

УДК 621.316.9

**И. А. БЕРШАДСКИЙ** (канд. техн. наук, доц.)  
Государственное высшее учебное заведение  
«Донецкий национальный технический университет»  
ibersh@rambler.ru

## **ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ИСКРОБЕЗОПАСНЫХ СХЕМАХ ШАХТНЫХ ГОЛОВНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ**

*Приведены соотношения для сравнительного определения чувствительности датчиков короткого замыкания в искробезопасных аккумуляторных шахтных головных светильниках. Даются рекомендации по выбору их оптимальных параметров.*

**Искробезопасность, аккумуляторный светильник, уравнение коммутации, энергия воспламенения, датчик, оценка опасности**

**Постановка проблемы.** Для освещения подземных выработок шахт, учитывая специфические и особо тяжелые условия эксплуатации, необходимо применение рудничных светильников в специальном исполнении. Согласно правилам безопасности каждый подземный рабочий должен снаряжаться индивидуальными средствами освещения. С этой целью широкое распространение получили переносные аккумуляторные или шахтные головные светильники (ШГС).

Большинство аккумуляторных светильников содержат отдельную фару, закрепляемую на головной каске и аккумуляторный блок на пояском ремне. Опыт эксплуатации головных светильников типа СГГ-3 с герметизированной батареей  $4,5 \pm 1$  В и лампой накаливания с потребляемым током  $0,5 \dots 1$  А показал, что наиболее опасным режимом, влияющим на их искробезопасные свойства, является короткое замыкание (КЗ) между жилами шнура. Его могут вызывать различные эксплуатационные причины: разрушение изоляции жил под воздействием масел, разрыв сердечника, повреждение оболочки, некачественная разделка жил под крышкой светильника. В некоторых случаях это приводит к загоранию шнура и корпуса светильника.

Согласно экспериментам, проведенным в работе [1], ток КЗ без принятия специальных мер превышает 6 А и может достигать 150 А. При замыкании в шнуре типа АПМ-2×1 указанный ток составляет  $35,5 \dots 114$  А. В то же время начальные токи заряда некоторых батарей могут достигать  $7 \dots 10$  А, поэтому при выборе защиты по нижним значениям тока КЗ могут появляться ложные срабатывания защиты при заряде.

В старых типах ШГС, не оснащенных специальными электронными блоками искрозащиты, для предотвращения опасности КЗ применялись плавкие вставки предохранителей. Учитывая, что разрываемый ток превышает искробезопасное значение, конструкция предохранителя должна быть взрывобезопасной, что увеличивает габариты и вес светильника.

Дальнейшие исследования, проведенные в МакНИИ показали, что защита плавким предохранителем эффективна только при протекании по шнуру длительных токов КЗ, приводящих к его загоранию. Это не исключает в полной мере опасность возникновения открытого искрения в поврежденном шнуре, последствием которого может стать зажигание МВС.

В [1] установлено, что целесообразно защиту от КЗ выполнять быстродействующей с временем локализации повреждения, образуемого при замыкании остальных жил не более 7 мкс. Плавкая вставка обеспечивает время перегорания  $18 \dots 90$  мс в зависимости от тока, что намного выше промежутка времени замкнутого состояния контактирующих жил.

Современные ШГС характеризуются наличием в них источников света нового поколения – сверхярких светодиодов, а также развитыми схемами искрозащиты и управления. Они имеют ряд преимуществ по сравнению с применяемыми в настоящее время аккумуляторными светильниками. Среди них можно выделить надежность (срок работы светодиода увеличен в 100 раз и составляет более 100 000 часов), экономичность (потребляемый ток уменьшен более чем в 2 раза), уменьшение массы и габарита более чем в 2 раза, способность адаптироваться к действующим зарядным станциям, обеспечение особо взрывобезопасного исполнения.

**Анализ исследований и публикаций.** В работах [2, 3] представлены подходы, которые используются в современных электронных блоках искрозащиты ШГС. Они содержат электронный ключ с точкой соединения с потребителем электроэнергии, ключ управления электронным ключом, выход которого подключен к управляющему входу электронного ключа, датчик сигнала при перегрузках и датчик сигнала при коммутации, которые включены последовательно с электронным ключом в канал потребителя электроэнергии. Их выходы связаны со схемой управления электронным ключом.

Датчиком сигнала при перегрузках и датчиком сигнала при коммутации являются в 1-м варианте резистор и дроссель, во 2-м – трансформаторы, первичные обмотки которых включены последовательно с

электронным ключом в канал потребителя электроэнергии, в 3-м варианте – датчик коммутации в виде трансформатора тока и насыщающегося трансформатора тока для выделения сигнала при перегрузках.

Сравнительная характеристика эффективности работы указанных блоков искрозащиты (БИЗ) не проводилась, и данные об их оптимальных параметрах отсутствуют.

**Цель статьи** состоит в анализе способов, применяемых в блоках искрозащиты ШГС с электронным ключом и сравнения относительной чувствительности их воспринимающих узлов в динамических условиях работы.

**Результаты исследований.** Основные параметры цепей ШГС приведены в табл. 1 и проиллюстрированы расчетными схемами (рис. 1 и 2).

Таблица 1- Исходные данные для расчета блоков искрозащиты ШГС

Аккумуляторная батарея (АБ)	$U_{AB} = 4,5 \text{ В}$ Внутреннее сопротивление источника $R_{вн} = 0,006 \text{ Ом}$ , $X_{вн} = 0$		
Соединительная цепь	$R_c = 0,3 \text{ Ом}$ $L_c = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$		
Нагрузка	$R_n = 5,4 \text{ Ом}$ $X_n = 0$		
Схема 1 (рис. 1)		Схема 2 (рис. 2)	
Датчик коммутации (ДК)	$R_d = 0,66 \text{ Ом}$	Число витков обмоток трансформатора тока	- первичной $W_1 = 1$ виток - вторичной $W_2 = > 1$ витка
		Коэффициент связи контуров	$a = 0,96$
		Взаимная индукция контуров $L_1$ и $L_2$	$M = a \sqrt{L_1 L_2} = 6,581 \cdot 10^{-5}$

При возникновении дугового разряда в цепи добавляется сопротивление дуги  $R_d$ , которое независимо от рода тока можно считать чисто активным [4], но зависящим от напряжения дуги  $U_d$  и тока:  $R_d = U_d / i$ . Сопротивление дуги изменяется в широких пределах, однако целесообразно рассмотреть случай, при котором энергия устойчивой дуги максимальна. Исследованиями показано, что для этого сопротивление дуги должно быть равно сопротивлению нагрузки установившегося режима цепи, т.е. при коротком замыкании цепи  $R_d = R_c$ .

Получим зависимости, определяющие величину динамического коэффициента чувствительности датчиков выделения сигнала БИЗ. Этот коэффициент определяется отношением относительного приращения выходной величины  $\Delta y / y$  к относительному приращению входной величины

$\Delta x / x$ :  $S_d = \frac{dy(t) / y(t)}{dx(t) / x(t)} = \frac{dy(t) / dx(t)}{y(t) / x(t)}$  Его удобно выражать в относительных единицах. Относительный

коэффициент чувствительности для преобразователя с пропорциональной характеристикой  $S_d = 1$ .

#### Способ 1.

Схема реагирует на изменение абсолютного значения тока  $i$  при перегрузке, создающего падение напряжение в элементах управления электронным ключом Кл (рис. 1).

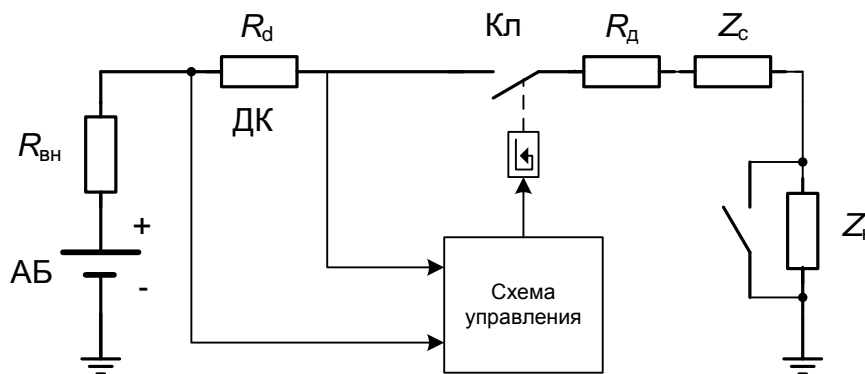


Рисунок 1 - Электрическая структурная схема шахтного головного аккумуляторного светильника с резистивным датчиком

Переходный процесс при коротком замыкании нагрузки определяется уравнением:

$$E = i \cdot R_{\text{вн}} + 2 \cdot R_c \cdot i + i \cdot R_d + L_c \cdot \frac{di}{dt} \quad (1)$$

Решение представим в виде суммы установившейся и свободной составляющих:  $i = i_y + i_{\text{св}}$ .

$$i_y = E / (R_{\text{вн}} + 2R_c + R_d) = E / R, \quad (2)$$

$$i_{\text{св}} = Ae^{-t/\tau},$$

где  $\tau = L_c / R$  - постоянная времени первичной цепи датчика, с.

После определения постоянной интегрирования  $A$ , получим:

$$i(t) = \frac{E}{R} \left( 1 - \frac{R_{\text{н}}}{R + R_{\text{н}}} e^{-t/\tau} \right) \quad (3)$$

Чувствительность датчика в динамическом режиме постоянна:

$$S_d = \frac{du_{R_d}(t)/dt}{u_{R_d}(t)} \cdot \frac{i(t)}{di(t)/dt} = 1, \text{ т.е. это датчик пропорционального типа.}$$

### Способ 2.

Принцип работы схемы состоит в реакции датчика на приращение тока цепи нагрузки, то есть сигнала приращения  $\frac{di}{dt}$  в первичной обмотке трансформатора тока (рис. 2).

Рассмотрим переходный процесс во 2-м контуре датчика коммутации (ДК), представляющем собой трансформатор тока (ТА1). К его вторичной обмотке подключен преобразователь сигнала при перегрузке или коммутации, который с помощью ряда дополнительных блоков действует на схему управления электронного ключа.

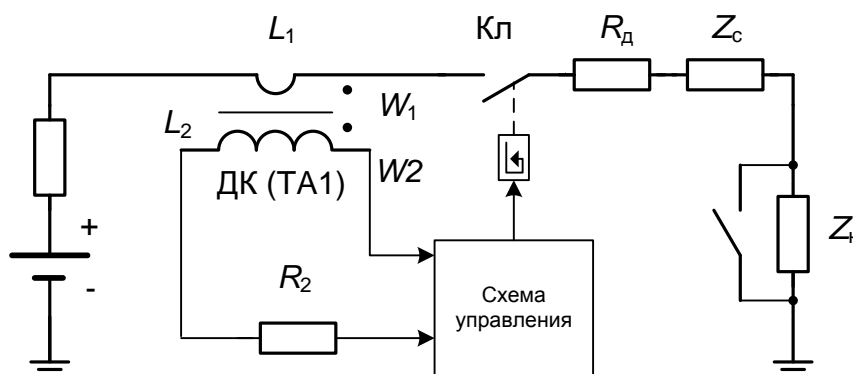


Рисунок 2 Электрическая структурная схема шахтного головного аккумуляторного светильника с индуктивным датчиком

Индуктируемый во 2-м контуре ( $L_2, R_2$ ) ток  $i_2$  определяется дифференциальным уравнением:

$$L_2 \frac{di_2}{dt} + R_2 i_2 + M \frac{di_1}{dt} = 0, \quad (4)$$

где  $i_1, i_2$  - токи в обмотках  $W1, W2$  ТА1;

$$\frac{di_1}{dt} = k - \text{ скорость изменения тока в 1-й обмотке ТА1.}$$

Решение уравнения (4) имеет вид:

$$i_2 = \frac{Mk}{R_2} \left( 1 - e^{-\frac{R_2}{L_2} t} \right) \quad (5)$$

Чувствительность датчика в динамическом режиме:

$$S_d = \frac{du_g(t)/dt}{u_g} \frac{i_2(t)}{di_2(t)/dt} = e^{\frac{R_2 t}{L_2}} \left( e^{-\frac{R_2 t}{L_2}} - 1 \right). \quad (6)$$

С точки зрения чувствительности датчика следует найти характерную величину отношения постоянной времени  $\frac{L_2}{R_2}$  и длительности разряда  $T = 7$  мкс. Принимаем одинаковую скорость возрастания тока нагрузки  $k = 99772$  А/с, что соответствует моменту  $T$  развития аварийного режима.

В таблице 2 приведены результаты расчетов зависимости  $S_d(L_2 / R_2 T)$  при постоянном сопротивлении  $R_2 = 130$  Ом.

Таблица 2 – Расчет параметров датчика по способу 2

$\gamma = L_2 / R_2 T$	$L_2$	$S_d$
0,549	0,0005	5,17
1,033	0,00094	1,639
1,099	0,001	1,484
<b>&lt;1,446</b>	<b>0,00131</b>	<b>&gt;1</b>
2,198	0,002	0,576
3,297	0,003	0,34

Указанные в табл. 2 параметры сети и нагрузки соответствуют критическому значению отношения  $\gamma = 1,446$ . При  $\gamma \leq \gamma_{кр}$  -  $S_d \geq 1$ , а при  $\gamma > \gamma_{кр}$  -  $S_d < 1$ , т.е. динамическая чувствительность хуже по сравнению с пропорциональным датчиком по способу 1.

Это же соотношение соблюдается для других контрольных длительностей разряда  $T$ .

### Способ 3.

Динамические параметры блока искрозащиты могут быть в некоторой степени повышены за счет уменьшения индуктивности 2-й обмотки трансформатора тока [4] вследствие его насыщения в аварийном режиме. Рассмотрим переходный процесс при коротком замыкании нагрузки для этого БИЗ.

Пусть изменение индуктивности 2-й обмотки ТА1 задается зависимостью

$$L(i) = L_0(1 + \mu\phi(i)), \quad (7)$$

где  $L_0 = 0,00047$ ,  $\mu = 1$ ,  $\beta = 70$ ,  $\phi(i) = \frac{3}{2\beta i} \frac{\sinh(2\beta i) - \sin(2\beta i)}{\cosh(2\beta i) - \cos(2\beta i)}$ .

Коэффициенты  $\mu$  и  $\beta$  подбираются т.о., чтобы изменение  $L$  происходило при токах, начиная с 0,05 А, что следует из расчетов по способу 2.

Дифференциальное уравнение переходного процесса в цепи короткого замыкания нагрузки:

$$0 = L(i) \frac{di_2}{dt} + R_2 i_2 - M \frac{di_1}{dt}; \quad (8)$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{-i_2 R_2 + M \cdot k}{L(i)}.$$

Начальный ток КЗ 2-й обмотки ТА1  $i(0) = 0 \approx 10^{-5}$  А.

Решение нелинейного ДУ по методу Эйлера:

$$i_{2j+1} = i_{2j} + hf(i_{2j}, t_j) = i_{2j} - h \frac{i_{2j} R_2 - Mk}{L(i_{2j})}, \quad (9)$$

где  $h = 0,5 \cdot 10^{-6}$  – шаг расчета по времени, с;

$k = 99742$  А/с.

### Выводы.

1 Основываясь на приведенной выше методике, рекомендуется согласовывать параметры датчиков блоков искрозащиты ШГС, защищающих от коротких замыканий с параметрами соединительной сети и нагрузки.

2. Для обеспечения высокой чувствительности датчиков блоков искрозащиты ШГС необходимо выбирать коэффициент  $\gamma < 1,446$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ткачук С.П. Взрывопожаробезопасность горного оборудования / Ткачук С.П., Колосок В.П., Ихно С.А.-К.: Основа. 2000. - 698с.
2. Пат. 5833 Україна, МПК E21 F09/00. Блок іскрозахисту / Липовецький Л.С., Бенін Є.Ю., Фельдман С.Д., Федоренко Г.Л., Левін І.Р. - №20040907343; заявл. 15.03.2005; опубл. в Бюл., 2005, №3 .
3. Пат. 49348 А Україна, МПК E21 F09/00. Іскробезпечне джерело живлення / Левін І.Р., Федоренко Г.Л. - №2001117798; заявл. 16.09.2002; опубл. в Бюл., 2002, №9.
4. Родштейн Л. А. Электрические аппараты низкого напряжения / Родштейн Л. А. – М.: Энергия, 1964. – 363 с.

Надійшла до редколегії 16.03.2011

Рецензент: О.П. Ковальов

І.А. БЕРШАДСЬКИЙ

Державний вищий навчальний заклад  
«Донецький національний технічний університет»

**Вибір параметрів давача короткого замикання в іскробезпечних схемах шахтних головних акумуляторних світильників.** Наведені співвідношення для порівняльного визначення чутливості датчиків короткого замикання в іскробезпечних акумуляторних шахтних головних світильниках. Даються рекомендації з вибору їхніх оптимальних параметрів.

*Іскробезпечність, акумуляторний світильник, рівняння комутації, енергія запалення, давач, оцінка небезпеки.*

I. BERSHADSKY

State Institution of Higher Education  
«Donetsk National Technical University»

**Choice of Parameters of the Gauge of Short Spark Safety Electric Circuit Schemes of Mine Head Storage Fixtures.** Ratio for comparative definition of sensitivity of gauges on short spark safety electric circuit storage mine head fixtures are resulted. Recommendations for choice their optimum parametres are given.

*Short spark safety, the storage fixture, the switching equation, energy of ignition, the gauge, the danger estimation.*