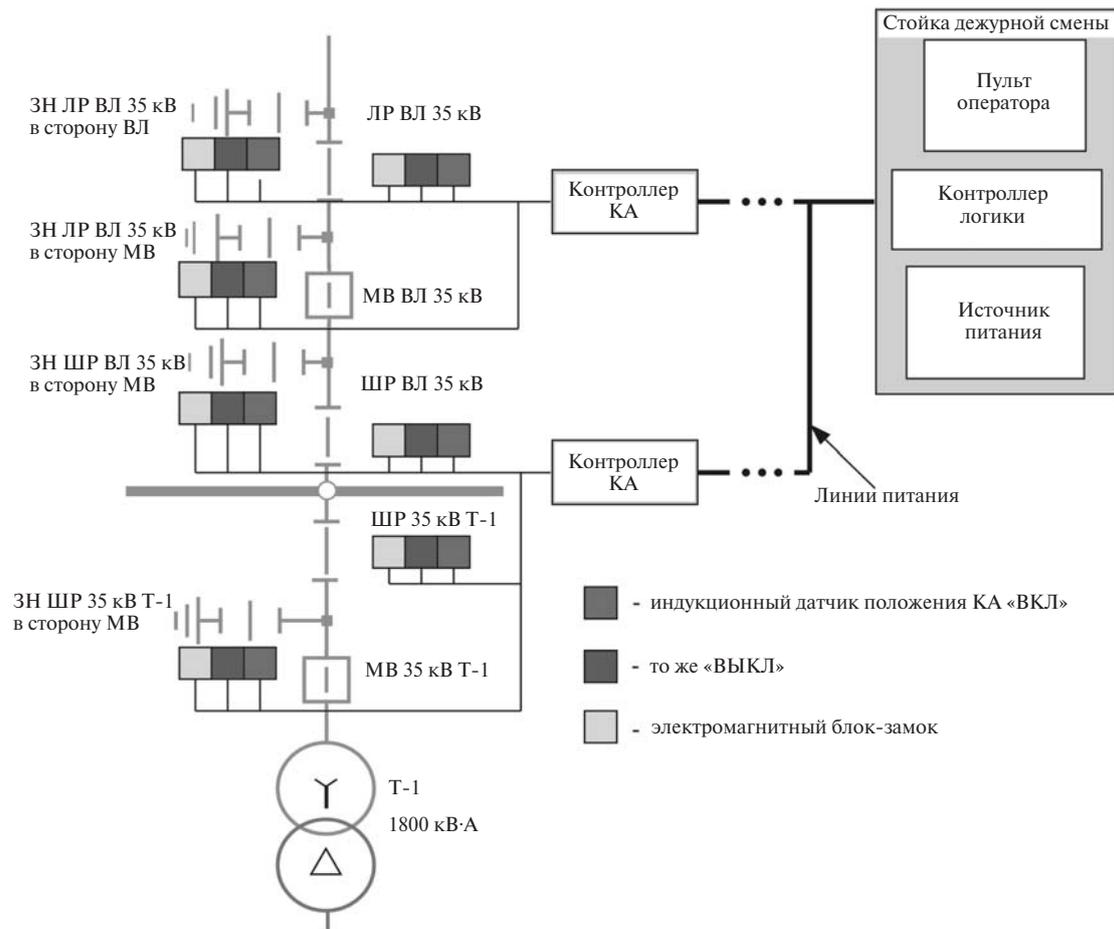


Рис. 8. Структурная схема системы оперативной блокировки «Блокпост-1»: ЛР – линейный разъединитель; ШР – шинный разъединитель

ния на деблокирование. Информация передаётся непосредственно при работе системы в режиме «on-line» или с пульта режимов переключений оператора после инициализации.

Контроллер КА имеет необходимое число дискретных входов: шесть – для индукционных датчиков положения, три – для определения состояния блок-замков, а также три дискретных выхода для управления блок-замками. По запросу контроллер КА передает данные в контроллер логики с помощью встроенного PLC-модема и выполняет команды на деблокирование.

Учитывая техническую оснащенность данной системы электронными устройствами, важнейшей её функцией является самодиагностика. Непрерывно контролируются:

- отсутствие неопределенности в состоянии КА;
- состояние изоляции кабельных линий электропитания;
- работоспособность информационных каналов связи;
- наличие и значение напряжения питания.

Первые три функции самодиагностики реализованы в контроллере логики, а последняя – в контроллере КА.

При выходе из строя электронной части системы она переходит на резервное управление блок-замками.

Важным аспектом функционирования предлагаемой системы является защита от несанкционированных действий при деблокировании системы. В этом случае используются комбинированные способы защиты. Во-первых, физический способ защиты путем установки специальных замков на приборные оболочки (шкафы), где размещаются контроллеры КА, блок-замки и другие узлы системы. Во-вторых, сигнализация, в том числе звуковая, на вскрытие шкафа и деблокирование устройства ОББ при запрещающем состоянии программной блокировки.

Выводы. 1. Из-за отсутствия периодического контроля состояния систем ОББ и неправильной их организации на большинстве энергообъектов ОББ находятся в нерабочем состоянии.

2. Разработанная новая методика диагностики, которая наряду с традиционными видами испытаний включает в себя проверку логического построения схем ОББ и проверку обеспечения требований ЭМС позволяет выявлять неисправные элементы и проводить анализ причин отказов систем ОББ.

3. При проверке работоспособности систем ОББ на действующих энергообъектах в соответствии с новой методикой диагностики было установлено, что применяемые системы ЭМБ являются малонадежными из-за низкой надежности отдельных её элементов и отсутствия их резервирования. Расчётное значение вероятности срока службы системы ОББ более 20 лет не превышает 1%.

4. Разработанные технические мероприятия позволяют повысить надежность системы ОББ до 90%. Это достигается за счёт повышения надежности отдельных элементов ОББ (применения более защищённых от климатических и механических воздействий блок-замков и индукционных датчиков положения вместо блок-контактов КСА), применения терминалов с алгоритмом блока логики и использования информационных каналов связи по цепям электропитания или радиоканалов для передачи сигналов о положении оборудования и разрешении/запрете оперирования тем или иным коммутационным аппаратом, резервирования элементов системы, а также проведения непрерывного мониторинга и периодических проверок системы.

5. Влияние «человеческого фактора» снижается за счет обеспечения принципа полноты системы ОББ. Для контроля наличия напряжения в высоковольтной линии, которое может быть подано с противоположной её стороны, рекомендуется установить датчики напряжения на линейных разъединителях. Для исключения несанкционированного деблокирования системы аварийным ключом предлагается использовать дополнительные системы защиты (механическую, звуковую) и электронную фиксацию его взятия с исходного места с помощью специального датчика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 34.35.512. Инструкция по эксплуатации оперативных блокировок безопасности в распределительных устройствах высокого напряжения. — М.: Союзтехэнерго, 1979.

2. ГОСТ Р 52726—2007. Разъединители и заземлители переменного тока на напряжение свыше 1кВ и приводы к ним. Общие технические условия. — М.: Стандартинформ, 2007.

Elektrichestvo (Electricity), 2014, No. 11, pp. 17–25

3. ТП 407-03-419.87. Схемы оперативной блокировки разъединителей ПС 110–220 кВ (Альбомы I, II). — Информационная сеть «Техэксперт».

4. Гуменик В.М. Надежность и диагностика электротехнических систем: Учебное пос. для вузов. — Владивосток: Изд-во Дальневосточного государственного технического ун-та, 2010, 218 с.

5. Спириин Н.А., Лавров В.В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Конспект лекций/Под общ. ред. Н.А. Спирина. — Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2004, 257 с.

[26.06.14]

Авторы: Борисов Руслан Константинович окончил электроэнергетический факультет (ЭЭФ) Московского энергетического института (МЭИ) в 1971 г. В 1981 г. защитил кандидатскую диссертацию в МЭИ. Ведущий научный сотрудник Национального исследовательского университета «МЭИ» (НИУ «МЭИ»).

Жуликов Сергей Сергеевич окончил ЭЭФ в МЭИ в 1981 г. В 2003 г. в Московском техническом университете связи и информатики защитил кандидатскую диссертацию «Разработка методов и технических средств для решения проблем электромагнитной совместимости на объектах связи». Ведущий инженер НИУ «МЭИ».

Ковалев Дмитрий Игоревич окончил Институт электроэнергетики НИУ «МЭИ» в 2007 г. Аспирант кафедры техники и электрофизики высоких напряжений НИУ «МЭИ».

Кокорин Сергей Анатольевич окончил приборостроительный факультет Владимирского политехнического института в 1980 г. В 1988 г. защитил кандидатскую диссертацию «Разработка и исследование экстраполяционных методов определения статических магнитных характеристик электротехнических стале́й» в Московском приборостроительном институте. Научный сотрудник ООО «НПФ ЭЛНАП».

Уситвина Анна Андреевна окончила НИУ «МЭИ» в 2011 г. Аспирант НИУ «МЭИ».

Чернокоз Александр Яковлевич окончил радиотехнический факультет Казанского авиационного института в 1970 г. Научный сотрудник ООО «НПФ ЭЛНАП».

Analysis of the State of Operative Safety Interlock at Operating Power Facilities and Development of Technical Measures for Improving Its Reliability

R.K. BORISOV, S.S. ZHULIKOV, D.I. KOVALEV, S.A. KOKORIN, A.A. USITVINA
and A.Ya. CHERNOKOZ

Results from comprehensive diagnostics of operative safety interlock systems (OSI) carried out at more than 60 operating power engineering facilities are presented. The current state of these systems is analyzed based on the results of the performed diagnostics: the main shortcomings and the least reliable elements are revealed, and the main factors causing their occurrence are determined. The reliability of individual

components and of the entire OSI system is calculated on the basis of statistical data: the true probability of OSI system failure-free operation lies in the range from 0 to 14%. Technical solutions on improving OSI systems are proposed, including the use of terminals with a logic block algorithm, the use of communication channels via the power supply circuits or radio channels for transmitting information about the position of equipment and permitting/prohibiting to manipulate with one or another switching apparatus), reducing the influence of the human factor by fulfilling the OSI system completeness principle (for checking the availability of voltage in a high-voltage power line, which can be applied from the opposite end, voltage sensors are installed on the line disconnecter switches), continuous monitoring of system state by carrying out its self-checks and periodic full checks of OSI at the facilities (the recommended frequency is once in 5 years), checking the use of unblocking devices (emergency switches) by recording their position at the facility using a dedicated sensor, backing up power supply of the system and data transmission channels using an individual storage battery, supercapacitor, or an interruptible power supply, and using shielded cables with their shields grounded at both ends to fulfill the electromagnetic compatibility requirements. The above-mentioned technical requirements are implemented in the new-generation Blockpost-1 OSI system, the calculated reliability of which is equal to 90%. The presented work is of great practical significance because the use of its results for practical applications makes it possible to achieve a higher level of electrical safety for the personnel of power facilities in making operative switching operations.

Key words: power engineering facilities, operative personnel, safety, operative interlock system, probability of failure-free operation

REFERENCES

1. **RD 34.35.52.** *Instruktsiya po ekspluatatsii operativnykh blokirovok bezopasnosti v raspredelitel'nykh ustroystvakh vysokogo napryazheniya* (Operating manual for manipulating operative safety interlocks in high-voltage switchgears). Moscow. Publ. «Soyuztekhenergo», 1979.
 2. **GOST R 52726–2007.** *Razyediniteli i zazemliteli peremennogo toka na napryazheniye svyshe 1 kV i privody k nim. Obshchiye tehnikeskiye usloviya* (AC disconnecting and grounding switches for rated voltages above 1 kV and their drives. General specifications). Moscow. Publ. «Standartinform», 2007.
 3. **TP 407-03-419.87.** *Skhemy operativnoi blokirovki raz'yedinitelei PS 110–220 kV (Albomy I, II)* (Operative interlock circuits of disconnecter switches at 110–220 kV substations (Albums I, II). IS Tekhexpert). Informatsionnaya set' «Technoexpert» (Information network «Technoexpert»).
 4. **Gumenyuk V.M.** *Nadezhnost' i diagnostika elektrotekhnicheskikh system* (Reliability and diagnostics of electrical engineering systems). Vladivostok. Publ. «Dal'nii Vostok State Technical University, 2010, 218 p.
 5. **Spirin N.A., Lovrov V.V.** *Metody planirovaniya i obrabotki rezultatov inzhenernogo eksperimenta/Pod obshchei redaktsiyey N.A. Spirina* (Methods for planning and processing the results from an engineering experiment. Edit. by N.A. Spirin). Ekaterinburg. Publ. «Ural State Technical University–UPI», 2004, 257 p.
- Authors:* **Borisov Ruslan Konstantinovich** (Moscow, Russia) – Cand. Tech. Sci. He is a Leading Scientific Researcher of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (NRU «MPEI»).
- Zhulikov Sergei Sergeyevich** (Moscow, Russia) – Cand. Techn. Sci., Ye is a Leading Engineer of the NRU «MPEI».
- Kovalev Dmitrii Igorevich** (Moscow, Russia) – Ph. D. Student in the NRU «MPEI».
- Kokorin Sergei Anatol'yevich** (Moscow, Russia) – Cand. Techn. Sci. He is a Scientific Researcher in the LLC «NPF ELNAP».
- Usitvina Anna Andreevna** (Moscow, Russia) – Ph. D. Student in the NRU «MPEI».
- Chernokoz Sergei Anatol'yevich** (Moscow, Russia) – Cand. Techn. Sci., He is a Scientific Researcher in the LLC «NPF ELNAP».