

Г.Е. Сахметова<sup>✉</sup>, Б.К. Уралов, Н.С.Файз, Р.А.Шинибекова  
Auezov University, Шымкент, Казахстан  
E-mail: 17-07-70@mail

## ПОВЫШЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

**Аннотация.** Самовосстанавливающиеся предохранители (ЖСП) применяются в качестве ограничителей тока. Ограниченное применение ЖСП объясняется нестабильной защитной характеристикой, которую трудно согласовывать по селективности и перегрузочным характеристикам с характеристиками других защитных устройств. При каждом цикле срабатывания ЖСП под действием электрической дуги происходит эрозией стенок диэлектрического канала. Эрозия стенок приводит к изменению времени срабатывания ЖСП. В работе представлены научные подходы к повышению стабильности жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей и определены задачи комплексного подхода к решению проблемы стабилизации преддугового интеграла и интеграла отключения. В результате исследования обнаружено, что довольно эффективным средством стабилизации преддугового интеграла и интеграла отключения является шунтирование ЖСП низкоомным резистором. На основе проведенного исследования предложено техническое решение позволяющее применять ЖСП не только в качестве ограничителей тока для повышения отключающей способности электрических аппаратов, но и для защиты систем электроснабжения от перегрузок и к. з.

**Ключевые слова.** Жидкометаллические самовосстанавливающиеся предохранители, ограничитель тока, защитная характеристика, эрозией стенок, шунтирование.

### Введение.

В настоящее время жидкометаллические самовосстанавливающиеся предохранители (ЖСП) применяются в зарубежной практике в качестве ограничителей тока при последовательном включении с автоматическими выключателями [1-3].

Предохранитель с самовосстановлением — это своего рода электронный элемент защиты от перегрузки по току, который изготавливается из высокополимерного органического полимера в условиях высокого давления, высокой температуры и реакции вулканизации, смешивается с проводящими частицами материала и обрабатывается специальным способом.

Отличием обычных плавких предохранителей от самовосстанавливающихся предохранителей является то, что они могут срабатывать и восстанавливаться многократно.

Принцип работы жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей основан на испарении жидкого металла в капиллярном отверстии диэлектрической втулки при протекании аварийного тока. Образующаяся паровая пробка обладает высоким сопротивлением, ограничивающим электрический ток. Через несколько миллисекунд жидкий металл остывает и конденсируется, восстанавливая электрическую цепь [4,5].

Тем не менее из-за некоторых особенностей эксплуатации жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей их нельзя назвать идеальным устройством защиты от перегрузок по току.

Авторы [6, 7, 8] исследуют в своих работах различные специфики изготовления и свойства самовосстанавливающихся предохранителей

Так в работе [6] рассмотрена специфика изготовления самовосстанавливающихся предохранителей на основе полимерной сшивки. На основании исследования, анализа и проведенных работ была определена структурная схема специального технологического процесса изготовления самовосстанавливающихся предохранителей (СП) и его основные операции.

Исследования проведенные в работе [9] позволяют сделать вывод что, СП по сути, срабатывают не из-за превышения тока, а из-за превышения температуры при саморазогреве. Таким образом прослеживается сильная зависимость времени и тока срабатывания от внешних условий.

К основным преимуществам жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей можно отнести высокое быстродействие, способность многократно восстанавливаться, что позволяет осуществить с их помощью цикл автоматического повторного включения (АПВ).

Отмеченные преимущества позволили бы в значительной степени повысить надежность электроснабжения потребителей при широком применении жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей для защиты элементов систем электроснабжения [10]. Однако экспериментальные исследования макетных образцов ЖСП показывают, что их защитная характеристика крайне нестабильна. Ее трудно согласовать по селективности с характеристиками других защитных устройств, а также с перегрузочными характеристиками защищаемых электроустановок. Этим обусловлено ограниченное применение жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей. Использование их в качестве аппаратов защиты возможно лишь при решении проблемы стабилизации защитной характеристики.

Правильный понимания сущности и свойств самовосстанавливающихся предохранителей должно помочь в правильном выборе предохранителя. Сравнительная таблица свойств предохранителей представлена в таблице 1.

Таблица 1- Сравнительная таблица свойств предохранителей

Параметры и характеристики	Плавкий предохранитель	Самовосстанавливающийся предохранитель
Тип функционирования при срабатывании предохранителя	Полностью прекращает протекание тока	Сохраняет возможность функционирования изделия
Ток утечки	отсутствует	В пределах от менее 100мА до сотни мА
$I_{maxкз}$	10-10000 А	40-100А
$I_{ном ток}$	30А	-
$U_{ном max}$	600В	60В
Использование предохранителя при срабатывании	разовое	неоднократное
Сопротивление		X2

### Материалы и методы.

Исследования показывают, что нестабильность защитной характеристики жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей определяется эрозией стенок диэлектрического канала под действием электрической дуги при каждом цикле

срабатывания [5]. Эрозия стенок вызывает увеличение диаметра канала, т. е. сечения плавкой вставки. Очевидно, что при этом изменяются пограничный ток и время срабатывания ЖСП. Стабилизировать защитную характеристику можно путем уменьшения степени эрозии его стенок, которая, с одной стороны, определяется термической и химической стойкостью диэлектрика по отношению к жидкому металлу при высокой температуре, а с другой - энергией электрической дуги в процессе дугогашения.

По нашему мнению, полностью устранить эрозию невозможно. Разработка новых материалов требует специальных исследований, значительных затрат средств и времени. Поэтому представляет интерес решить проблему стабилизации защитной характеристики при использовании освоенных промышленностью диэлектрических материалов.

Уменьшение эрозии может быть достигнуто шунтированием жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей низкоомным резистором, ограничивающим ток и восстанавливающееся напряжение дуги [1]. Однако с уменьшением сопротивления резистора увеличивается ток в защищаемой цепи, что допустимо до определенных пределов. Это обстоятельство приводит к необходимости поиска дополнительных средств стабилизации защитной характеристики жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей.

### Обсуждение.

Нами предпринята попытка выяснить влияние теплофизических констант материалов, применяемых для изготовления жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей и его плавкой вставки, а также геометрических размеров конструкции ЖСП и плавкой вставки на стабильность пограничного тока.

Рассмотренная модель жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей изображена на рисунке 1.

Модель состоит из 1- жидкометаллической плавкой вставки, размещенной в канале диэлектрической втулки 2. Твердометаллические электроды 3, служат контактными выводами. Теплообмен плавкой вставки с окружающей средой в осевом направлении проходит через теплоотводящие шайбы 4, в радиальном – через диэлектрическую втулку 2 и корпус 5.

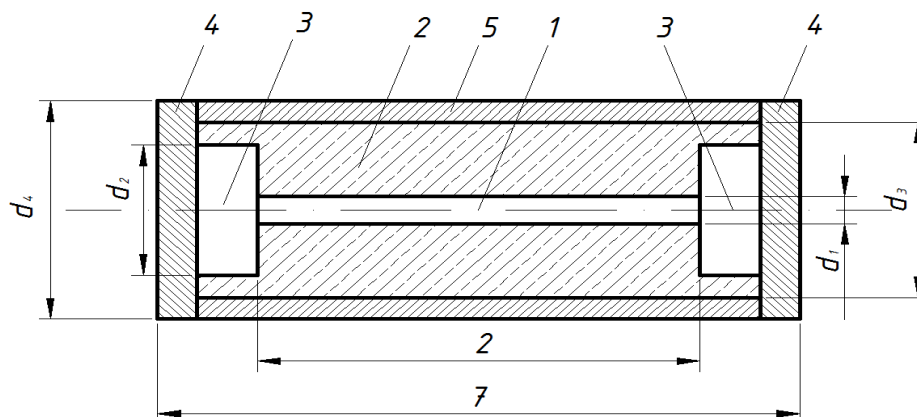


Рисунок 1 -Модель жидкометаллического самовосстанавливающегося предохранителя

Если предположить, что диаметр плавкой вставки получает приращение  $\Delta d_1$ , обусловленное износом канала при воздействии электрической дуги, то стабильность пограничного тока:

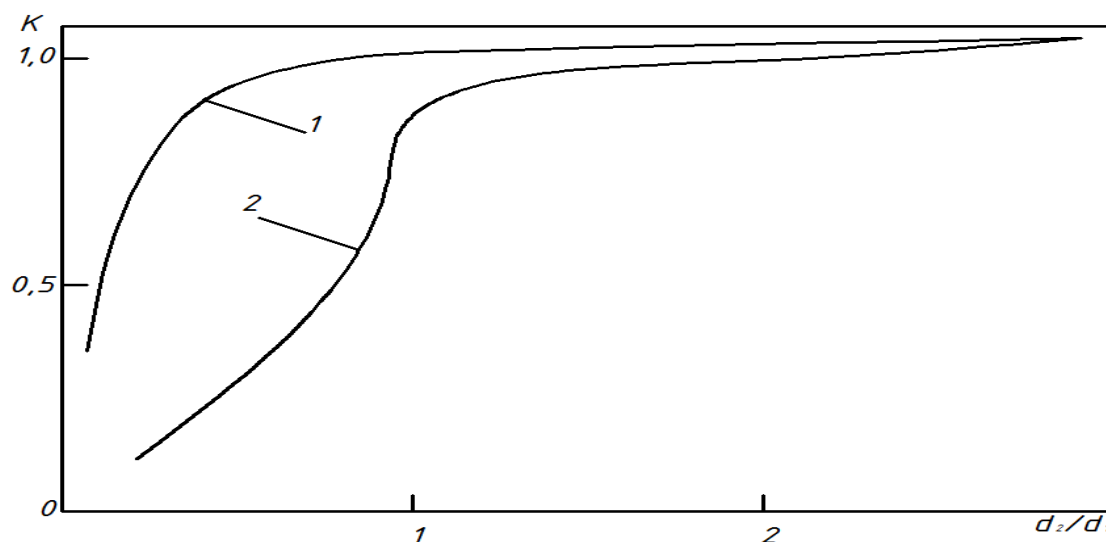
$$K = \Delta I_{\text{п}} / \Delta d_1, \quad (1)$$

где  $K$  — абсолютное значение критерия стабильности пограничного тока при изменении диаметра жидкометаллической плавкой вставки на  $\Delta d_1$ ;

$\Delta I_{\text{п}}$  — изменение пограничного тока  $I_{\text{п}}$  при изменении диаметра жидкометаллической плавкой вставки на  $\Delta d_1$ .

Чем меньше  $K$ , тем выше стабильность пограничного тока. В идеальном случае  $K$  обращается в нуль.

В электронных расчетах, варьировались теплофизические константы материалов всех элементов конструкции ЖСП, а также геометрические размеры этих элементов. В результате выяснилось, что значительному снижению  $K$  способствует увеличение удельного сопротивления твердометаллических электродов и уменьшение их диаметров. При уменьшении диаметров электродов и неизменном пограничном токе диаметр плавкой вставки увеличивается. Критерий стабильности пограничного тока тем меньше, чем больше разница между диаметрами плавкой вставки и электродов (рисунок 2).



1- для плавкой вставки из ртути, 2- для плавкой вставки из натрия

Рисунок 2 – Расчетные зависимости критерия стабильности пограничного тока  $K$  от отношения диаметров  $d_2/d_1$  при использовании вольфрамовых электродов, диэлектрической втулки из кварцевого стекла и алюминиевого корпуса

Расчеты показывают, что стабильность пограничного тока может быть очень высокой, если твердометаллические электроды имеют сопротивление, отнесенное к единице длины, большее, чем-то же отношение для плавкой вставки.

Если сечения электрода и жидкометаллического канала различаются, то вблизи их контакта в проводнике большего сечения возникает дополнительное переходное сопротивление [11]. Оно обусловлено сужением линий тока и зависит от сечения проводника с меньшим диаметром. Значение переходного сопротивления не учитывалось при расчетах, поэтому необходимо отдельно оценить его влияние на стабильность защитной характеристики. При диаметре электрода, большем диаметра плавкой вставки, переходное сопротивление по мере износа канала в результате дуговой эрозии уменьшается, что оказывает значительное влияние на пограничный ток и время срабатывания ЖСП. Если же диаметр электрода меньше диаметра канала, то переходное сопротивление не изменяется в результате эрозии стенок канала и не влияет на  $K$ . По этой

причине в предложенном техническом решении диаметр электрода не должен превышать диаметра жидкометаллического канала. Нетрудно убедиться в том, что достаточно иметь твердометаллический электрод лишь в одной из торцевых частей ЖСП [3, 4]. Он образует участок с повышенным по отношению к плавкой вставке сопротивлением. В номинальном режиме этот участок имеет температуру выше, чем плавкая вставка. Электроды не должны разрушаться при температуре кипения жидкого металла, поэтому выполняются из тугоплавкого металла.

Значение пограничного тока является лишь одной точкой защитной характеристики. Чтобы, судить о стабильности защитной характеристики в целом, необходимо рассмотреть, как минимум еще одну точку, соответствующую режиму короткого замыкания. При протекании по ЖСП аварийного тока быстрее нагреваются участки токоведущих частей с повышенным сопротивлением [12-14]. В предложенном техническом решении такими участками могут быть либо электроды, либо участки жидкометаллической плавкой вставки в зоне сужения линий тока. Если участком повышенного сопротивления является электрод, то значение преддугового интеграла ЖСП будет определяться временем его нагрева до температуры кипения жидкого металла. При достижении электродом этой температуры часть жидкого металла в зоне непосредственной близости испаряется, обеспечивая разрыв электрической цепи с последующим гашением электрической дуги.

Если участком повышенного сопротивления является область сужения линий тока, то значение преддугового интеграла ЖСП будет определяться временем нагрева до температуры кипения жидкого металла с сечением, равным сечению тугоплавкого электрода. В любом случае сечение электрода не изменяется при увеличении диаметра плавкой вставки в результате дуговой эрозии. Не должны изменяться и значения преддугового интеграла.

В процессе коммутаций кроме стенок канала дуговой эрозии подвергается также торцевая часть тугоплавкого электрода. Уменьшение длины электрода в данном случае не изменяет значения его сопротивления, отнесенного к единице длины, и значения переходного сопротивления, обусловленного сужением линий тока. Таким образом, это явление не оказывает влияния на стабильность преддугового интеграла.

### **Результаты.**

Экспериментальная проверка стабильности преддугового интеграла, а также интеграла отключения проводилась на макетных образцах ЖСП. Рассматривались три случая. В первом случае жидкометаллическая плавкая вставка длиной 20 мм имела расширенную часть диаметром 3 мм. Диаметр суженной части составлял 0,7 мм. При этом суженная часть располагалась вблизи одного из контактных выводов. ЖСП включался в цепь без шунтирующего резистора. Во втором случае параллельно ЖСП включался резистор 0,5 Ом. В третьем случае в суженной части канала располагался вольфрамовый электрод диаметром 0,7 мм и длиной 3 мм, равными соответственно диаметру и длине суженной части канала. ЖСП так же, как и во втором случае, шунтировался резистором 0,5 Ом.

Опыты проводились на макетных образцах ЖСП, включенных последовательно с тиристорным выключателем, обеспечивающим нулевой угол включения тока в каждом опыте. В качестве материала диэлектрической втулки использовалась керамика на основе окиси бериллия. Жидким металлом служила ртуть. Все три образца испытывались в контуре с током 2,7 кА (амплитуда), напряжением 400 В, 50 Гц. В каждом случае произведено по пять коммутаций тока.

После разборки ЖСП и визуального осмотра диэлектрических втулок обнаружилось, что в первом случае суженная часть канала в результате дуговой эрозии

увеличилась до диаметра расширенной части. Во втором случае после опытов диаметр служебной части оказался равным 1,8 мм. В третьем случае результатом дуговой эрозии явилось уменьшение длины вольфрамового электрода на 1,1 мм. Увеличение диаметра канала наблюдалось только в месте выгоревшей части электрода.

В результате исследования обнаружено, что довольно эффективным средством стабилизации преддугового интеграла и интеграла отключения является шунтирование жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей низкоомным резистором. Еще более эффективно расположение в суженной части канала ЖСП тугоплавкого электрода с контактной поверхностью меньшей, чем сечение жидкометаллической плавкой вставки. В этом случае увеличения преддугового интеграла и интеграла отключения, вызванного эрозией стенок диэлектрического канала, не наблюдается.

### **Заключение.**

1. Существенным недостатком жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей является нестабильность защитной характеристики, обусловленная увеличением диаметра канала диэлектрической втулки в результате дуговой эрозии. Это ограничивает область применения жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей.
2. Стабилизация характеристики за счет шунтирования жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей резистором требует значительного уменьшения его сопротивления, что снижает токоограничивающее действие такого устройства.
3. При расположении в суженной части канала диэлектрической втулки жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей тугоплавкого электрода можно получить стабильную защитную характеристику без снижения сопротивления шунтирующего резистора и токоограничивающих свойств устройства.
4. Предложенное техническое решение позволяет применить жидкометаллические самовосстанавливающиеся предохранители не только в качестве ограничителей тока для повышения отключающей способности электрических аппаратов, но и для защиты систем электроснабжения от перегрузок и к. з.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Приходько В.И., Серпуховитин М.Е., Скрипачев М.О., Ситников А.В. Жидкометаллический токоограничитель. Известия вызов. Электромеханика.-2011.- №3.-С. 60-61
- [2] Niayesh K., Tepper J., König F. A Novel current limitation principle based on application of liquid metals//IEEE transaction on components and packaging technologies. 2006, vol 29, №2 P. 303-309.
- [3] H. He et al., "Study of Liquid Metal Fault Current Limiter for Medium-Voltage DC Power Systems," in IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 8, no. 8, pp. 1391-1400, Aug. 2018.
- [4] Кузнецов А.В. Жидкометаллические предохранители и инвестиционная привлекательность их разработки – М.: Энергоатомиздат, 2006 г.-207 с.
- [5] Кужеков С.Л., Васильев Б.Н., Куров Н.Н. Оценка быстродействия жидкометаллического самовосстанавливающегося предохранителя . Изв. Высших учебных заведений, электромеханика. 2012.-№2.- С.134-136.



[6] Каминская Т. П., Подшибякин С. В. Сшивка полимерно-углеродных композитов для самовосстанавливающихся предохранителей//Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2008. Т. 2. С. 143–144

[7] Домкин К. И. Влияние сшивки на электрофизические свойства самовосстанавливающихся предохранителей//Ломоносов-2011: материалы Междунар. молодежного научного форума/отв. ред. А. И. Андреев, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов, М. В. Чистякова. - М.: МАКС Пресс, 2011.

[8] Каминская Т.П., Недорезов В.Г., Домкин К.И., Шлыкова Л.А. Полимерные самовосстанавливающиеся предохранители в чип исполнении // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2009. Т. 2. С. 197–198.

[9] Кузнецов А.В., Юренков Ю.П. Возможность увеличения коммутационного ресурса жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей с составной плавкой вставкой. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021; 23(5):139-149. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-5-139-149>

[10] А.А. Рыжов, А.В. Лысенко, И.М. Рыбаков, В.С. Мамонтов, Н.К. Юрков. К проблеме повышения надежности самовосстанавливающихся предохранителей doi: 10.21685/2307-4205-2023-4-10

[11] Кузнецов А.В. Повышение эффективности функционирования устройств управления передачей энергии в системах электроснабжения потребителей. Электрика.-2004.№11.- С. 7-12.

[12] Самовосстанавливающиеся предохранители ECE. <https://electroinfo.net/predohraniteli/princip-raboty-samvosstanavlivajushhegosja-predohranitelja.html> (accessed 1 November 2022).

[13] Электрический\_предохранитель <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (accessed 27 October 2022).

[14] [https://en.wikipedia.org/wiki/Resettable\\_fuse](https://en.wikipedia.org/wiki/Resettable_fuse)

[15] [http://www.usb.org/developers/presentations/pres0500/Hosler\\_USB\\_PM.ppt](http://www.usb.org/developers/presentations/pres0500/Hosler_USB_PM.ppt)

## REFERENCES\*

[1] V. I. Prikhodko, M. E. Serpukhovitin, M. O. Skripachev, and A. V. Sitnikov, Russ. Liquid metal current limiter. Izvestiachallenge. Electromechanics. - 2011.No.3.-S. 60-61

[2] Niayesh K., Tepper J., König F. A Novel current limitation principle based on application of liquid metals//IEEE transaction on components and packaging technologies. 2006, Vol 29, No. 2 P. 303-309.

[3] H. He et al., "Study of Liquid Metal Fault Current Limiter for Medium-Voltage DC Power Systems," in IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 8, no. 8, pp. 1391-1400, Aug. 2018.

[4] Kuznetsov A.V. Liquid metal fuses and investment attractiveness of their development - М.: Energoatomizdat, 2006 - 207 p.

[5] Kuzhekov S.L., Vasiliev B.N., Kurov N.N. Evaluation of the performance of a liquid-metal self-restoring fuse. Izv. Higher education institutions, electromechanics. 2012. - №2.- P.134-136.

[6] Kaminskaya T. P., Podshibyakin S. V. Crosslinking of polymer-carbon composites for self-healing fuses//Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality. 2008. Vol. 2. pp. 143-144

[7] Domkin K. I. The effect of crosslinking on the electrophysical properties of self-healing fuses // Lomonosov-2011: materials of the International Journal. youth Scientific Forum / ed. A. I. Andreev, A.V. Andriyanov, E. A. Antipov, M. V. Chistyakova. - М.: MAKS Press, 2011.

[8] Kaminskaya T. P., Nedorezov V. G., Domkin K. I., Shlykova L. A. Polymer self-healing fuses in chip execution//Proceedings of the International Symposium Reliability and quality. 2009. Vol. 2. pp. 197-198.

[9] Kuznetsov A.V., Yurenkov Yu.P. The possibility of increasing the switching life of liquid metal self-healing fuses with a composite fuse insert. News of higher educational institutions. Energy problems. 2021;23(5):139-149. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-5-139-149>

[10] A. A. Ryzhov, A.V. Lysenko, I. M. Rybakov, V. S. Mamontov, N. K. Yurkov. On the problem of increasing the reliability of self-repairing fuses doi: 10.21685/2307-4205-2023-4-10

[11] Kuznetsov A.V. Improving the efficiency of energy transmission control devices in consumer power supply systems. Electricians. - 2004. No.11.- pp. 7-12.

[12] Self-repairing fuses ECE. <https://electroinfo.net/predohraniteli/princip-raboty-samovosstanavlivajushhegosja-predohranitelja.html> (accessed 1 November 2022).

[13] Electric bodyguard <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (accessed 27 October 2022).

[14] [https://en.wikipedia.org/wiki/Resettable\\_fuse](https://en.wikipedia.org/wiki/Resettable_fuse)

[15] [http://www.usb.org/developers/presentations/pres0500/Hosler\\_USB\\_PM.ppt](http://www.usb.org/developers/presentations/pres0500/Hosler_USB_PM.ppt)

**Гульмира Сахметова**, PhD, Auezov University, ШЫМКЕНТ, Қазақстан, 17-07-70@mail.ru

**Байдула Уралов**, т.ғ.к., Auezov University, ШЫМКЕНТ, Қазақстан

**Нұрсұлтан Файз**, PhD, Auezov University, ШЫМКЕНТ, Қазақстан, [nursultan\\_90faiz@mail.ru](mailto:nursultan_90faiz@mail.ru)

**Райхан Шинибекова**, оқытушы, Auezov University, ШЫМКЕНТ, Қазақстан, [shinibekova.raikhan@mail.ru](mailto:shinibekova.raikhan@mail.ru)

## СҰЙЫҚ МЕТАЛДЫ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРЕТІН САҚТАНДЫРҒЫШТАРДЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН АРТТЫРУ

**Аңдатпа.** Ток шектегіштер ретінде сұйық металды қалпына келтірілетін сақтандырғыштар (СМҚКС) қолданылады. СМҚКС шектеулі пайдалануы басқа қорғаныс құрылғыларының сипаттамаларымен селективті және асқын жүктеме сипаттамаларына сәйкес келмейтін тұрақсыз қорғаныс сипаттамасымен түсіндіріледі. Электр доғасының әсерінен СМҚКС жұмысының әрбір циклі кезінде диэлектрлік арнаның қабырғалары эрозияға ұшырайды. Қабырғалардың эрозиясы СМҚКС іске қосылу уақытының өзгеруіне әкеледі. Жұмыста сұйық-металл өзін-өзі қалпына келтіретін сақтандырғыштардың тұрақтылығын арттырудың ғылыми тәсілдері ұсынылған және доғаға дейінгі интеграл мен өшіру интегралын тұрақтандыру мәселесін шешуге кешенді тәсілдің міндеттері анықталған.

Зерттеу нәтижесінде доғаға дейінгі интегралды және өшіру интегралын тұрақтандырудың тиімді құралы ол төмен кедергісі бар резистормен СМҚКС шунттауы екені анықталды.

Зерттеу негізінде электр құрылғыларының ажырату қабілетін арттыру үшін, сонымен қатар электрмен жабдықтау жүйелерін асқын жүктемелерден және қысқа тұйықталудан қорғау үшін СМҚКС ток шектегіштері ретінде пайдалануға мүмкіндік беретін техникалық шешім ұсынылды.

**Түйінді сөздер.** Сұйық металды қалпына келтіретін сақтандырғыштар, ток шектегіші, қорғаныс сипаттамасы, қабырға эрозиясы, шунттау.



**Gulmira Sakhmetova**, PhD, Auezov University, Shymkent, Kazakhstan, 17-07-70@mail.ru

**Baidula Uralov**, candidate of technical sciences, Auezov University, Shymkent, Kazakhstan

**Nursultan Fiz**, PhD, Auezov University, Shymkent, Kazakhstan, nursultan\_90faiz@mail.ru

**Raikhon Shinibekova**, teacher, Auezov University, Shymkent, Kazakhstan, shinibekova.raikhon@mail.ru

## INCREASING THE STABILITY OF LIQUID METAL SELF-RESETABLE FUSES

**Abstract.** Resettable fuses (ZHSP) are used as current limiters. The limited use of the ZHSP is explained by the unstable protective characteristic, which is difficult to match in selectivity and overload characteristics with the characteristics of other protective devices. With each cycle of operation of the LSS under the action of an electric arc, the walls of the dielectric channel are eroded. Erosion of the walls leads to a change in the response time of the LSS.

The paper presents scientific approaches to improving the stability of liquid-metal self-restoring fuses and defines the tasks of an integrated approach to solving the problem of stabilizing the pre-arc integral and the shutdown integral

As a result of the study, it was found that a rather effective means of stabilizing the pre-arc integral and the cut-off integral is shunting the LSP with a low-resistance resistor

On the basis of the study, a technical solution has been proposed that allows the use of ZHSP not only as current limiters to increase the breaking capacity of electrical devices, but also to protect power supply systems from overloads and short circuits.

**Keywords.** Liquid metal resettable fuses, current limiter, protective characteristic, wall erosion, shunting.

\*\*\*\*\*

Получено: 11 апрель 2024 г.; принято: 21 маусым 2024 г.