

## Оценка надежности системы оперативной блокировки безопасности с программной логикой<sup>1</sup>

БОРИСОВ Р.К., КОКОРИН С.А., КОЧУРОВ О.М., ЧЕРНОКОЗ А.Я.

Проанализировано современное состояние блокировок на подстанциях 6–750 кВ. Показано, что обследования выявляют многочисленные неисправности блокировок. Приводится расчет надежности для новой системы блокировок с микропроцессорным управлением и беспроводной связью между ее компонентами. Расчет подтверждает, что надежность новой системы значительно превосходит надежность существующих.

Ключевые слова: электрическая подстанция, оперативная блокировка, надежность, вероятность безотказной работы

В НИУ «МЭИ» разрабатывается перспективная система оперативной блокировки безопасности (ОББ). Система, структурная схема которой представлена на рис. 1, обладает следующими преимуществами [1, 2]:

а) система представляет собой полностью законченный самостоятельный комплекс, включающий исполнительные устройства, локальные контроллеры, коммуникационные устройства, блок

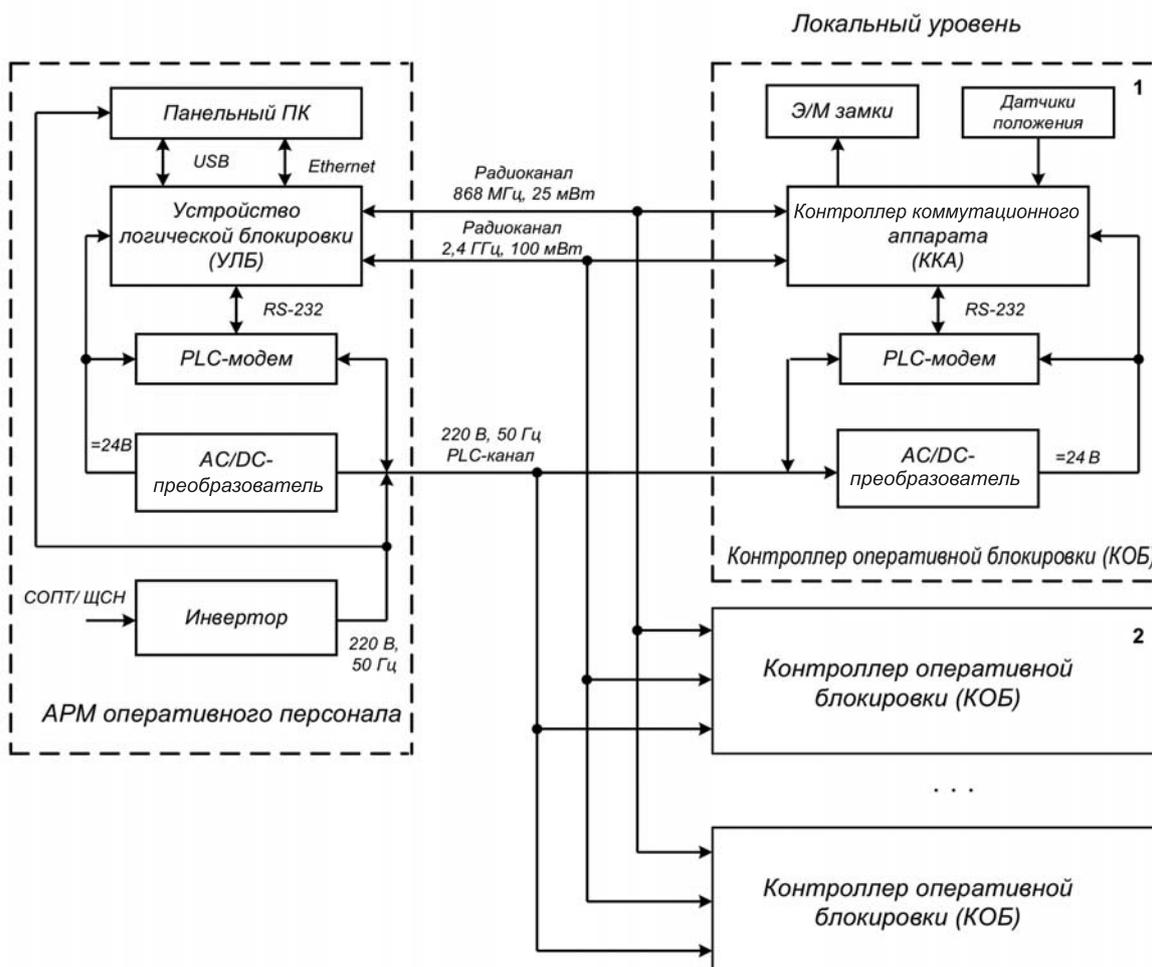


Рис. 1. Структурная схема системы ОББ

<sup>1</sup> Работа выполняется при финансовой поддержке Минобрнауки РФ.

управления, систему питания и компьютерное программное обеспечение;

б) беспроводной способ связи между элементами системы с резервированием коммуникационных каналов;

в) оригинальная конструкция исполнительных устройств, допускающая установку независимо от существующей устаревшей системы блокировки;

г) гибкая программируемая логика управления, позволяющая реализовать практически любые логические схемы без ограничений;

д) возможность обслуживания шести коммутационных аппаратов одним контроллером;

е) работа в климатических условиях от  $-40$  до  $+55^\circ$ ;

ж) наличие цифровых интерфейсов, предназначенных для встраивания в компьютеризированные системы для удаленного мониторинга или управления.

В настоящее время данная система проходит опытную эксплуатацию на подстанциях Подмосковья: на ПС 110 кВ № 118 «Кубинка» и на ПС 110 кВ № 193 «Троицкая». Целью испытаний является не только проверка работоспособности системы в рабочих условиях применения, но и выявление реакции эксплуатационного персонала на перспективную, на наш взгляд, систему.

Отношение к системе оказалось прогнозируемо – явный скептицизм, вызванный, прежде всего, сомнением в ее надежности из-за сложности системы. Действительно, для данной системы, с точки зрения ее широкого внедрения, принципиальны ответы на два вопроса: какова экономическая эффективность внедрения такой системы и какова надежность системы. Экономические показатели проекта системы ОББ – это отдельная тема для обсуждения. Тем более экономическая эффективность существенным образом зависит от параметров конкретного объекта, в котором устанавливается система.

Остановимся на оценке надежности системы. Вначале рассмотрим надежность традиционной системы ОББ по показателю безотказности. По своей конструкции такая система является с точки зрения надежности последовательной с разнотипными элементами (рис. 2).

Так как при последовательном соединении отказ любого из элементов системы приводит, как

правило, к отказу системы, то вероятность безотказной работы системы в целом определяется как произведение вероятностей для независимых событий:

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

Сотрудниками кафедры техники и электротехники высоких напряжений НИУ «МЭИ» были обследованы системы ОББ пятидесяти энергообъектов. Результаты представлены в таблице.

Как известно, вероятность безотказной работы (функция надежности) определяется согласно формуле [3]:

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

где  $N$  – число объектов, работоспособных в начальный момент времени наблюдений ( $t = 0$ ) или поставленных на испытание;  $n(t)$  – число объектов, отказавших в интервале времени наблюдения от 0 до  $t$ .

В соответствии с имеющимися данными были рассчитаны показатели безотказности каждого из элементов. Результаты расчетов также приведены в таблице.

Общая вероятность безотказной работы системы:

$$P_c = \prod_{i=1}^n P_i = 0,01.$$

Таким образом, получаем: вероятность того, что система блокировки прослужит 20 лет, не превышает 1%.

Оценим надежность предлагаемой системы:

$$P_c(t) = p_{б.з}(t)p_{д.п}^{n_{д.п}}(t)p_{к.о.б}^{n_{к.о.б}}(t)p_{к.с}(t)p_{у.л.б}(t)p_{б.п}(t),$$

где  $P_x(t)$  – вероятность безотказной работы каждого элемента в соответствии с рис. 3;  $n_x$  – число однотипных элементов (здесь  $x$  – элемент из рис. 3). Численные значения вероятностей приведены далее:

Элемент	Вероятность безотказности
Блок-замок	$p_{б.з}(t) = 0,4$
Датчики положения	$p_{д.п}(t) = 0,99$
Контроллер оперативной блокировки	$p_{к.о.б}(t) = 0,95$
Устройство логической блокировки	$p_{у.л.б}(t) = 0,95$
Блок питания	$p_{б.п}(t) = 0,94$



Рис. 2. Структурная схема надежности традиционной системы ОББ

Элемент	Общее число (шт.) / из них неисправно	Причина неисправности	Число неисправных элементов	Вероятность безотказности
Блок-замки	2886/1714	Механические повреждения	310	0,4
		Погодно-климатическое влияние	1380	
		Производственный брак	24	
Блок-контакты	2976/2395	Механические повреждения	120	0,2
		Погодно-климатическое влияние /Окисление контактов	2255	
		Производственный брак	20	
Блок питания	33/2	Производственный брак	2	0,94
Блок логики (клеммники)	12640/9020	Механические повреждения	1390	0,3
		Погодно-климатическое влияние /Окисление контактов	7560	
		Производственный брак	70	
Блок логики	44/2	Нарушения при монтаже	2	0,95
Кабельные линии	10735/4800	Механические повреждения	295	0,6
		Пониженное сопротивление изоляции	4505	

Структурная схема надежности представлена на рис. 3.

Значение  $p_{к.с}(t)$  должно быть определено исходя из следующего:

1) допустимое время передачи сообщений по каналам связи составляет 10 мин (с учетом повторов); число повторов за это время  $m=5$ ;

2) вероятность безошибочной передачи сообщения составляет  $n=0,98$ ;

3) каждое сообщение передается по одному основному и двум резервным каналам связи, а общее число каналов связи  $n=3$ .

В связи с этим вероятность отказа всех каналов связи [3], продолжающаяся более 10 мин, окажется пренебрежимо малой величиной, а вероятность безотказной работы практически равна единице:

$$p_{к.с}(t) = 1 - (1 - p_1)^{mn} - 1 - (1 - 0,98)^{5 \times 3} \approx 1.$$

Далее из расчетов величина  $p_{к.с}(t)$  исключается.

Подставив ранее приведенные данные и задавшись средними параметрами  $p_{д.п}$  и  $p_{к.о.б}$ , получим:

$$p_c(t) = 0,4 \times 0,99^{48} \times 0,95^2 \times 0,95 \times 0,94 = 0,2095.$$

Таким образом, надежность предлагаемой системы по вероятности безотказной работы существенно выше.

Другим важным показателем надежности является контролепригодность, т.е. свойство объекта к диагностированию технического состояния: определение работоспособности, места и вида отказа, выявление причин. В этом отношении существующие системы принципиально не обладают контролепригодностью. Диагностирование возможно только при выводе системы из эксплуатации или при организации переключений, когда замыкается цепь релейной логики.

В предлагаемой системе функция самодиагностики является встроенной и постоянно активной. При этом возможна удаленная публикация результатов диагностирования.

Средства самодиагностики обеспечивают следующие преимущества.

1. Новая система, отличающаяся централизованным сбором и визуализацией данных о положении коммутационных аппаратов, позволяет выявить причину ошибочной блокировки за несколько минут. В то время как неисправный блок-кон-



Рис. 3. Структурная схема надежности предлагаемой системы

такт или место обрыва кабельной линии в устаревших блокировках не могут быть быстро обнаружены.

2. Периодический обмен цифровыми тестовыми сообщениями между центральным и локальным уровнями системы и удаленный мониторинг позволяют определить неисправность контроллера оперативной блокировки. Важно, что неисправность при этом выявляется в течение нескольких часов после возникновения, а не в ходе переключений коммутационных аппаратов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов Р.К., Жуликов С.С., Ковалев Д.И., Кокорин С.А., Уситвина А.А., Чернокоз А.Я. Состояние оперативной блокировки безопасности на объектах энергетики и мероприятия по повышению ее надежности. — *Электричество*, 2014, № 11, с. 17–25.

2. Борисов Р.К., Кокорин С.А., Кочуров О.М., Чернокоз А.Я. Некоторые вопросы проектирования и модернизации устройств блокировки в приводах коммутационных аппаратов. — *Вестник МЭИ*, 2014, № 4, с. 37–40.

3. Гуменюк В.М. Надежность и диагностика электротехнических систем. — Владивосток.: Изд-во Дальневост. гос. техн. ун-та, 2010, 218 с.

[01.07.15]

*Elektrichestvo (Electricity)*, 2015, No. 11, pp. 67–70.

## Evaluation of Reliability of Operational Safety Interlocks with Software Logic

**BORISOV Ruslan Konstantinovich** (*National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (NRU «MPEI»), Moscow, Russia*) — *Leading Scientific Researcher, Cand. Sci. (Eng.)*

**KOKORIN Sergei Anatol'yevich** (*LLC «NPF ELNAP», Moscow, Russia*) — *Scientific Researcher, Cand. Sci. (Eng.)*

**KOCHUROV Oleg Mikhailovich** (*NRU «MPEI», Moscow, Russia*) — *Engineer, Cand. Sci. (Eng.)*

**CHERNOKOZ Aleksandr Yakovlevich** (*LLC «NPF ELNAP», Moscow, Russia*) — *Scientific Researcher*

*The current condition of the lockout at 6–750 kV substations is discussed. It has been shown that surveys reveal numerous lockout faults. The calculation for the reliability of new lockout system with microprocessor control and wireless communication between its components is given. The calculation confirms that the reliability of new system is much superior to the reliability of the existing ones.*

**Key words:** *electrical substation, safety lockout, reliability, survival function*

#### REFERENCES

1. Borisov R.K., Zhulikov S.S., Kovalev D.I., Kokorin S.A., Usitvina A.A., Chernokoz A.Ya. *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2014, No. 11, pp. 17–25.

2. Borisov R.K., Kokorin S.A., Kochurov O.M., Chernokoz A.Ya. *Vestnik Moskovskogo Energeticheskogo Instituta – in Russ. (Moscow Power Engineering Institute Bulletin)*, 2014, No. 4, pp. 37–40.

*Авторы: Борисов Руслан Константинович окончил электроэнергетический факультет Московского энергетического института (МЭИ) – ныне Национальный исследовательский университет – (НИУ «МЭИ») в 1971 г. В 1981 г. защитил кандидатскую диссертацию. Ведущий научный сотрудник 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 электрических сталей». Научный сотрудник ООО «НПФ ЭЛНАП».*

*Кочуров Олег Михайлович окончил факультет информатики и прикладной математики Владимирского государственного университета в 2002 г. В 2009 г. защитил кандидатскую диссертацию «Разработка и исследование программно-аппаратных средств для передачи цифровых сигналов по электрическим распределительным сетям». Инженер кафедры техники и электрофизики высоких напряжений НИУ «МЭИ».*

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

3. Gumenyuk V.M. *Nadezhnost' i diagnostika elektrotekhnicheskikh sistem* (Reliability and Diagnostics of the Electrical Engineering Systems). Vladivostok, Publ. Far Eastern State Technical University, 2010, 218 p.

