

## ЭНЕРГЕТИКА

doi: 10.51639/2713-0576\_2024\_4\_2\_37

УДК621.316.9

ГРНТИ 44.01.05

ВАК 2.2.3

### **Применение новых материалов в конструкции жидкометаллического самовосстанавливающегося предохранителя для увеличения номинального тока**

Айзатуллин Т.И., Юренков Ю.П.

*ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» (УлГТУ),  
432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный Венец 32*

email: tima.ayzatullin.01@bk.ru

Жидкометаллические самовосстанавливающиеся предохранители (ЖСП) являются одним из наиболее эффективных и надежных способов защиты электрических систем от динамического воздействия, вызванного короткими замыканиями. Главной составной частью, как можно понять из названия, является жидкий металл, который при резком нагревании переходит в парообразное состояние и во время этого перехода образуется металлический пар, который в свою очередь образует высокое сопротивление предотвращая повреждение оборудования.

В конструкции ЖСП есть составные части, которые ограничивают его номинальный ток. Однако, с развитием технологий и появлением новых материалов, можно увеличить номинальный ток жидкометаллического предохранителя.

*Ключевые слова:* Жидкометаллический самовосстанавливающийся предохранитель (ЖСП), фторопласт графитонаполненный, ток короткого замыкания.

*Информация о финансовой поддержке:* Исследование выполнено за счет гранта Фонда содействия инновациями №19150ГУ/2023.

В данной статье мы рассмотрим применение новых материалов в конструкциях жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей для увеличения номинального тока.

В мире электроэнергетики, где каждая секунда и каждый ампер имеют значение, жидкометаллические предохранители стоят на страже безопасности. Это устройства, которые защищают электрические цепи от динамического воздействия тока короткого замыкания.

В ходе исследования решалась задача подобрать новый материал, который будет лучше

удовлетворять температурным требованиям для предохранителя. Было произведено исследование и найден материал графитонаполненный фторопласт (рисунок 1) [1].



Графитонаполненный фторопласт – это термостойкий полимер, который выдерживает экстремальные температуры и химические воздействия. Его уникальные свойства открывают новые горизонты в самых разных областях промышленности. Этот материал обладает высокой электрической изоляцией, устойчивостью к коррозии и способностью выдерживать высокие температуры без потери своих качеств. Такие характеристики делают его идеальным кандидатом для использования в жидкометаллических предохранителях [2].

Использование фторопласта в конструкции предохранителей позволяет значительно увеличить номинальный ток, что делает их более надежными и долговечными. Благодаря своим изоляционным свойствам, фторопласт предотвращает преждевременное плавление сплава и увеличивает время реакции на перегрузки, что позволяет предохранителю справляться с более высокими токами.

Разработка конструкции с фторопластом – это сложный процесс, который начинается с моделирования и заканчивается реализацией на практике. Авторами была изготовлена изоляционная втулка из фторопласта, для того чтобы внедрить ее в конструкцию предохранителя.

По чертежам (рисунок 2), которые были разработаны на кафедре "Электроснабжение", было выточено 4 детали с запасом (рисунок 3), которые проверены на реальном предохранителе, чтобы убедиться, что они полностью удовлетворяют требуемым параметрам.

Интеграция фторопласта в конструкцию предохранителя требует особого внимания к деталям и точности, чтобы обеспечить максимальную эффективность и безопасность работы устройства.

Перед тем как предохранители отправятся на защиту электрических сетей, они проходят строгие лабораторные испытания. Эти тесты помогают убедиться в их надежности и эффективности [3].

Результаты тестирования часто превосходят самые смелые ожидания, подтверждая, что ЖСП – это не просто новинка, а надежное решение для современных электрических систем.

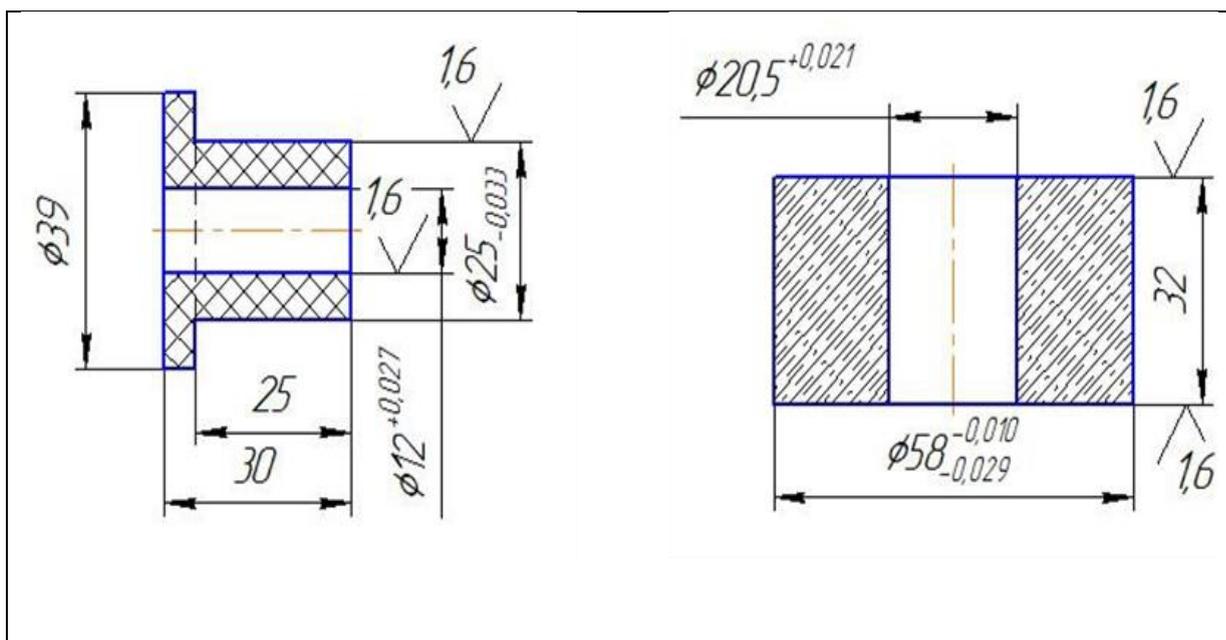


Рис. 2. Чертеж изоляционной втулки



Рис. 3. Готовые изделия

Сравнивая фторопласт с используемыми до этого текстолитом и стеклотекстолитом, можно увидеть (из таблицы 1), что фторопласт весьма превосходит текстолит и стеклотекстолит по температуре эксплуатации. Этой характеристики нам достаточно, потому что она как раз была основной [4].

Таблица 1.

Сравнительная характеристика материалов

Характеристики	Текстолит низкочастот- ный	Стеклотекстолит на основе связующей смолы		Фторопласт
		фенолформаль- дегидной	кремний- органической	
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,3-1,4	1,6-1,7	1,7-1,8	2,1-2,2
Предел прочности при изгибе, кГ/см <sup>2</sup>	700-1000	1050-1200	1100-1200	110-140
Предел прочности при растяжении, кГ/см <sup>2</sup>	350-600	800-1200	1600-2000	200-300
Удельная ударная вязкость, кГ·см/см <sup>2</sup>	10-35	42-55	50-60	более 100
Температура эксплуатации, °С	от -40 до +120	от -65 до +155	от -65 до +155	от -269 до +260
Удельное объемное сопротивление, ом·см	10 <sup>9</sup> -10 <sup>11</sup>	10 <sup>11</sup> -10 <sup>12</sup>	10 <sup>13</sup> -10 <sup>14</sup>	10 <sup>17</sup> -10 <sup>20</sup>
Диэлектрическая проницаемость	6-7	7-8	5-6	2,1

Кроме технических преимуществ, использование фторопласта в предохранителях также приносит экономическую выгоду и способствует защите окружающей среды, сокращая количество отходов и увеличивая срок службы устройств.

Таким образом, жидкометаллические самовосстанавливающиеся предохранители с применением фторопласта в конструкции позволяют увеличить номинальный ток. Это достигается за счет свойств фторопласта, который обладает высокой электрической прочностью и низким уровнем износа. Такие предохранители могут использоваться в различных областях, где требуется высокая надежность и эффективность защиты от перегрузок и коротких замыканий.

## **Выводы**

Был найден материал, который удовлетворяет требуемой нагревостойкости и диэлектрической проницаемости.

Были изготовлены детали на основе имеющихся чертежей и нового материала - графитонаполненного фторопласта.

## **Список литературы**

1. Кузнецов А. В. Применение жидкометаллических самовосстанавливающихся ограничителей тока для энергосберегающих систем транспортировки и распределения электроэнергии / А. В. Кузнецов, Ю. П. Юренков // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2019. – № 1(85). – С. 54-58. – EDN DECJFS.
2. ГОСТ 10007-80 Фторопласт-4. Технические условия – Москва: Стандартинформ, 2008
3. Принцип работы и устройство предохранителя [Электронный ресурс]. – URL:<https://keaz.ru/company/press-center/blog/2016/864-princip-raboti-i-ustroystvo-predohranitelya>
4. Дроздов Н.Г., Никулин Н.В. Электроматериаловедение. Учебник для проф.-техн. учебных заведений и подготовки рабочих на производстве. Изд. 4-е, перераб. и доп. — М.: «Высшая школа».

### **Application of new materials in the design of liquid metal self-resetting fuse to increase the rated current**

T.I. Aizatullin, Yu.P. Yurenkov

*Ulyanovsk State Technical University Russia, 432027, Ulyanovsk, st. Northern Venets, 32*

E-mail: [tima.ayzatullin.01@bk.ru](mailto:tima.ayzatullin.01@bk.ru)

Liquid metal self-restoring fuses (LSR) are one of the most effective and reliable ways to protect electrical systems from dynamic effects caused by short circuits. The main component, as the name suggests, is liquid metal, which, when suddenly heated, transforms into a vapor state and during this transition metal vapor is formed, which in turn forms high resistance, preventing damage to equipment. The design of the LSP has components that limit its rated current. However, with the development of technology and the emergence of new materials, it is possible to increase the rated current of a liquid metal fuse.

Keywords: Liquid-metal self-restoring fuse (LSF), graphite-filled fluoroplastic, short circuit current.  
Information about financial support: The research was supported by a grant from the Innovation Promotion Fund No. 19150GU/2023.

## References

1. Kuznetsov, A. V. Application of liquid metal self-healing current limiters for energy-saving systems for transportation and distribution of electricity / A. V. Kuznetsov, Yu. P. Yurenkov // Bulletin of the Ulyanovsk State Technical University. – 2019. – No. 1(85). – pp. 54-58. – EDN DECJFS.
2. GOST 10007-80 Fluoroplastic-4. Technical specifications - Moscow: Standartinform, 2008
3. Operating principle and fuse design [Electronic resource]. – URL: <https://keaz.ru/company/press-center/blog/2016/864-princip-raboti-i-ustr-oystvo-predohranitelya>
4. Drozdov N.G., Nikulin N.V. Electrical materials science. Textbook for prof.-technical educational institutions and training of workers in production. Ed. 4th, revised and additional — M.: “Higher education.”