УДК 681.518.5:656.25

А. Д. Манаков, докт. техн. наук

В. А. Шатохин, канд. техн. наук

А. А. Порошин

*Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»,
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I*

АКТИВНЫЙ МЕТОД ЗАЩИТЫ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Статья посвящена исследованию вопросов повышения надежности, безопасности и живучести устройств электропитания железнодорожной автоматики и телемеханики. В ходе работы был проведен анализ отказов в хозяйстве автоматики и телемеханики за последние годы, оценена доля отказов устройств вследствие воздействия грозовых перенапряжений, отмечена тенденция роста числа отказов устройств железнодорожной автоматики и телемеханики по причине коммутационных и грозовых перенапряжений. Представлена структура современных устройств бесперебойного электропитания с описанием основных структурных узлов. Предложены способы реализации активного метода защиты устройств электропитания железнодорожной автоматики и телемеханики путем введения в систему технической диагностики и мониторинга функции локации гроз с возможностью регистрации опасной грозовой активности для сохранения их исправного и работоспособного состояния и обеспечения бесперебойности и безопасности перевозочного процесса, что будет способствовать снижению ущерба от влияния опасных электромагнитных воздействий, в т. ч. грозовых перенапряжений. Рассмотрен вариант синхронизации системы локации гроз с имеющимися грозопеленгационными сетями посредством глобальной компьютерной сети Интернет, а также вариант установки однопунктового грозопеленгатора на посту электрической централизации.

Системы электропитания железнодорожной автоматики, атмосферное перенапряжение, электромагнитное воздействие, система технического диагностирования и мониторинга грозовой активности, активный метод защиты

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-4-522-538

Введение

В соответствии с долгосрочной программой развития ОАО «РЖД» до 2025 года с целью повышения пропускной способности ведется процесс активного внедрения микропроцессорных устройств на железнодорожном транспорте. По данным Центральной дирекции инфраструктуры, на 1 января 2019 года станционные микропроцессорные системы уже эксплуатируются на 602 станциях с количеством стрелок 16036, на многих станциях идут пуско-наладочные работы, выполняются проектные работы по оснащению системами микропроцессорной централизации (МПЦ) новых объектов. Современные системы МПЦ качественно отличаются от релейных и релейно-процессорных систем централизации по ряду преимуществ:

- высокий уровень надежности (резервируются многие узлы, в т. ч. центральный процессор, происходит непрерывный обмен информацией между ядром МПЦ и управляемыми объектами);
- интеллектуальный интерфейс, снижающий вероятность ошибочных действий оперативного персонала (речевые подсказки и логический контроль над действиями человека);
- расширенный набор технологических функций (замыкание маршрута без открытия светофора, блокировка стрелок в нужном положении и др.);
- возможность управления объектами многих станций и перегонов с одного рабочего места;
- высокий уровень диагностики и мониторинга (предоставление техническому персоналу полной информации о ключевых узлах системы и локализации неисправностей с возможностью передачи данных в центр управления перевозками, протоколирование и архивирование неисправностей системы и действий эксплуатационного персонала);
- меньший объем строительно-монтажных работ, упрощенный процесс стыковки с системами более высокого уровня, меньшие габариты оборудования.

Значимые отрицательные аспекты микропроцессорных систем — дороговизна и повышенные требования к качеству электропитания [1], поэтому при проектировании железнодорожной станции системам электропитания железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) уделяется особое внимание.

Для обеспечения бесперебойности перевозочного процесса системы электропитания устройств ЖАТ решают важные задачи, среди которых можно выделить две главные: обеспечение непрерывного во времени электропитания систем и устройств ЖАТ с необходимым для их надежного функционирования качеством электроэнергии.

По данным [2], на протяжении пяти лет (с 2015 по 2019) росло количество отказов устройств ЖАТ вследствие воздействия атмосферных перенапряжений. Атмосферные перенапряжения возникают в результате прямого удара молнии в тяговую сеть, высоковольтные линии электроснабжения, рельсовую линию, а также в результате электростатической индукции электрически заряженных облаков и электромагнитной индукции тока молнии при близких разрядах молнии в землю и между облаками.

Такие перенапряжения оказывают опасные электромагнитные воздействия и мешающие электромагнитные влияния на устройства инфраструктуры обеспечения движения поездов [3–10].

В данной работе рассматривается создание комплексной системы технической диагностики и мониторинга (СТДМ) систем электропитания ЖАТ с активным методом защиты от атмосферных перенапряжений. Помимо имеющихся функциональных возможностей СТДМ будет включать в свой состав систему слежения за перемещением грозовых фронтов с возможностью переключения на резервные автономные источники питания при близких грозовых разрядах.

При этом степень опасности атмосферного электричества будет определяться системой локации гроз.

1. Современные системы электропитания ЖАТ

Уже более 20 лет Центр компьютерных железнодорожных технологий Петербургского государственного университета путей сообщения работает над совершенствованием устройств электропитания микропроцессорных комплексов железнодорожной автоматики и телемеханики. Разработанные системы электропитания УЭП-МПК активно внедряются на всей сети ОАО «РЖД», в метрополитене, на промышленном транспорте, а также на железнодорожных линиях Казахстана.

УЭП-МПК — система с двойным преобразованием электроэнергии на основе шины постоянного тока (рис. 1).

В состав системы электропитания УЭП-МПК входят функциональные блоки, каждый из которых поставляется в виде законченного модуля. Питающие

Обобщенная структурная схема системы электропитания

Рис. 1. Структурная схема УЭП-МПК

кабели внешних фидеров заводятся через отдельные независимые вводные устройства фидера (ВУФ), количество которых определяется категорией потребителя. Каждое из вводных устройств на входе содержит рубильник с видимым разрывом цепей, обеспечивающий гарантированное разъединение цепей по требованиям норм пожаротушения. Для защиты от электрических перегрузок по току в ВУФ устанавливаются два отдельных автоматических выключателя, выходы с одного из которых идут на изолирующий трансформатор (ИТ), а далее — в систему бесперебойного электропитания и через распределительные устройства к соответствующим нагрузкам устройств сигнализации, централизации и блокировки. Для гарантированного электропитания нагрузок, не относящихся к СЦБ, в ВУФ устанавливается отдельный входной автомат. Щит учета электроэнергии (ЩУ) обеспечивает учет потребляемой электроэнергии. От вводных устройств каждый фидер подключается на входные клеммы силового коммутатора (СК): 1 СК, 2 СК, 3 СК, где происходит проверка параметров входного напряжения и — при их соответствии заданным значениям — автоматическое включение фидера в работу. СК обеспечивает подключение внешнего источника питания к системе бесперебойного питания (СБП). В СК реализована схема автоматического ввода резерва: в случае пропадания фидера осуществляется автоматический переход на второй фидер, в случае пропадания второго — автоматический переход на третий фидер, подразумевающий под собой питание от резервной автономной электростанции (РАЭС). Во время перехода с фидера на фидер, а также в случае пропадания всех фидеров (и отсутствии или незапуске РАЭС) питание нагрузок идет от аккумуляторной батареи (АКБ).

Комплектные распределительные устройства (КРУ) выпускаются четырех видов.

КРУ без индекса предназначено для решения функциональных и логических задач: выбора фидера автоматом ввода резерва и управления местной электростанцией.

КРУ 1-го типа предназначено для распределения переменного входного напряжения ~ 220 В между потребителями без каких-либо преобразований. КРУ 2-го типа предназначено для распределения входного напряжения между потребителями с его преобразованием как в переменное, так и в постоянное с необходимыми значениями. КРУ 3-го типа предназначено для распределения входного напряжения между потребителями с его преобразованием в переменное с необходимыми значениями. КРУ 4-го типа предназначено для распределения постоянного входного напряжения $=24$ В между потребителями без каких-либо преобразований.

От отдельного распределительного устройства 1 КРУ образуется гарантированное электропитание нагрузок (сети рабочего освещения, вентиляции, кондиционирования, бытовых нагрузок, электрообогрева и т. п.). Под гарантированным электропитанием понимается электропитание, при котором допускается кратковременное (на время переключения фидеров) ухудшение

показателей качества электроэнергии, просадки и исчезновения напряжения на входных выводах цепей питания аппаратуры. Длительность прерывания электропитания при переключении резерва не должна превышать 1,3 с. При пропадании обоих фидеров выделяется одна минута на запуск РАЭС, при этом совершается не менее трех попыток запуска.

Гарантированное электропитание нагрузок дистанции гражданских сооружений (устройства обогрева помещений/модулей, сети хозяйственного освещения и т. п.) в УЭП-МПК обеспечивается от отдельного распределительного устройства 2 КРУ.

Негарантированное электропитание образуется напрямую от 1 ВУФ. Под негарантированным электропитанием понимается вид электропитания нагрузки, обеспечиваемого устройством электропитания, при котором допускается длительное ухудшение показателей качества электроэнергии, провалы и исчезновения напряжения на входных выводах цепей питания технических средств.

К силовым коммутаторам через изолирующий трансформатор (ИТ) подключается СБП, которая выполняет две главные задачи:

- осуществляет качественное электроснабжение нагрузок, прежде всего вычислительной техники и сетевого коммуникационного оборудования, критичных к параметрам электроэнергии;
- обеспечивает непрерывность питания нагрузок, непосредственно обеспечивающих бесперебойность и безопасность перевозочного процесса.

Под бесперебойным электропитанием понимается вид электропитания нагрузки, обеспечиваемого устройством электропитания, при котором не допускаются исчезновение или перепады напряжения, а также отклонения от регламентированных показателей качества электроэнергии.

В СБП используются устройства бесперебойного электропитания (УБП) двойного преобразования, относящиеся к категории on-line. Достоинством метода является идеальное питание нагрузки при любых неполадках в сети, нулевое время перехода на АКБ без переходных процессов. Питание нагрузки без перехода на АКБ в широком диапазоне напряжения сети.

УЭП-МПК включают в себя систему технической диагностики и мониторинга, контролирующую все ключевые узлы системы электропитания и в онлайн-режиме транслирующую информацию на автоматизированное рабочее место электромеханика и дежурного по станции (ДСП), а также в системы верхнего уровня. Программное обеспечение СТДМ УЭП-МПК выполняет следующие функции:

- краткое отображение состояния УЭП-МПК (фидеров, АКБ), напряжение и потребляемые токи, температуру, критические и некритические аварии, сопротивление изоляции и т. п.);
- расширенное отображение состояния объектов УЭП-МПК (гармонические составляющие, активную и реактивную мощность);
- расширенное отображение состояния РАЭС (напряжение, токи, частоту, объем топлива, ошибки в работе, прогнозируемое время работы);

— отображение состояний преобразователей (инверторов, конверторов, выпрямителей).

2. Анализ отказов технических средств в хозяйстве автоматики и телемеханики

Анализируя статистику отказов в хозяйстве автоматики и телемеханики с 2010 по 2018 годы, можно отметить, что в целом наблюдается положительная тенденция по снижению числа отказов аппаратуры СЦБ (рис. 2). Это происходит благодаря внедрению современных систем диагностики и мониторинга, совершенствованию структурной и элементной базы систем СЦБ.

Однако вопреки общей положительной динамике растет число отказов устройств ЖАТ по причине коммутационных и грозовых перенапряжений (ПН), причем доля последних преобладает (рис. 3).

Рис. 2. Отказы технических средств в хозяйстве автоматики и телемеханики за 2010–2018 годы

Рис. 3. Количество и доля отказов устройств ЖАТ вследствие воздействия перенапряжений за 2015–2018 годы

Таблица 1. Влияние отказов на потери поездо-часов в хозяйстве автоматики и телемеханики в зависимости от характера воздействия за 2018 год

Воздействия	Потери поездо-часов	
	2018 год	%
Эксплуатационные	2627,1	20,8
Деградационные	3620,7	28,6
Конструктивные	1875,5	14,8
Производственные	1890,5	14,9
Влияние погоды (атмосферных перенапряжений)	1315	10,4
Кражи, порчи	1377,2	10,9
Итого	12 660,6	

С увеличением числа отказов аппаратуры ЖАТ растут и задержки поездов, вызванные грозowymi перенапряжениями. Так, согласно таблице 1, погодные условия (в т. ч. атмосферные перенапряжения) вызвали свыше 1300 поездо-часов потерь, что составляет более 10 % от всех задержек поездов в сети РЖД за год.

Увеличение количества отказов устройств ЖАТ по причине грозowych ПН и потерь поездо-часов объясняется в т. ч. тем, что с каждым годом растет число микропроцессорных и релейно-процессорных устройств, внедряемых в хозяйстве автоматики и телемеханики. Усугубляет ситуацию тот факт, что микроэлектронные устройства из-за уменьшения рабочей поверхности микроэлектронных компонентов и малого междуэлектродного пространства способны выдержать лишь незначительные допустимые перенапряжения и токи перегрузки, уровень которых гораздо ниже по сравнению с релейными системами.

В работах [3, 11, 12] показано, что распределенные сети систем электроснабжения, расположенные над поверхностью земли, подвержены прямым ударам молнии, электрическому влиянию грозowych облаков и магнитному влиянию токов молнии. Высоковольтные линии являются направляющей средой для волн атмосферных перенапряжений, которые по мере распространения воздействуют на все технические средства, подключенные к распределительным сетям электроснабжения.

Системы электропитания ЖАТ — последний рубеж, от которого непосредственно идет электропитание микропроцессорных централизаций, электронных систем автоблокировки, автоматизированных систем диспетчерского управления и контроля, компьютерных диспетчерских централизаций и многих других микропроцессорных устройств. При этом воздушные линии электропередач выполняют роль антенны, стягивающей на себя прямые удары молнии и индуцированные перенапряжения при электромагнитной индукции близких грозowych разрядов в объекты и землю.

Традиционные методы и способы защиты технических средств и служебно-технических зданий от воздействий атмосферного электричества и коммутационных перенапряжений на железных дорогах России пришли в противоречие с допустимыми уровнями перенапряжений для микроэлектронных устройств. Зачастую устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) не в состоянии защитить аппаратуру ЖАТ от грозовых перенапряжений. Как показывает статистика [2], за 2018 год отмечено 395 случаев отказов УЗИП при 863 зарегистрированных грозовых перенапряжениях. Таким образом, около 45 % УЗИП в случае грозовых ПН выходят из строя и не способны защитить устройства ЖАТ.

Для современных электронных систем ЖАТ защитные характеристики применяемых элементов не всегда обеспечивают необходимый уровень защиты наиболее чувствительных полупроводниковых элементов. Основными причинами низкой надежности существующих устройств защиты являются их электрические характеристики, которые не согласованы с допустимой энергией, действующей на УЗИП. Энергия атмосферных перенапряжений превышает допустимые уровни энергий для УЗИП. Для рассеяния таких энергий требуется создание систем защиты от импульсных перенапряжений, которые представляют собой набор устройств защиты от импульсных перенапряжений, должным образом подобранных, согласованных и установленных. Эти устройства формируют систему защиты, обеспечивающую снижение количества отказов электрических и электронных систем [13].

3. Активный метод защиты УЭП-МПК

Растущие с каждым годом финансовые потери ОАО «РЖД» от атмосферных ПН требуют пересмотра традиционных способов защиты от опасных электромагнитных воздействий (ОЭМВ) — напряжений и токов в цепях устройств ЖАТ, вызывающих повреждения технического средства (пробой изоляции, тепловое и/или динамическое разрушение), а также поражение электрической энергией обслуживающего персонала [14, 15].

Как было отмечено выше, электропитающая установка — последний «сдерживающий» качества электропитания, от которого осуществляется питание разного рода микропроцессорных устройств СЦБ. В состав современных УЭП также входит микропроцессорная техника: выпрямители, инверторы, конвертеры, контроллеры, платы преобразования частоты — все это микроэлектронные устройства, которые так же подвержены ОЭМВ со стороны трансформаторной подстанции при попадании грозового разряда в контактную сеть. За 2018 год в два раза увеличилось количество вышедших из строя выпрямителей УЭП, выросло число отказов контроллеров.

По мнению авторов, чтобы сократить ущерб от ОЭМВ, следует применять автоматические радиотехнические системы локализации гроз, позволяющие по-

лучать характеристики молнии в реальном масштабе времени по мере нарастания и распространения грозового фронта. Системы локации гроз позволяют определять основные характеристики молний на расстоянии до 200 км с погрешностью до 1 км. Создание такой системы на железнодорожном транспорте даст возможность определить наиболее активные по воздействию грозы участки железной дороги и обосновать требования к защите от атмосферных перенапряжений на таких участках [13, 16].

3.1. Синхронизация с имеющимися грозопеленгационными сетями посредством глобальной компьютерной сети Интернет

Российские региональные центры исследования гроз многие годы ведут мониторинг грозовой активности. В настоящее время существует множество систем грозопеленгации [17–24], в т. ч. коммерческие (ГПС «Алвес», «Верея-МР», WWLLN, NLDN (Vaisala), Euclid, Boltek, GLN (TOA Systems), «Росгидромет» и др.) и общедоступные (Blitzortung). Взаимодействие холдинга ОАО «РЖД» с одной из систем позволит вести мониторинг грозовой активности по всей сети железных дорог России.

Пример успешного проекта — взаимодействие Кольского научного центра РАН, который с 2013 года ведет мониторинг грозовой активности по территории Мурманской области, с общедоступной сетью грозопеленгации Blitzortung [25, 26].

Проект сети грозопеленгации Blitzortung был инициирован в начале 2000-х годов профессором Дюссельдорфского университета Эгоном Ванке. Он представлял собой распределенную сеть детекторов молниевых разрядов, позволяющую с высокой точностью определять место удара молнии в землю. В конце 2005 года был создан прототип сети из нескольких детекторов, а на начало 2021-го в сети зарегистрировано свыше 2000 устройств более чем в 80 странах мира. Из них приблизительно 1600 работают постоянно и поставляют данные из всех точек планеты.

Детектор Blitzortung является четырехканальным приемником сигналов низкочастотных диапазонов (3–300 кГц). Электромагнитная волна, генерируемая молниевым разрядом, улавливается тремя ортогональными магнитными антеннами и одной электрической, причем могут быть задействованы от одного до четырех приемных каналов. Аналоговые сигналы усиливаются, фильтруются, оцифровываются с частотой дискретизации 500 кГц и проходят предварительную обработку в микроконтроллере устройства для выделения молниеподобных сигналов из всего потока принятого электромагнитного излучения и определения точного времени получения детектором этих сигналов. Для выяснения места удара молнии в землю сеть Blitzortung использует только информацию о координатах детектора и времени регистрации молниевых разрядов. Все детекторы снабжены GPS-приемниками, которые и обеспечивают высокую точ-

ность определения координат и времени. Каждый зарегистрированный сигнал снабжается временной меткой, которая вместе с координатами детектора посылается на сервер сбора данных. Связь детекторов с серверами реализуется через Интернет посредством сетевого интерфейса. Серверы осуществляют хранение и обработку полученных от детекторов данных и их визуализацию на сайтах www.blitzortung.org и www.lightningmaps.org.

Место удара молнии в землю вычисляется с помощью метода ТОВА (Time of Arrival), основанного на измерении задержки распространения радиосигнала между источником (молнией) и приемником (детектором). Если несколько детекторов принимают один и тот же сигнал в разные моменты времени, то, зная скорость распространения сигнала (в случае электромагнитной волны в атмосфере это скорость света), можно построить семейство кривых, на которых лежат все точки возможного расположения источника этого сигнала. Точка пересечения этих кривых и будет координатой удара молнии в землю. Каждая кривая (в данном случае это гипербола) строится на основании разницы во времени получения сигнала двумя детекторами. Для определения координат разряда требуется как минимум пересечение двух гипербол, т. е. теоретически сигнал должен быть принят как минимум тремя детекторами.

Недостаток системы в том, что каналы передачи погодных данных не являются надежными и поверенными устройствами. Кроме того, точность получения координаты разряда ограничена из-за малого числа регистраторов, расположенных в широкой полосе российских железных дорог, что делает эту систему непригодной для надежного обеспечения грозобезопасности ОАО «РЖД».

3.2. Однопунктовый грозопеленгатор на посту электрической централизации

В силу высокой протяженности российских железных дорог синхронизация с имеющимися грозопеленгационными сетями не всегда может дать точный результат по определению грозовой активности. В таком случае более эффективен метод регистрации разрядов молний с помощью однопунктового грозопеленгатора дальнего радиуса действия, например, StormTracker канадской фирмы Voltek имеет заявленный изготовителем радиус детектирования до 480 км. Грозопеленгатор принимает радиоволны, возникающие вследствие разряда молнии, в диапазоне очень низких частот с помощью ЕН-антенны. Однопунктовый сверхдлинноволновой грозопеленгатор-дальномер (ГПД) оригинальной конструкции включает вычислительный комплекс с программными модулями, используемыми для отображения в реальном времени пространственно-временной картины развивающейся грозовой активности и оценки степени ее грозоопасности. Он обладает преимуществом более точного и эффективного локального (в радиусе до 100 км от конкретного объекта) обнаружения грозовой активности, определения стадии развития грозы, наличия опасных молниевых

вспышек. Будучи установленным в составе СТДМ УЭП на посту электрической централизации, может подать сигнал на контроллер системы УЭП-МПК для перехода железнодорожной станции на работу от РАЭС или (при ее отсутствии) от аккумуляторного резерва. При проектировании железнодорожной станции, как правило, закладывается двухчасовой аккумуляторный резерв, а согласно статистическим данным [27], средняя ширина грозового фронта составляет не более 16 км с продолжительностью грозы 1–1,5 часа. Это означает, что на время опасной грозовой активности устройства электропитания ЖАТ автономно и безопасно продолжают свою работу, исключая проникновение ОЭМВ со стороны высоковольтной линии.

Преимуществами однопунктовых ГПД являются их автономность, мобильность, экономичность, простота в эксплуатации, относительная дешевизна. В этой связи их использование на объектах железнодорожного транспорта, по мнению авторов, не только возможно, но и предпочтительно.

При разработке ГПД основная проблема возникает при реализации достаточно точного дальномерного алгоритма [28]. Для определения пеленга на молниевый разряд из пункта приема (местоположения ГПД) традиционно используется соотношение горизонтальных магнитных составляющих электромагнитного излучения, в качестве датчиков которых применяются скрещенные магнитные рамки. Для определения расстояния до молниевых разрядов предпочтительно применение одного из так называемых Е–Н-алгоритмов, обладающих наилучшей точностью среди других известных методов однопунктовой дальнометрии. В их основе лежит использование различной зависимости от дальности вертикальной электрической (Е) и горизонтальной магнитной (Н) компонент электромагнитного излучения молниевых разрядов, что позволяет избавиться от влияния на точность оценки дальности вариаций параметров источника излучения. К настоящему времени разработан целый ряд модификаций Е–Н-дальномеров и пеленгаторов, отличающихся способом извлечения информации об оцениваемой дальности и азимуте на источник молниевых разрядов. Описание принципов построения и краткий анализ их основных характеристик содержится в работе [27].

Заключение

Проведенные исследования показали, что атмосферные (грозовые) перенапряжения ежегодно наносят огромный урон железнодорожной инфраструктуре. Только на примере изучения последствий грозовых перенапряжений в хозяйстве ЖАТ можно отметить значительные экономические потери ОАО «РЖД» в результате вышедшего из строя оборудования и существенных задержек движения поездов.

Введение в систему технической диагностики и мониторинга УЭП функции локализации гроз с возможностью регистрации опасной грозовой активности

позволяет реализовать активный метод защиты вводов питания устройств инфраструктуры обеспечения движения поездов при близких грозовых разрядах. На время прохождения грозового фронта с опасными характеристиками разрядов устройства железнодорожной автоматики отключаются от внешних фидеров питания энергоснабжения и переходят на питание от автономных источников — аккумуляторного резерва или резервной автономной электростанции.

Создание комплексной системы диагностики и мониторинга, включающей удаленный мониторинг грозовой активности с возможностью телемеханического перехода на независимые резервные источники электропитания позволит снизить затраты на техническую эксплуатацию устройств защиты от перенапряжений, сохранить и повысить надежность работы микропроцессорных устройств и инфраструктуры перевозочного процесса и сократить потери железных дорог при задержках поездов, связанных с отказами средств защиты от перенапряжений и аппаратуры железнодорожной автоматики и телемеханики.

Дальнейшие перспективные направления исследований могут идти по пути выбора оптимального однопунктового грозоуплотнителя для постов электрической централизации по критериям дальности действия, надежности, точности. Необходимо произвести расчет экономической эффективности реализации идеи и создать модель СТДМ с функцией активного метода защиты вводов электропитания, после чего приступить к созданию опытного образца.

Библиографический список

1. *Никитин А. Б.* Обобщение тенденций развития устройств электрической централизации и опыта тиражирования компьютерных систем оперативного управления движением поездов на станциях / А. Б. Никитин, С. В. Бушуев // Транспорт Урала. – 2006. – № 2. – С. 2–8.
2. Анализ эксплуатационной деятельности хозяйства автоматики и телемеханики по итогам 2018 года // Управление автоматики и телемеханики центральной дирекции инфраструктуры. – М., 2019. – 96 с.
3. *Никитин А. Б.* Концепция защиты устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от перенапряжений / А. Б. Никитин, О. А. Наседкин, А. Д. Манаков, В. А. Шатохин // Ж.-д. трансп. Серия «Сигнализация и связь». ЭИ/ЦНТИ. – 2006. – Вып. 3. – С. 1–25.
4. *Кравченко В. И.* Грозозащита радиоэлектронных средств: справочник / В. И. Кравченко. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.
5. *Михайлов М. И.* Влияние внешних электромагнитных полей на цепи проводной связи и защитные мероприятия / М. И. Михайлов. – М.: Связьиздат, 1959. – 583 с.
6. Правила защиты установок проводной связи энергосистем от опасных напряжений и токов (Схемы защиты и нормативные указания). – М., 1966. – 20 с.
7. Правила защиты устройств проводной связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики от опасного и мешающего влияния линий электропередачи. Ч. 1. Общие положения. Опасные влияния. – М.: Энергия, 1966. – 40 с.
8. Правила защиты устройств проводной связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики от опасного и мешающего влияния линий электропередачи. Ч. 2. Мешающие влияния. – М.: Связь, 1972. – 56 с.

9. *Снегуров В. С.* Способ защиты от грозовых перенапряжений централизованных электронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики / В. С. Снегуров, А. В. Снегуров, В. А. Шатохин // Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте: сборник докладов «ТрансЖАТ-2006». – СПб., 23–26 августа. – С. 195–198.
10. *Махов Д. А.* Модель опасной грозы. Вторая Российская конференция по молниезащите / Д. А. Махов, Д. Ю. Казаков. – М.: Энергетический институт им. Г. М. Кржижановского (ОАО «ЭНИН»), 22–24 сентября 2010 г.
11. *Манаков А. Д.* Задачи концепции защиты от перенапряжений инфраструктуры обеспечения движения поездов / А. Д. Манаков, А. Б. Никитин, О. А. Наседкин, В. А. Шатохин // Развитие элементной базы и совершенствование методов построения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. – 2014. – № 1. – С. 5–13.
12. *Манаков А. Д.* Воздействие перенапряжений на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики АО «Узбекистон темир йуллари» / А. Д. Манаков, А. А. Рахмонбердиев // Автоматика на транспорте. – 2019. – № 3. – С. 338–355.
13. ГОСТ Р МЭК 62305-1–2010. Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 1. Общие принципы. – М.: Стандартинформ, 2011. – 46 с.
14. *Кравченко К. В.* Защита систем ЖАТ от грозовых и коммутационных перенапряжений / К. В. Кравченко // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 4. – С. 25–28.
15. Правила защиты устройств проводной связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики от опасного и мешающего влияния линий электропередачи. Ч. 1. Общие положения. Опасные влияния. – М.: Энергия, 1966. – 40 с.
16. *Махов Д. А.* Модель опасной грозы. Модернизация процессов перевозок систем автоматизации и телекоммуникаций на транспорте / Д. А. Махов, Д. Ю. Казаков // Труды межрегиональной научно-практической конференции с международным участием. Под ред. А. И. Годяева. Хабаровск, 9–10 декабря 2010 г. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010. – Т. 2. – С. 112–121.
17. *Морозов В. Н.* Исследования в области атмосферного электричества и пеленгации гроз / В. Н. Морозов [и др.] // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. – 2009. – № 560. – С. 213–242.
18. *Московенко В. М.* Применение системы грозопеленгации «Верей-МР» в интересах электроэнергетики России / В. М. Московенко, Б. П. Знаменщиков, С. В. Золотарев // Новое в российской электроэнергетике. – 2012. – № 2. – С. 15–23.
19. *Dowden R. L.* VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites / R. L. Dowden, J. B. Brundell, C. J. Rodger // J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. – 2002. – Vol. 64. – No. 7. – P. 817–830.
20. National Lightning Detection Network NLDN. – URL: <https://www.vaisala.com/en/products/data-subscriptions-and-reports/data-sets/nldn/> (дата обращения: 10.04.2021).
21. *Schulz W.* The European lightning location system EUCLID. Part 1: Performance analysis and validation / W. Schulz [et al.] // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. – 2016. – No. 16. – Pp. 595–605.
22. Boltek. Lightning Detection Systems. – URL: <https://www.boltek.com/> (дата обращения: 10.04.2021).
23. Global Lightning Network – TOA Systems. – URL: <http://toasystems.com/our-network/global-lightning/> (дата обращения: 10.04.2021).
24. *Wanke E.* World-Wide Low-Cost CommunityBased Time-of-Arrival Lightning Detection and Lightning Location Network / E. Wanke, R. Andersen, T. Volgnandt. – 2016. – URL: <http://www.blitzortung.org/> (дата обращения: 10.04.2021).
25. *Бурцев А. В.* Сопоставление результатов регистрации различных систем грозопеленгации в Кольском регионе / А. В. Бурцев, Г. П. Фастий, В. В. Ярошевич // Труды Кольского научного центра РАН. – 2018. – № 3–16 (9).

26. Бурцев А. В. Развитие системы мониторинга грозовой активности на Кольском полуострове / А. В. Бурцев, Г. П. Фастий, В. В. Ярошевич // Труды Кольского научного центра РАН. – 2018. – № 8 (17).
27. Кононов И. И. Радиотехнические методы местоопределения грозовых очагов / И. И. Кононов, И. А. Петренко, В. С. Снегуров. – Л.: Гидрометеониздат, 1986. – 222 с.
28. Кононов И. И. Альтернативное обеспечение грозобезопасности на объектах водного транспорта / И. И. Кононов, Д. М. Крутой, И. Е. Юсупов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2013. – № 3 (19).

**A. D. Manakov,
V. A. Shatokhin,
A. A. Poroshin**

*Department of Automation and Telemechanics on Railways
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University*

ACTIVE PROTECTION METHOD FOR POWER SUPPLY OF MICROPROCESSOR COMPLEXES OF RAILWAY AUTOMATION AND REMOTE CONTROL

The article discusses the issues of increasing the reliability, safety, and survivability of power supply for railway automation and remote control devices. The authors have analyzed failures in the automation and remote control facilities in recent years, estimated the proportion of device failures due to lightning overvoltages, and highlighted an upward trend in the railway automation and remote control failures due to switching and lightning overvoltages. The design of modern uninterruptible power supply devices is provided with a description of the main structural units. Methods are proposed for the implementation of active protection for power supply of railway automation and remote control by introducing the thunderstorm locating functionality into the technical diagnostics and monitoring system. This solution will enable registration of hazardous thunderstorm activity and maintaining the devices' serviceability and efficiency, and will ensure the continuity and safety of the transportation process, which will help reduce damage incurred due to hazardous electromagnetic effects, including lightning overvoltages. The article suggests synchronizing the thunderstorm location system with the existing lightning detection networks through the Internet, a global computer network, as well as the option of installing a single-point lightning detector at an electrical interlocking post.

Railway automation power supply systems, atmospheric overvoltage, electromagnetic effects, a system for technical diagnostics and monitoring of thunderstorm activity, an active protection method

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-4-522-538

References

1. Nikitin A. B. & Bushuyev S. V. (2006) Obobshcheniye tendentsiy razvitiya ustroystv elektricheskoy tsentralizatsii i opyta tirazhirovaniya komp'yuternykh sistem operativnogo upravleniya dvizheniyem poyezdov na stantsiyakh [Generalization of trends in the development of electrical interlocking devices and the experience of replicating computer systems for train

- traffic operational management at stations]. *Transport Urala* [Transport of the Urals], no. 2, pp. 2–8. (In Russian)
2. *Analiz ekspluatatsionnoy deyatel'nosti khozyaystva avtomatiki i telemekhaniki po itogam 2018 goda* [Analysis of the operational activities of the automation and remote control facilities at the end of 2018]. (2019). Automation and Telemechanics Office of the Central Infrastructure Directorate. Moscow, 96 p. (In Russian)
 3. *Nikitin A. B., Nasedkin O. A., Manakov A. D. & Shatokhin V. A.* (2006) Kontseptsiya zashchity ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki ot perenapryazheniy [Overvoltage protection concept of railway automation and remote control]. *Zh.-d. transp. Seriya "Signalizatsiya i svyaz"* [Railway Transport Journal. "Signaling and communication" Series], EI/CSTI, iss. 3, pp. 1–25. (In Russian)
 4. *Kravchenko V. I.* (1991) Grozozashchita radioelektronnykh sredstv: Spravochnik [Lightning Protection of Radio-Electronic Facilities: Handbook]. Moscow, Radio i svyaz, 264 p. (In Russian)
 5. *Mikhaylov M. I.* (1959) Vliyaniye vneshnikh elektromagnitnykh poley na tsepi provodnoy svyazi i zashchitnyye meropriyatiya [Effect of external electromagnetic fields on wire communication circuits and protective measures]. Moscow, Svyaz'izdat, 583 p. (In Russian)
 6. *Pravila zashchity ustanovok provodnoy svyazi energosistem ot opasnykh napryazheniy i tokov (Skhemy zashchity i normativnyye ukazaniya)* [Rules for the protection of wireline installations of power systems from hazardous voltages and currents (Protection circuits and regulatory instructions)]. (1966). Moscow, 20 p. (In Russian)
 7. *Pravila zashchity ustroystv provodnoy svyazi, zheleznodorozhnoy signalizatsii i telemekhaniki ot opasnogo i meshayushchego vliyaniya liniy elektroperedachi. Ch. 1. Obshchiye polozheniya. Opasnyye vliyaniya* [Rules for the protection of wireline devices, railway signaling and remote control from the hazardous and interfering influence of power lines. P. 1. General Provisions. Hazardous influences]. Moscow, Energiya [Energy], 1966, 40 p. (In Russian)
 8. *Pravila zashchity ustroystv provodnoy svyazi, zheleznodorozhnoy signalizatsii i telemekhaniki ot opasnogo i meshayushchego vliyaniya liniy elektroperedachi. Ch. 2. Meshayushchiye vliyaniya* [Rules for the protection of wireline devices, railway signaling and remote control from the hazardous and interfering influence of power lines. P. 2. Interfering influences]. (1972). Moscow, Svyaz', 56 p. (In Russian)
 9. *Snegurov V. S., Snegurov A. V. & Shatokhin V. A.* (2006) Sposob zashchity ot grozovykh perenapryazheniy tsentralizovannykh elektronnykh sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki [Method of protection against lightning overvoltage of interlocked electronic railway automation and remote control systems]. *Avtomatika i telemekhanika na zheleznodorozhnom transporte – sbornik dokladov "TransZhAT-2006"* [Railway automation and remote control – a collection of papers of "TransZHAT-2006"]. Saint-Petersburg, August 23–26, pp. 195–198. (In Russian)
 10. *Makhov D. A., Kazakov D. Yu.* (2010) Model' opasnoy grozy [Model of a dangerous thunderstorm]. *Vtoraya Rossiyskaya konferentsiya po molniyezashchite* [II Russian Conference on Lightning Protection], Moscow, G. M. Krzhizhanovsky Power Engineering Institute (JSC "ENIN"), September 22–24 (In Russian)
 11. *Manakov A. D., Nikitin A. B., Nasedkin O. A. & Shatokhin V. A.* (2014) Zadachi kontseptsii zashchity ot perenapryazheniy infrastruktury obespecheniya dvizheniya poyezdov [Objectives of the concept of overvoltage protection of the train traffic maintenance infrastructure]. *Razvitiye elementnoy bazy i sovershenstvovaniye metodov postroyeniya ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Development of the element base and improvement of designing methods for railway automation and remote control], no. 1, pp. 5–13. (In Russian)
 12. *Manakov A. D. & Rakhmonberdiyev A. A.* (2019) Vozdeystviye perenapryazheniy na ustroystva zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki AO "Uzbekiston temir y'ullari" [Impact of

- overvoltage on the railway automation and remote control of JSC “Uzbekiston temir yullari”]. *Avtomatika na transporte* [Automatic Equipment in Transport], no. 3, pp. 338–355. (In Russian)
13. *GOST R MEK 62305–1–2010 Menedzhment riska. Zashchita ot molnii. Chast’ 1. Obshchiye printsipy* [GOST R IEC 62305–1–2010 Risk management. Protection against lightning. Part 1. General principles]. (2011). Moscow, Standartinform, 46 p. (In Russian)
 14. *Kravchenko K. V.* (2011) Zashchita sistem ZhAT ot grozovykh i kommutatsionnykh perenapryazheniy [Protection of railway automation and remote control systems against lightning and switching overvoltages]. *Avtomatika, svyaz’, informatika* [Automation, communication, computer science], no. 4, pp. 25–28. (In Russian)
 15. *Pravila zashchity ustroystv provodnoy svyazi, zheleznodorozhnoy signalizatsii i telemekhaniki ot opasnogo i meshayushchego vliyaniya liniy elektroperedachi. Ch. 1. Obshchiye polozheniya. Opasnyye vliyaniya* [Rules for the protection of wireline devices, railway signaling and remote control from the hazardous and interfering influence of power lines. P. 1. General Provisions. Hazardous influences]. (1966). Moscow, Energiya [Energy], 40 p. (In Russian)
 16. *Makhov D. A. & Kazakov D. Yu.* (2010) Model’ opasnoy grozy. Modernizatsiya protsessov perevozok sistem avtomatizatsii i telekommunikatsiy na transporte [Model of a dangerous thunderstorm. Modernization of transportation processes of automation and telecommunication systems in transport]. *Trudy mezhdunarodnykh nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Proceedings of the Interregional Scientific and Practical Conference with International Participation]. Edited by A. I. Godyayev, Khabarovsk, December 9–10, 2010. Khabarovsk, Far Eastern State Transport University Publ., vol. 2, pp. 112–121. (In Russian)
 17. *Morozov et. al.* (2009) Issledovaniya v oblasti atmosfernogo elektrichestva i pelengatsii groz [Research in the field of atmospheric electricity and detection of thunderstorms]. *Trudy Glavnoy geofizicheskoy observatorii im. A. I. Voyeykova* [Proceedings of the Voeikov Main Geophysical Observatory], no. 560, pp. 213–242. (In Russian)
 18. *Moskovenko V. M., Znamenshchikov B. P., Zolotarev S. V.* (2012) Primeneniye sistemy grozopelengatsii “Vereya-MR” v interesakh elektroenergetiki Rossii [Application of the Vereya-MR lightning detection system for the benefit of the Russian electrical power-engineering]. *Novoye v rossiyskoy elektroenergetike* [New in the Russian Electrical Power-Engineering], no. 2, pp. 15–23. (In Russian)
 19. *Dowden R. L., Brundell J. B., Rodger C. J.* (2002) VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites. *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 64, no. 7, pp. 817–830.
 20. National Lightning Detection Network NLDN. URL: <https://www.vaisala.com/en/products/data-subscriptions-and-reports/data-sets/nldn> (Accessed: April 10, 2021).
 21. The European lightning location system EUCLID. Part 1: Performance analysis and validation / *W. Schulz* [et al.]. (2016). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, no. 16, pp. 595–605.
 22. Boltek. Lightning Detection Systems. URL: <https://www.boltek.com> (Accessed: April 10, 2021).
 23. Global Lightning Network – TOA Systems. URL: <http://toasystems.com/our-network/global-lightning> (Accessed: April 10, 2021).
 24. *Wanke E., Andersen R., Volgnandt T.* (2016) World-Wide Low-Cost CommunityBased Time-of-Arrival Lightning Detection and Lightning Location Network. URL: <http://www.blitzortung.org> (Accessed: April 10, 2021).
 25. *Burtsev A. V., Fastiy G. P. & Yaroshevich V. V.* (2018) Sopostavleniye rezul’tatov registratsii razlichnykh sistem grozopelengatsii v Kol’skom regione [Comparison of the recordings of various lightning detection systems in the Kola region]. *Trudy Kol’skogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], no. 3–16 (9). (In Russian)

26. *Burtsev A. V., Fastiy G. P. & Yaroshevich V. V.* (2018) Razvitiye sistemy monitoringa grozovoy aktivnosti na Kol'skom poluostrove [Development of the thunderstorm activity monitoring system on the Kola Peninsula]. Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], no. 8 (17). (In Russian)
27. *Kononov I. I., Petrenko I. A. & Snegurov V. S.* (1986) Radiotekhnicheskiye metody mestoopredeleniya grozovykh ochagov [Radiotechnical methods for locating thunderstorms]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 222 p. (In Russian)
28. *Kononov I. I., Krutoy D. M., Yusupov I. E.* (2013) Al'ternativnoye obespecheniye grozobezopasnosti na ob'yektakh vodnogo transporta [Alternative lightning protection at water transport facilities]. The scientific journal "Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova", no. 3 (19). (In Russian)

*Статья представлена к публикации членом редколлегии
доцентом О. А. Наседкиным*

Поступила в редакцию 23.06.2021, принята к публикации 10.08.2021

МАНАКОВ Александр Демьянович — старший научный сотрудник Центра компьютерных железнодорожных технологий, доктор технических наук, старший научный сотрудник Центра компьютерных железнодорожных технологий, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения императора Александра I
manakoff_2@mail.ru

ШАТОХИН Виталий Анатольевич — кандидат технических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I
vital@crtc.spb.ru

ПОРОШИН Алексей Александрович — аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I
poroshinscb@yandex.ru

© Манаков А. Д., Шатохин В. А., Порошин А. А., 2021