

*И.Е. Ивагин, К.В. Менакер, Е.М. Бушуев*

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Российская Федерация*

## **КОМПЛЕКСНАЯ ЗАЩИТА УСТРОЙСТВ СЦБ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЩИТЫ**

**Аннотация:** В статье рассматриваются современные методы и элементы комплексной защиты устройств железнодорожной автоматики от перенапряжений на основе применения устройств активной молниезащиты и быстродействующих супрессоров. Приводятся данные по схмотехнической реализации указанных устройств защиты, результаты экспериментальных исследований, вольт-амперные характеристики, предложения по практическому внедрению проверенных технических решений.

**Ключевые слова:** активная молниезащита, супрессор, напряжение, ток, быстродействие, перенапряжение, устройства железнодорожной автоматики и телемеханики.

*I.E. Ivagin, K.V. Menaker, E.M. Bushuev*

*Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, the Russian Federation*

## **COMPREHENSIVE PROTECTION OF SSB DEVICES FROM OVERVOLTAGE, TAKING INTO ACCOUNT THE USE OF MODERN METHODS AND PROTECTION ELEMENTS**

**Abstract:** The article discusses modern methods and elements of comprehensive protection of railway automation devices from overvoltage based on the use of active lightning protection devices and high-speed suppressors. The data on the circuitry implementation of these protection devices, the results of experimental studies, volt-ampere characteristics, proposals for the practical implementation of proven technical solutions are presented.

**Keywords:** active lightning protection, suppressor, voltage, current, speed, overvoltage, railway automation and telemechanics devices.

### **Введение**

На Забайкальской железной дороге, как и на сети других дорог, очень остро стоит вопрос защиты устройств автоматики, телемеханики и связи от перенапряжений и атмосферный влияний. Несмотря на то, что перенапряжения бывают различной природы (атмосферные, коммутационные и др.), статистика отказов показывает, что наибольший выход из строя устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) происходит в летний период времени во время действия грозовых явлений.

Важнейшим фактором защиты устройств ЖАТ от перенапряжений является быстродействие срабатывания защитных элементов и их стоимость. Эволюция средств защиты в устройствах железнодорожной автоматики прошла путь от воздушных разрядников и автоматических выключателей многократного действия на биметаллических пластинах до современных комплексных устройств защиты Барьер-АБЧК-3 (рис. 2).

Высокая эффективность устройств Барьер-АБЧК подтверждена опытным путем и временем. Однако, высокая периодичность выхода из строя и стоимость защитных элементов системы Барьер-АБЧК приводит к невозможности их приобретения дистанциями сигнализации централизации и блокировки (СЦБ) на Забайкальской железной дороге. По этой причине, устройства Барьер-АБЧК зачастую демонтируют с действующих систем ЖАТ, снижая их общий уровень защищенности.

В данной работе предложены два способа выхода из сложившегося положения. Применение устройств защиты, основанных на активном потенциальном методе и применении недорогих современных полупроводниковых элементов – супрессоров, работающих в наносекундных областях. В работе приведены результаты опытных испытаний обоих предложенных методов, количественные характеристики, осциллограммы,

возможные схмотехнические решения.

### Анализ текущего состояния устройств защиты от перенапряжения, применяемых на Забайкальской железной дороге

На рис. 1 представлены зависимости числа отказов средств ЖАТ первой и второй категории по месяцам по хозяйству автоматики и телемеханики Забайкальской железной дороги за 2020 и 2021 годы [1, 2]. Несмотря на общее снижение числа отказов за 2021 год по сравнению с предыдущим годом, наибольшее число отказов стабильно наблюдается в летний период, во время действия грозовых явлений.

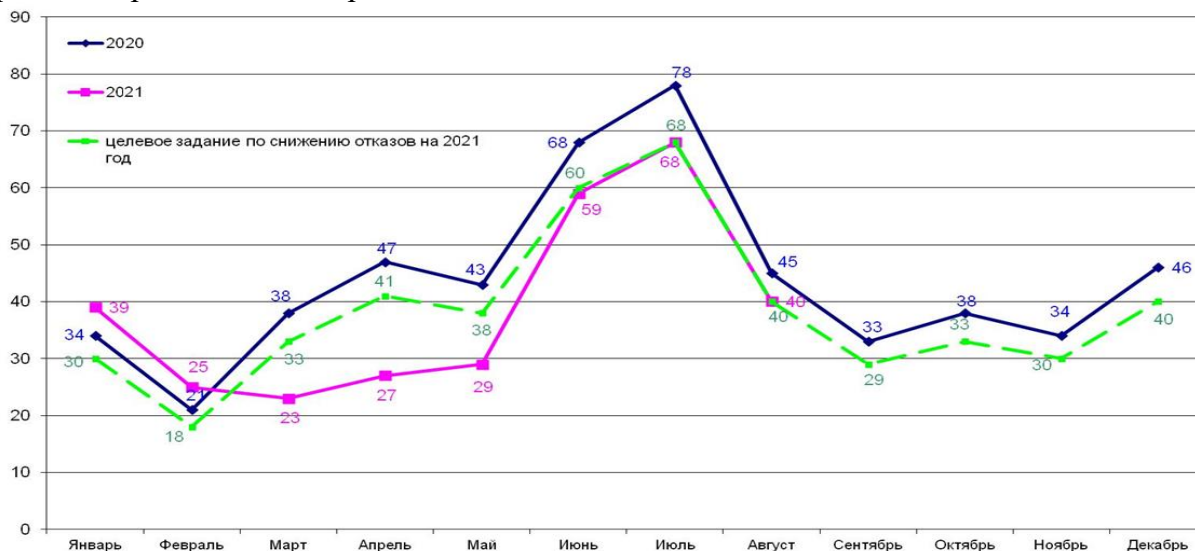


Рис. 1. Количество отказов технических средств ЖАТ 1 и 2 категорий системы учета КАСАНТ

В общем количестве отказов устройств ЖАТ, отказы по линии перенапряжения составляют 22 % [3-8]. Причины сложившейся ситуации в хозяйстве автоматики и телемеханики Забайкальской железной дороги были указаны выше.

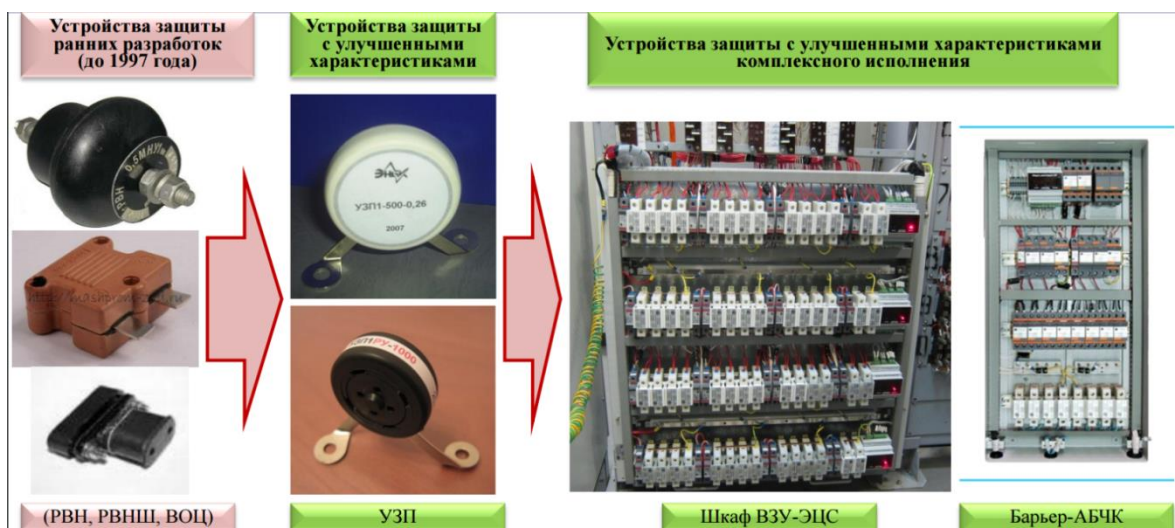


Рис. 2. Эволюция применяемых приборов защиты устройств ЖАТ

### Устройства активной молниезащиты

Молния и атмосферные перенапряжения в большинстве случаев являются первопричиной отказов устройств ЖАТ. Молниеотводы, устанавливаемые на высоких опорах, являются основными средствами защиты от прямого попадания молнии. Однако, при наличии в месте потенциального удара молнии нескольких опор различного назначения место попадания электрического заряда носит вероятностный характер. Атмосферное

перенапряжение характеризуется повышенным распределенным электрическим зарядом, который приводит к появлению повышенного напряжения на металлических частях электроустановок и проводниках. Данное напряжение и является основным источником отказов устройств ЖАТ, в случае их недостаточной защищенности.

Устройства активной молниезащиты появились еще в 80-х годах прошлого столетия. Активная молниезащита - это инженерно-техническая система, основной задачей которой является притяжение, либо отталкивание атмосферного заряда (см. рис. 2), опережая «естественное» развитие молнии и обеспечивая тем самым защиту многократно большей территории, в сравнение с традиционными методами [9].

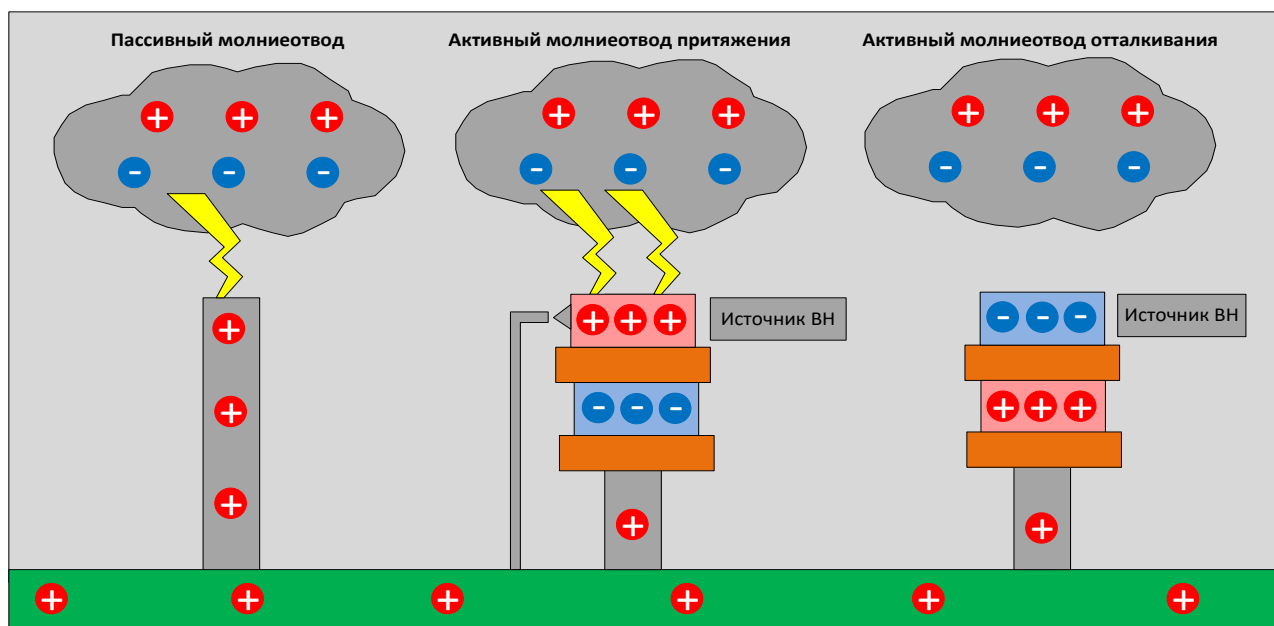


Рис. 3. Принцип действия активных устройств молниезащиты

Принцип действия устройств активной молниезащиты состоит в создании на поверхности молниеотвода дополнительного потенциала с помощью источника высокого напряжения. При накоплении избыточного положительного заряда на молниеотводе увеличивается вероятность электрического пробоя между нижними слоями облаков и молниеотводом. Увеличивается также площадь защищаемой зоны. В результате контролируемых разрядов молнии, ее энергия направляется в землю, выравнивается потенциал между землей и нижними слоями облаков. При втором способе источник высокого напряжения создает на поверхности молниеотвода избыточный отрицательный потенциал, что препятствует электрическому пробоя, обеспечивая защиту электронных устройств в определенном радиусе. При высоте молниеотвода 20 м радиус защищаемой поверхности составляет более 100 м (рис. 4). Внешний вид макета устройства активной молниезащиты представлен на рис. 5.

С целью проверки эффективности действия устройства активной молниезащиты и проработки его схемотехнического исполнения в рамках данной работы был собран макет и проведены соответствующие испытания. Принципиальная схема созданной лабораторной установки и ее фотография представлены на рис. 5 и 4 соответственно.

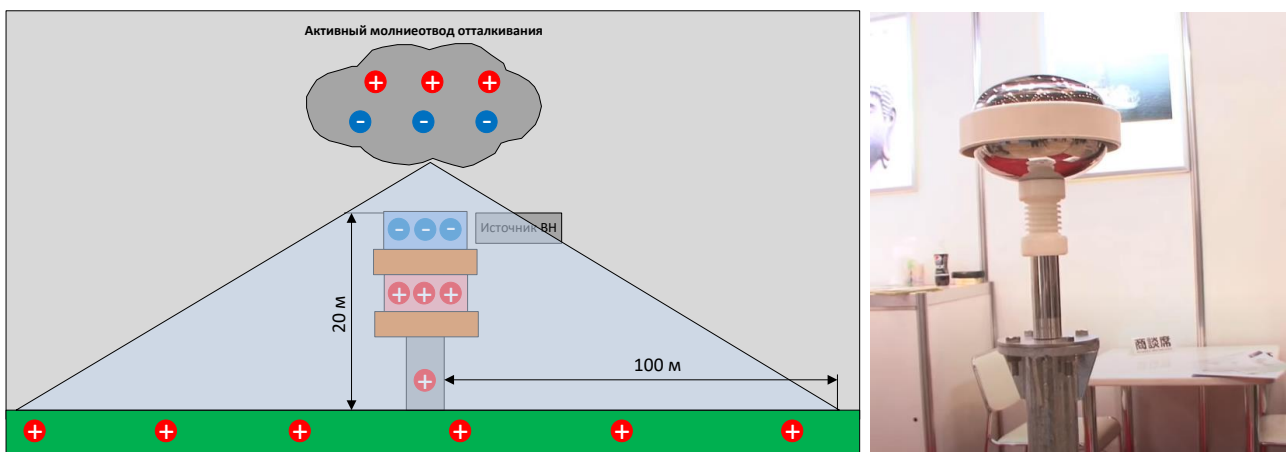


Рис. 4. Радиус действия и внешний вид устройства активной молниезащиты

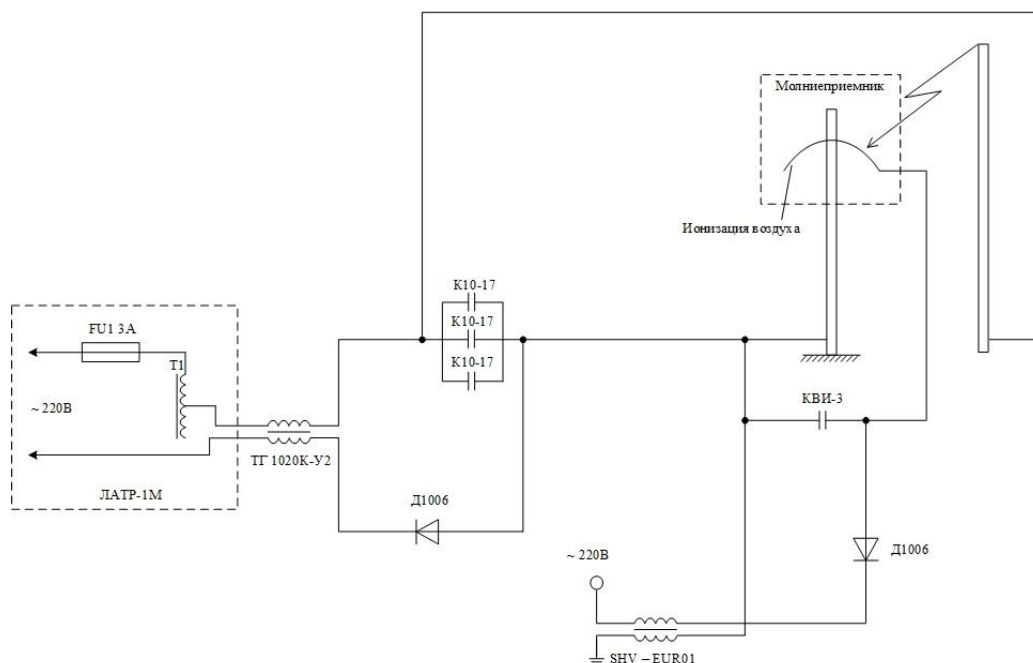


Рис. 5. Принципиальная схема лабораторной установки по проверке эффективности устройства активной молниезащиты

Принципиальная схема лабораторной установки активной молниезащиты состоит из двух высоковольтных трансформаторов. Трансформатор ТГ1020К-У2 с номинальным выходным напряжением 10 кВ совместно с диодом Д1006 и конденсаторами К10-17 предназначен для создания постоянного потенциала искусственной молнии. Выходное напряжение на трансформаторе ТГ1020К-У2 регулируется путем изменения напряжения на его входе с помощью переменного трансформатора ЛАТР-1М. Второй высоковольтный трансформатор SHV-EUR01 совместно с диодом Д1006 и конденсатором КВИ-3 создает положительный или отрицательный потенциал на поверхности молниеотвода. Проведенные испытания лабораторной установки в различных условиях (в том числе на реально действующем железнодорожном участке пути) показали высокую эффективность защитных параметров устройства активной молниезащиты. В частности было подтверждено, что для активации молниезащиты подключение к источнику электропитания не требуется. Напряженность электрического поля под контактными проводами вполне достаточна для приведения в действие встроенного высоковольтного генератора и зарядки конденсаторов. Помимо автономности от электропитания, система является экономически выгодной, т.к. требует установки меньшего количества устройств молниеотводов, чем при использовании пассивных вариантов в расчете на единицу площади [10, 11].

## Супрессоры

В рамках поиска второго направления защиты устройств ЖАТ были проведены комплексные исследования эффективности современных элементов – супрессоров.

Супрессор, он же ПОН (полупроводниковый ограничитель напряжения), он же TVS-диод (Transient Voltage Suppressor), он же защитный диод, он же диодный предохранитель. Очень часто TVS-диоды называют по маркам производителей: TRANSIL, INSEL. TVS-диоды обладают ярко выраженной нелинейной обратной вольт-амперной характеристикой. Если амплитуда электрического импульса превышает пороговое напряжение для конкретной марки диода, то он переходит в режим лавинного пробоя. В это время сопротивление диода снижается до очень малого сопротивления, в результате чего происходит либо шунтирование нагрузки, либо перетекание электрического заряда в контур заземления.

TVS-диоды выпускаются как несимметричными (однонаправленные), так и симметричными (двунаправленные) на различные напряжения. Симметричные могут работать в цепях переменного напряжения, а несимметричные только при напряжении одной полярности. Главными преимуществами TVS-диодов является их низкая стоимость, высокое быстродействие в наносекундных областях и возможность последовательного соединения по напряжению и параллельного по току.

С целью изучения параметров TVS-диодов и возможности их применения для защиты устройств ЖАТ был создан лабораторный макет, представленный на рис. 6. В качестве высоковольтного трансформатора был использован трансформатор ТГ1020К-У2 с предыдущего макета. Аналогично диод Д1006, накопительный конденсатор и трансформатор ЛАТР для регулировки уровня выходного напряжения.

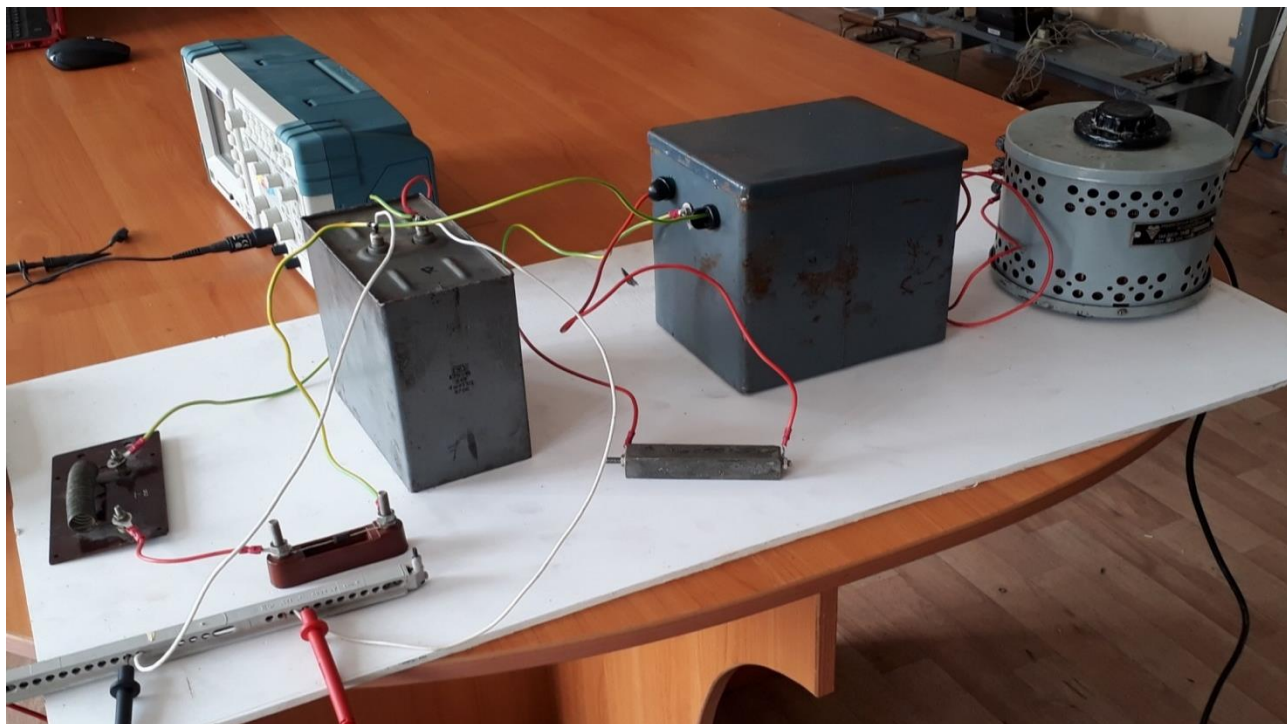


Рис. 6. Лабораторный макет по изучению параметров TVS-диодов

Результаты испытаний TVS-диода представлены на рис. 7 и 8. Напряжение с помощью ЛАТРа поднималось до 350 В (рис. 7). Далее происходил электрический пробой TVS-диода и шунтирование нагрузки. С помощью осциллографа измерялись временные характеристики переходных процессов (рис. 8). Анализ полученных данных и паспортных значений различных приборов подтвердил превосходство параметров TVS-диодов по сравнению с разрядниками, варисторами, стабилитронами (см. табл. 1). В ходе работы были также разработаны различные схемы применения TVS-диодов в схемах электропитания релейных шкафов (РШ) сигнальных точек числовой кодовой автоблокировки (рис. 9) [12-14].

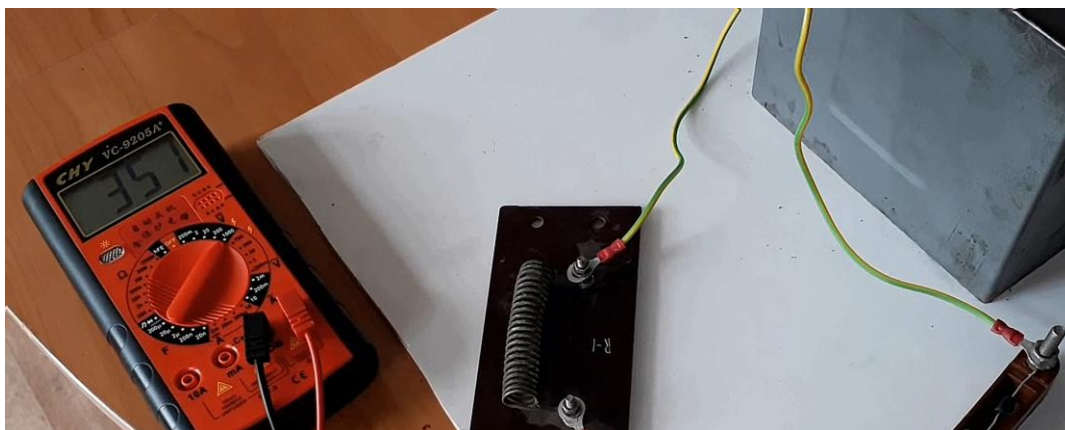


Рис. 7. Измерение напряжения на нагрузке

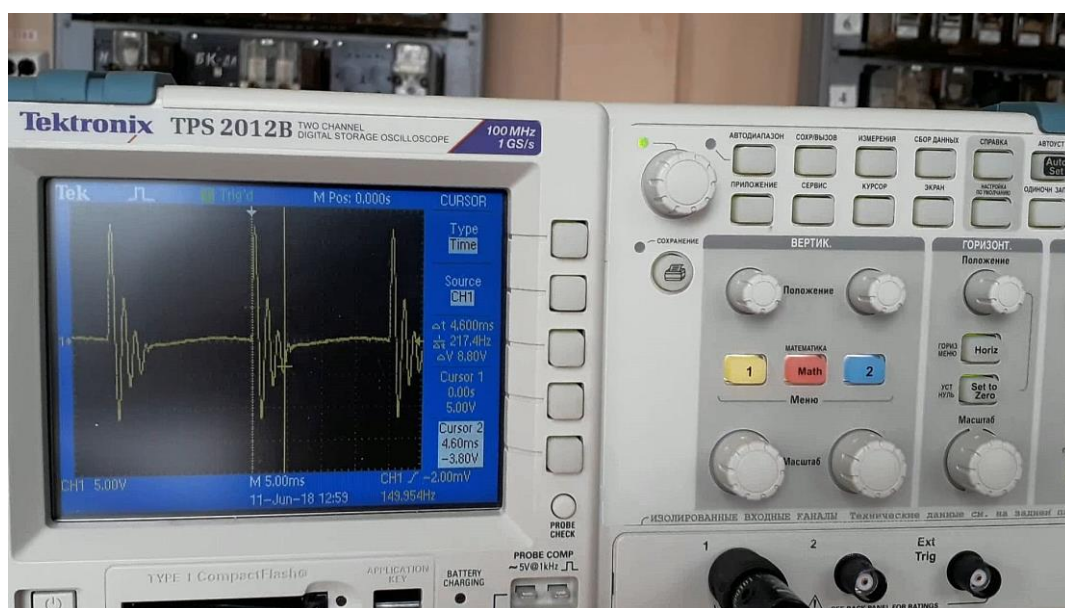


Рис. 8. Измерение временных параметров переходных процессов при срабатывании TVS-диода

Таблица 1 – Сравнительные параметры элементов защиты

Параметры	Разрядники	Варисторы	Стабилитроны	Супрессоры
Диапазон рабочих напряжений, В	70-10000	1000-2000	2,4-200	0,7-3100
Диапазон времени срабатывания	$\leq 100$ нс	$\leq 25$ нс	$\leq 15$ нс	$\leq 10$ нс
Диапазон допустимых импульсных токов, А	0,5-60000	1000	100	10-600
Межэлектродная ёмкость, пФ	1-20	200-1500	20-100000	2-100000
Рабочая температура, °С	$-50 \div +130$	$-40 \div +125$	$-60 \div +170$	$-60 \div +170$

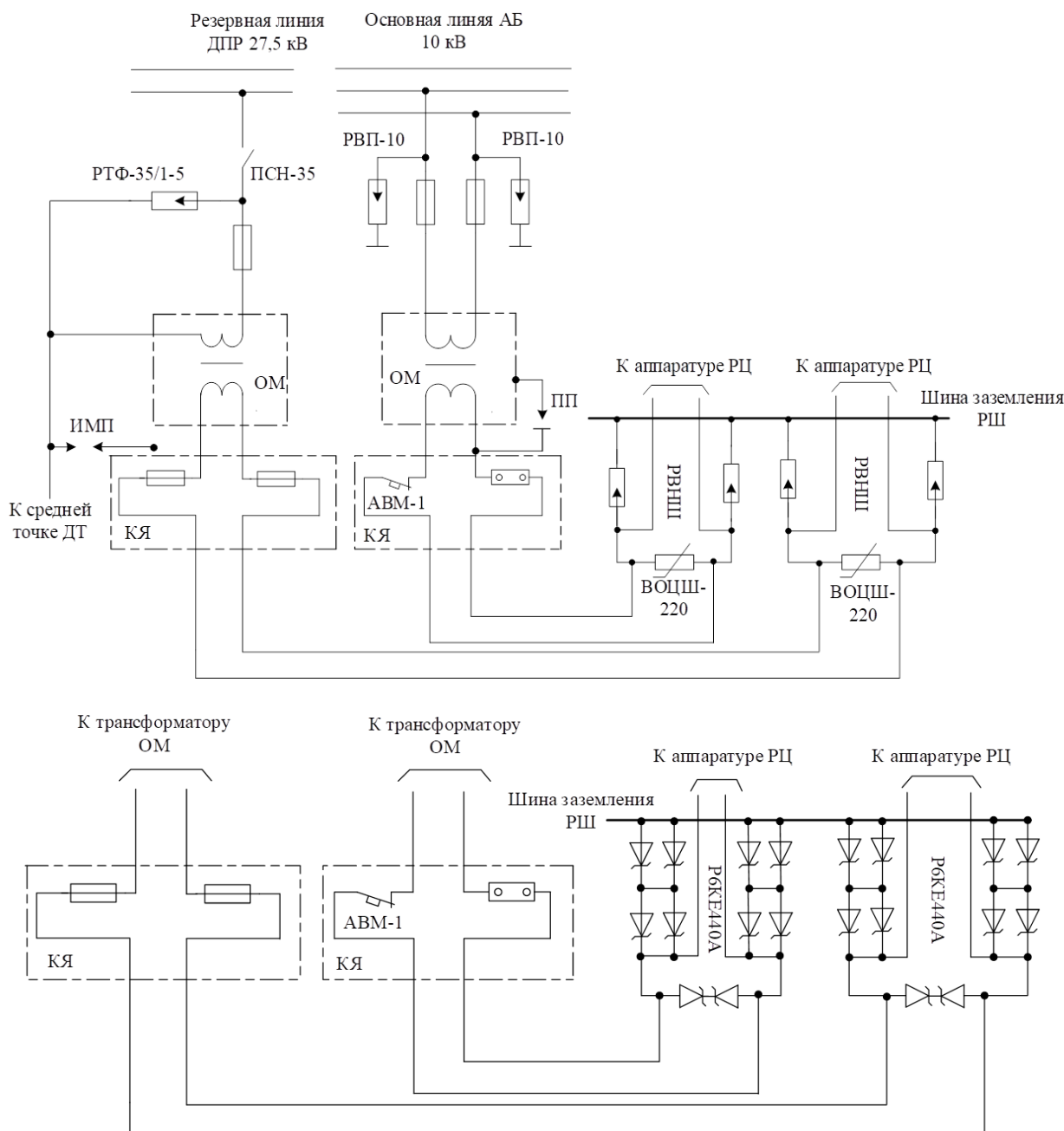


Рис. 9. Применяемая и предлагаемая схема электропитания РШ с применением защитных диодов

### Заключение

В данной работе предлагается два современных метода защиты устройств ЖАТ от перенапряжения на основе применения устройств активной молниезащиты и супрессоров. Данные методы защиты могут стать эффективными и экономически оправданными для применения в хозяйстве автоматики и телемеханики Забайкальской железной дороги в современных условиях конъюнктуры. В работе приведены результаты испытаний предлагаемых технических решений и варианты их практического применения для защиты устройств ЖАТ.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ работы хозяйства автоматики и телемеханики за 2020 год.
2. Анализ работы хозяйства автоматики и телемеханики за 2021 год.
3. Концепция комплексной защиты технических средств и объектов железнодорожной инфраструктуры от воздействия атмосферных и коммутационных перенапряжений и влияния тягового тока. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от

24.12.2013 № 2871р.

4. ГОСТ Р 55176.4.1-2012 Совместимость технических средств электромагнитная. Системы и оборудование железнодорожного транспорта. Часть 4-1. Устройства и аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Требования и методы испытаний.

5. ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011. Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Ч. 12. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Принципы выбора и применения.

6. ГОСТ Р 50571-4-44-2011 (МЭК 60364-4-44:2007). Электроустановки низковольтные. Часть 4-44. Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех.

7. ГОСТ Р 50571.5.54-2011 (МЭК 60364-5-54:2002). Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и проводники уравнивания потенциалов.

8. ГОСТ Р 51992 – 2011. Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Часть 1. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Технические требования и методы испытаний.

9. <https://www.youtube.com/watch?v=tjg7LsSZ1tI>

10. Инструкция по заземлению устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах ЦЭ-191. Утверждена заместителем министра путей сообщения А.Н. Кондратенко 10.06.1993 г.

11. ГОСТ Р 50571.3-2009 (МЭК 60364-4-1:2005). Электроустановки зданий.

12. Часть 4-41. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током.

13. Проект первой редакции ОАО «РЖД» «Защита устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от грозовых и коммутационных перенапряжений» Методические указания Москва 2013.

14. Стандарт организации. ОАО «ФСК ЕЭС». СТО 56974007-29.240.02.001-2008. Методические указания по защите распределительных электрических сетей напряжением 0,4-10 кВ от грозовых перенапряжений.

## REFERENCES

1. Analysis of the work of the automation and telemechanics economy for 2020.
2. Analysis of the work of the automation and telemechanics economy for 2021.
3. The concept of comprehensive protection of technical means and objects of railway infrastructure from the effects of atmospheric and switching overvoltages and the influence of traction current. Approved by the Order of JSC "Russian Railways" dated December 24, 2013 No. 2871р.
4. GOST R 55176.4.1-2012 Electromagnetic compatibility of technical means. Railway transport systems and equipment. Part 4-1. Devices and equipment of railway automation and telemechanics. Requirements and test methods.
5. GOST R IEC 61643-12-2011. Low-voltage surge protection devices. Part 12. Surge protection devices in low-voltage power distribution systems. Principles of selection and application.
6. GOST R 50571-4-44-2011 (IEC 60364-4-44:2007). Low-voltage electrical installations. Part 4-44. Security requirements. Protection against voltage deviations and electromagnetic interference.
7. GOST R 50571.5.54-2011 (IEC 60364-5-54:2002). Low-voltage electrical installations. Part 5-54. Selection and installation of electrical equipment. Grounding devices, protective conductors and potential equalization conductors.
8. GOST R 51992 – 2011. Low-voltage surge protection devices. Part 1. Surge protection devices in low-voltage power distribution systems. Technical requirements and test methods.



9. <https://www.youtube.com/watch?v=tjg7LsSZ1tI>
10. Instructions for grounding power supply devices on electrified railways CE-191. Approved by the Deputy Minister of Railways A.N. Kondratenko on 10.06.1993.
11. GOST R 50571.3-2009 (IEC 60364-4-1:2005). Electrical installations of buildings.
12. Part 4-41. Security requirements. Protection against electric shock.
13. Draft of the first edition of JSC "Russian Railways" "Protection of railway automation and telemechanics devices from lightning and switching overvoltages" Methodological guidelines Moscow 2013.
14. Organization standard. JSC FGC UES. STO 56974007-29.240.02.001-2008. Methodological guidelines for the protection of distribution electrical networks with a voltage of 0.4-10 kV from lightning overvoltages.

#### **Информация об авторах**

*Ивагин Илья Евгеньевич* – студент группы СОД.2-17-1, факультет очного обучения, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, e-mail: [ivagin99@yandex.ru](mailto:ivagin99@yandex.ru)

*Менакер Константин Владимирович* – к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение», Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, e-mail: [menkot@mail.ru](mailto:menkot@mail.ru)

*Бушуев Евгений Михайлович* – старший преподаватель кафедры «Электроснабжение», Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, e-mail: [evgeniybush@ya.ru](mailto:evgeniybush@ya.ru)

#### **Information about the authors**

*Ivagin Ilya Evgenievich* – student of the group SOD. 2-17-1, Faculty of Full-time Education, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: [ivagin99@yandex.ru](mailto:ivagin99@yandex.ru)

*Menaker Konstantin Vladimirovich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Power Supply, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: [menkot@mail.ru](mailto:menkot@mail.ru)

*Bushuev Evgeny Mikhailovich* – Senior Lecturer of the Department of Power Supply, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: [evgeniybush@ya.ru](mailto:evgeniybush@ya.ru)