



УДК 656.25+621.316.91

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА УСТРОЙСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

СОЛОВЬЕВ Александр Дмитриевич, аспирант; e-mail: Shura.Solovyov.01@mail.ru

МАНАКОВ Александр Демьянович, д-р техн. наук, профессор кафедры; e-mail: manakoff_2@mail.ru

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

В данной статье приведены результаты анализа грозовой активности в пределах Октябрьской железной дороги по дистанциям сигнализации, централизации и блокировки и по дистанциям инфраструктуры за период с 2014 по 2024 г., распределения отказов устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, поврежденных средств защиты от атмосферных перенапряжений. По результатам анализа определены дистанции, в которых наиболее неблагоприятная ситуация в области защиты от атмосферных перенапряжений, выяснены причины, почему складывается данная ситуация. Выполнен анализ распределения отказов устройств железнодорожной автоматики и телемеханики по системам с детализацией по месяцам грозового периода, анализ распределения поврежденных приборов и средств защиты по типам аппаратуры и по характеру неисправности, установлены наиболее подверженные повреждению приборы железнодорожной автоматики и телемеханики. Для более детального и объективного анализа предложено использовать дополнительные показатели: показатель относительной опасности грозы и показатель относительной опасности отказа.

Ключевые слова: атмосферные перенапряжения; железнодорожная автоматика и телемеханика; средства грозозащиты; отказы устройств автоматики.

DOI: 10.20295/2412-9186-2025-11-04-287-302

▼ Введение

Проблема повреждения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) от воздействия атмосферных перенапряжений (ПН) существует с начала применения электронного оборудования в составе систем [1]. Вследствие воздействия атмосферных ПН устройства ЖАТ могут выйти из строя, что способно привести к переходу устройств в опасное состояние¹.

Проблемой воздействия ПН на устройства ЖАТ в разное время занимались И. Г. Евсеев, А. М. Костроминов, А. А. Костроминов, В. И. Шаманов, Ю. А. Кравцов и другие ученые [3–7].

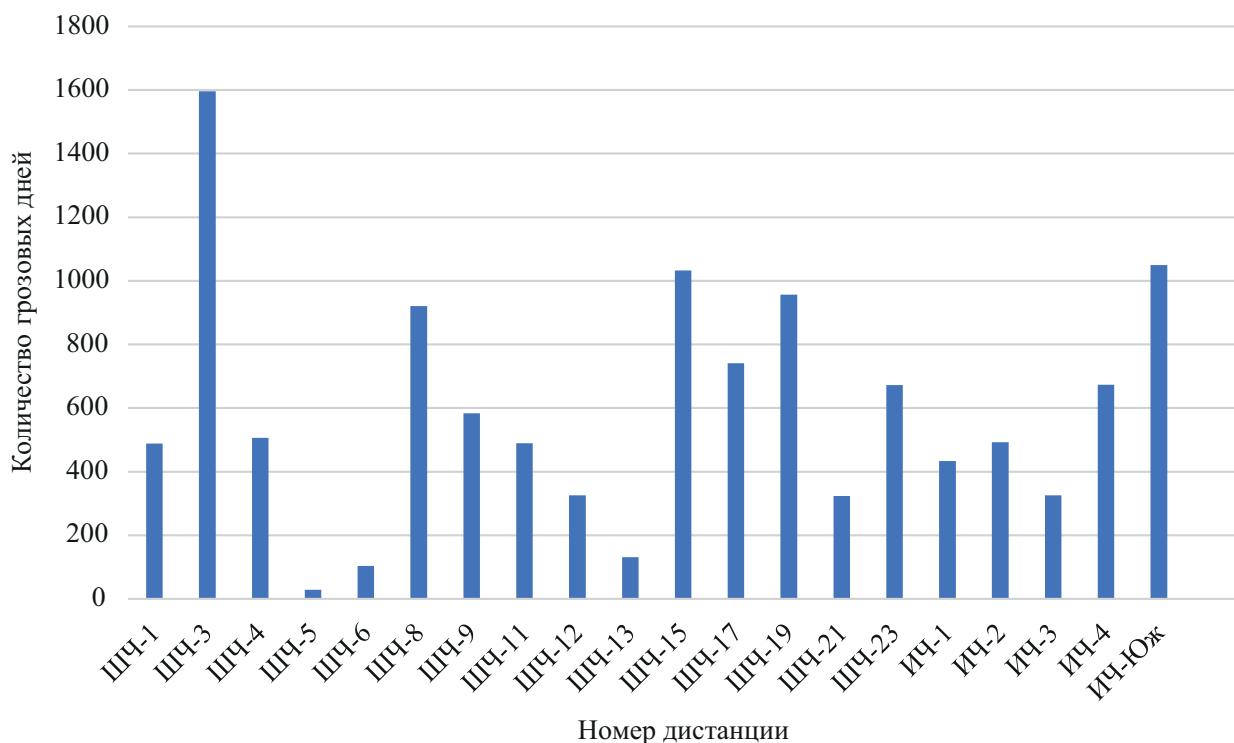
¹ Опасное состояние — неработоспособное состояние устройств, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего его способность выполнять заданные функции по обеспечению безопасности движения поездов, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации [2].

В данный момент на сети железных дорог Российской Федерации проблему воздействия атмосферных ПН на устройства ЖАТ решают применением устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) в соответствии с методическими указаниями ОАО «РЖД»².

За рубежом существует несколько подходов к защите устройств ЖАТ от воздействия атмосферных ПН.

Например, на железных дорогах США поддерживаются идеи многоуровневой защиты [8]. В Польше широкое применение получил метод активной молниезащиты [9]. На железных дорогах Японии для защиты высоковольтных линий от атмосферных ПН применяют ограничители

² Методические указания по применению устройств защиты от перенапряжений в устройствах ЖАТ. Утвержден и введен в действие Управлением автоматики и телемеханики Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД» от 30 марта 2021 г. № ЦДИ-1225.

**Рис. 1.** Распределение грозовых дней по ШЧ и ИЧ

напряжения нелинейные совместно с грозозащитным тросом [10]. В большинстве стран мира с проблемой воздействия атмосферных ПН борются установкой УЗИП в соответствии с требованиями зонной концепции³.

Цель статьи — анализ воздействия атмосферных ПН на устройства ЖАТ в границах Октябрьской железной дороги для определения оценки эффективности применяемых в данный момент средств молниезащиты.

Для достижения цели статьи необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ отказов устройств ЖАТ от воздействия атмосферных ПН;
- произвести анализ поврежденных приборов ЖАТ от воздействия атмосферных ПН;
- определить наиболее опасный канал проникновения волн атмосферных ПН;
- осуществить анализ распределения поврежденных приборов от воздействия атмосферных ПН по типам аппаратуры;
- исследовать повреждения средств защиты от воздействия атмосферных ПН.

1. Анализ отказов устройств ЖАТ от воздействия атмосферных ПН

На сети железных дорог Российской Федерации грозовой период приходится в основном на весенние и летние месяцы. Например, грозовой период в пределах Октябрьской железной дороги приходится на период с мая по сентябрь.

Анализ ограничен временным периодом с 2014 по 2024 г., информация взята из ежегодных отчетов службы автоматики и телемеханики по подготовке к грозовому периоду.

На всем полигоне Октябрьской железной дороги было зафиксировано 12 260 грозовых дней, в результате которых произошло 1347 отказов, по причине которых были повреждены 1100 приборов и 827 средств защиты.

На рис. 1 показано распределение количества грозовых дней по дистанциям сигнализации, централизации и блокировки (ШЧ) и по дистанциям инфраструктуры (ИЧ) в период с 2014 по 2024 г. В анализе будут присутствовать только эксплуатационные ШЧ, то есть анализ будет производиться без учета ремонтных ШЧ.

Среднее количество грозовых дней по ИЧ и ШЧ равняется 533. Из рис. 1 видно, что наибольшее количество грозовых дней

³ IEC 62305: 2010 "Protection against lightning". — Part 1–4.

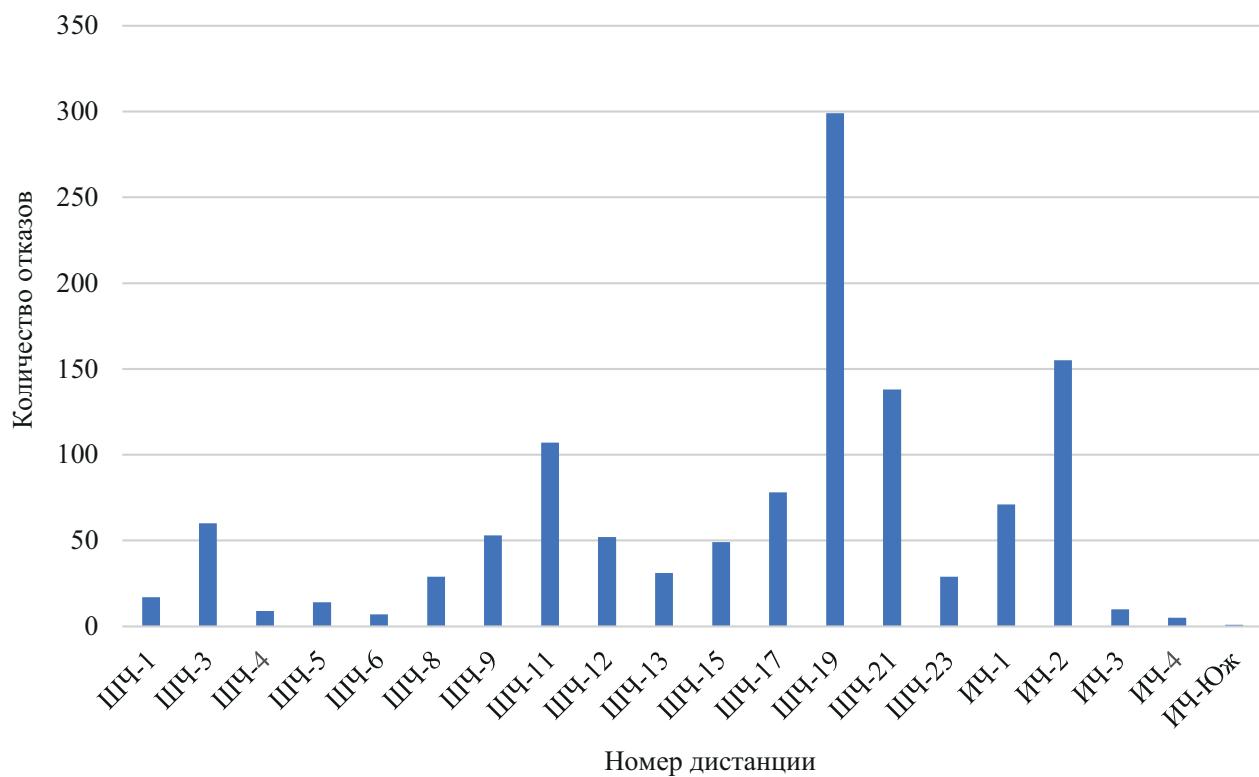


Рис. 2. Распределение отказов устройств ЖАТ по ШЧ и ИЧ

зарегистрировано в ШЧ-3, а именно 1596 грозовых дней. В ИЧ-Юж. зарегистрировано 1049 грозовых дней, но стоит отметить, что ИЧ-Юж. была образована путем объединения ИЧ-3 и ИЧ-4 в 2019 г., исходя из этого целесообразнее рассматривать данные дистанции совместно. Соответственно, в границах данных ИЧ зарегистрировано 2048 грозовых дней, ШЧ-15 — 1033 грозовых дня, в ШЧ-19 — 957 грозовых дней, ШЧ-8 — 920 грозовых дней, ШЧ-17 — 742 грозовых дня, ШЧ-23 — 672 грозовых дня. Стоит отметить, что 67 % грозовых дней приходится на дистанции, описанные выше. В ШЧ-5, ШЧ-6, ШЧ-13 грозовая активность минимальная.

Высокое количество грозовых дней на участке ШЧ-3 обусловлено расположением полигона дистанции в зоне с плотной сетью водоемов — озер и рек, прилегающих к железнодорожной инфраструктуре.

Вблизи водоемов возрастает вероятность формирования грозовых облаков с повышенной электрической заряженностью [11]. Это связано с тем, что над водной поверхностью интенсифицируется процесс конденсации и конвекции, способствующий быстрому накоплению зарядов в облаках.

Кроме того, грозовое облако, несущее электрический заряд, над водоемами значительно быстрее индуцирует заряд противоположного знака на земной поверхности под собой. Это приводит к:

- резкому увеличению напряженности электрического поля в приземном слое;
- повышению вероятности грозовых разрядов непосредственно в районе водоемов [12].

Как следствие, возрастает риск опасного электромагнитного воздействия грозовых разрядов на устройства ЖАТ, размещенные в прибрежной зоне [13].

Например, вблизи станции Медведево находятся озера Бологое, Глубочиха, Славинское, Осовец, Коломинец, Великое, Долгое, Видимля, а также протекают реки Нефтянка и Коломенка. Рядом со станцией Валдай находятся озера Валдайское, Ельчинское, Середейское, Глуботцы, Острычино, Чернушка, а также протекает река Вязовка и ручей Архиперейский.

В дистанциях ШЧ-19, ШЧ-15, ШЧ-17 и ШЧ-8 наблюдается ситуация, аналогичная ШЧ-3.

Высокое количество грозовых дней на дистанции ИЧ-Юж. объясняется двумя ключевыми факторами:

1. Наибольшей протяженностью участка — 1500 км.

2. Размещением обслуживаемых участков в различных регионах, отличающихся по климатическим и ландшафтным условиям⁴.

На рис. 2 показано распределение отказов устройств ЖАТ от воздействия атмосферных ПН по ШЧ и ИЧ.

Среднее количество отказов по дистанциям равно 59 отказам. Наибольшее количество отказов зафиксировано в ШЧ-19 — 299 отказов. В дистанции инфраструктуры ИЧ-2 зафиксировано 155 отказов, в ШЧ-21 — 138 отказов, в ШЧ-11 — 107 отказов.

Из рис. 2 видно, что отказы распределяются неравномерно, 61 % отказов приходится на дистанции: ШЧ-11, ШЧ-19, ШЧ-21, ИЧ-2.

Как видно из рис. 2, дистанция ШЧ-19 характеризуется наиболее высоким уровнем отказов устройств ЖАТ, вызванных воздействием атмосферных перенапряжений (ПН).

Основная причина заключается в высокой плотности водоемов на всем полигоне ШЧ-19. При этом, в отличие от дистанции ШЧ-3 (лидера по количеству грозовых дней в наблюдаемый период), ШЧ-19 расположена в Республике Карелия, где преобладает равнинная и болотистая местность. В таких условиях устройства ЖАТ становятся приоритетными объектами поражения при воздействии атмосферных ПН.

Существенное влияние оказывает также удельное сопротивление грунта:

- в пределах ШЧ-19 преобладают каменисто-щебнистый грунт и песчаный субстрат;
- в ШЧ-3 доминирует торфяно-подзолистый грунт.

При этом удельное сопротивление каменисто-щебнистого грунта в среднем в 100 раз превышает показатель для торфяно-подзолистого грунта⁵.

Высокое удельное сопротивление грунта способствует растеканию тока грозового разряда

⁴ Положение об организации комплексного обслуживания объектов инфраструктуры хозяйства пути и сооружений. Утверждено Распоряжением ОАО «РЖД» от 29 ноября 2019 г. № 2675/р.

⁵ ГОСТ 25100—2020. Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация. Введен в действие Приказом Росстандарта от 21 июля 2020 г. № 384-ст.

по оболочкам кабелей, рельсам и иным токо проводящим элементам инфраструктуры. Это приводит к возникновению перенапряжений в устройствах ЖАТ.

В связи с указанной особенностью на полигоне ШЧ-19 затруднено обеспечение требуемого сопротивления заземляющих устройств ЖАТ. Согласно нормативным требованиям, оно должно составлять:

- не более 10 Ом — на участках с электротягой переменного тока;
- не более 4 Ом — на участках с электротягой постоянного тока⁶.

Далее приведены станции и перегоны в пределах ШЧ-19, где произошло наибольшее количество отказов, и водоемы, находящиеся в непосредственной близости к ним.

Вблизи станции Костомукша-Товарная расположены крупные озера: Подкова, Контоккиярви, Сапожок, Травяное, Костомукшское, а также свыше 50 мелких озер. Вдоль станции протекает река Контокки.

Рядом со станцией Тунгуда находятся крупные озера Космозеро и Ширчалампи, несколько мелких озер и река Тунгуда.

Недалеко от станции Кемь располагается крупный водоем — Кемская губа, а также протекает река Кемь.

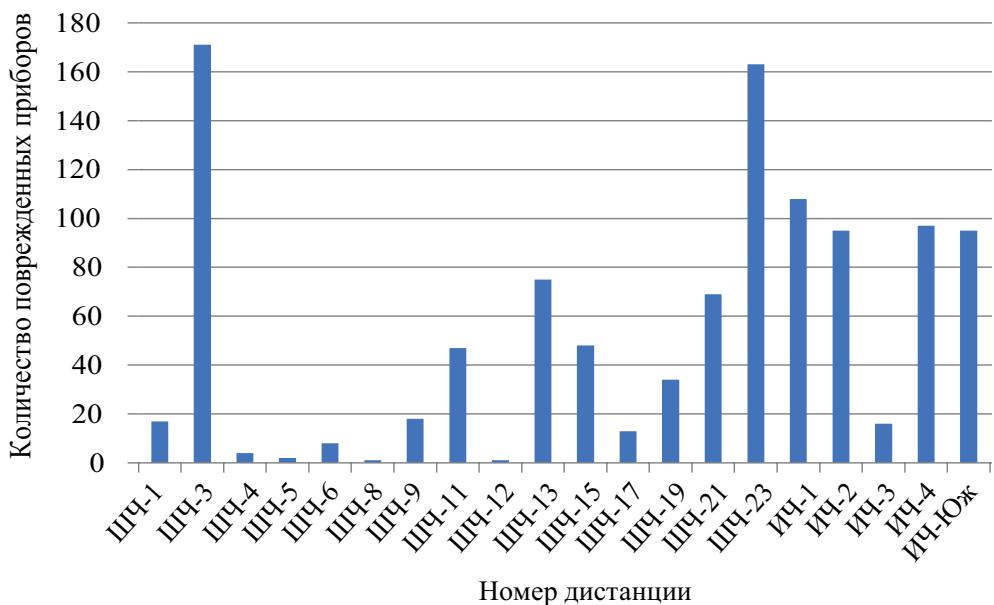
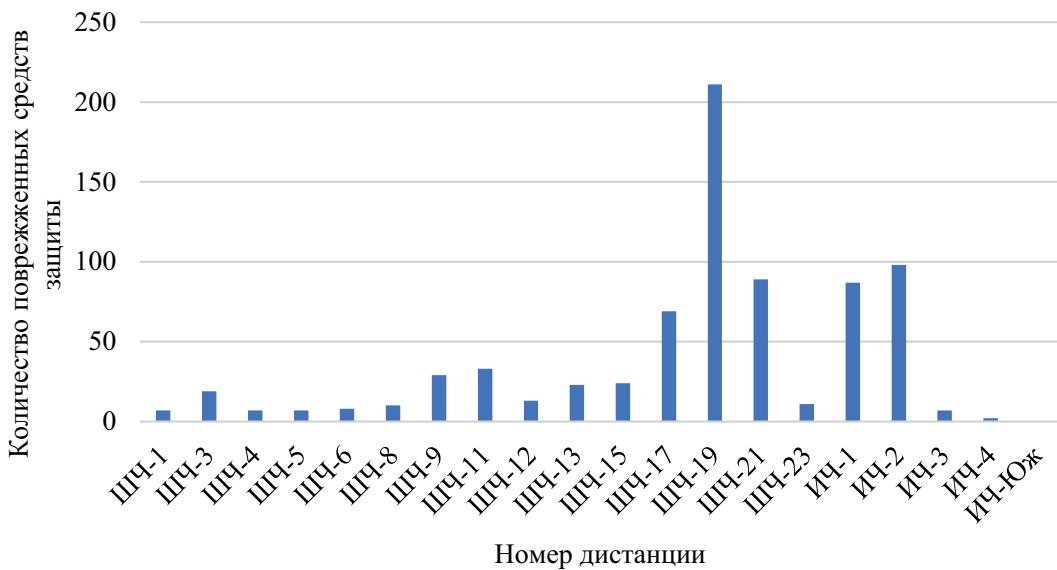
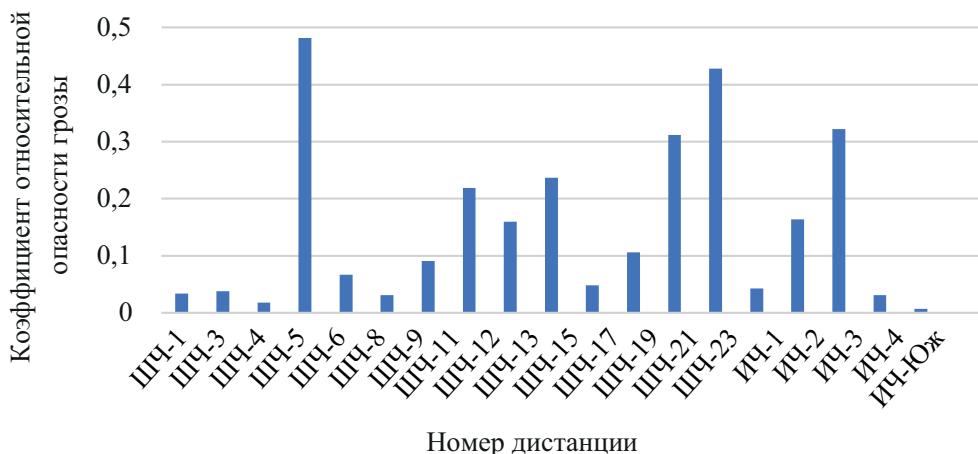
Около станции Петрозеро расположены крупные озера: Пертьярви, Тайбелен-Тагазет, Микитинъярви. В этой местности протекают реки Тунгуда и Малдынадеги.

Параллельно перегону Шижня — Сухое протекает река Шижня. Вблизи находятся Золотецкое водохранилище и Сорокская губа.

Вдоль перегона Чупа — Лоухи проходит пролив Долгая Салма. В окрестностях расположены озера Ивановское, Второе Ивановское, Островское и протекает река Мельничная.

Близ перегона Кочкома — Идель находятся Палокоргское водохранилище и Беломорско-Балтийский канал, а также протекает река Идель.

⁶ ГОСТ Р 58232—2018. Национальный стандарт Российской Федерации. Объекты железнодорожной инфраструктуры. Комплексная защита от атмосферных и коммутационных перенапряжений. Введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 октября 2018 г. № 722-ст.

**Рис. 3.** Распределение поврежденных приборов по ШЧ и ИЧ**Рис. 4.** Распределение поврежденных средств защиты по ШЧ и ИЧ**Рис. 5.** Распределение показателя относительной опасности грозы по ШЧ и ИЧ

На рис. 3 представлено распределение поврежденных приборов (в результате воздействия атмосферных перенапряжений, ПН) по дистанциям ШЧ и ИЧ за период 2014–2024 гг.

Среднее количество поврежденных приборов по ШЧ и ИЧ равняется 48.

Из рис. 3 видно, что наибольшее количество поврежденных приборов приходится на ШЧ-3 — 171 прибор, в том числе ШЧ-19 — 163 прибора, ИЧ-1 — 97 приборов, ИЧ-2 — 95 приборов, ШЧ-21 — 95 приборов, ШЧ-11 — 75 приборов, ШЧ-17 — 69 приборов. На дистанции, описанные выше, приходится 72 % из общего числа поврежденных приборов. В ШЧ-4, ШЧ-5, ШЧ-23, ШЧ-6, ИЧ-Юж. зафиксировано наименьшее количество поврежденных приборов.

На рис. 4 показано распределение поврежденных средств защиты от действия атмосферных ПН по ШЧ и ИЧ в период с 2014 по 2024 г.

Среднее количество поврежденных средств защиты по ШЧ и ИЧ равняется 36 шт. Также стоит отметить, что распределение происходит неравномерно и на ШЧ-19, ИЧ-2, ШЧ-21, ИЧ-1, и ШЧ-17 приходится 65 % от всех отказавших средств защиты.

Из рис. 4 видно, что наибольшее количество поврежденных средств защиты приходится на ШЧ-19 — 211 шт., ИЧ-2 — 98 поврежденных средств защиты, ШЧ-21 — 89, ИЧ-1 — 87, ШЧ-17 — 69. В остальных дистанциях количество поврежденных средств защиты незначительно.

Из приведенного выше анализа видно, что в различных анализируемых факторах в пределах одной и той же дистанции показатели значительно отличаются. Например, ШЧ-3 по уровню грозовой активности находится в лидерах, а количество отказов в данной дистанции незначительно. Поэтому для анализа эффективности мероприятий, проводимых на дистанциях по защите устройств ЖАТ от атмосферных ПН, в работе введены два дополнительных показателя:

- коэффициент относительной опасности грозы — $K_{\text{ог}}$;
- коэффициент относительной опасности отказа — $C_{\text{оо}}$.

Коэффициент $K_{\text{ог}}$ — показывает количество отказов устройств ЖАТ, вызванных

воздействием атмосферных ПН, произошедших за один грозовой день. Коэффициент рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{ог}} = \frac{N_{\text{отк}}}{M_{\text{гд}}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{ог}}$ — показатель относительной опасности грозы;

$N_{\text{отк}}$ — количество отказов устройств, вызванных действием атмосферных ПН;

$M_{\text{гд}}$ — количество грозовых дней за исследуемый период.

Коэффициент $C_{\text{оо}}$ показывает количество поврежденных приборов при одном отказе, вызванном действием атмосферных ПН. Значение коэффициента рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{оо}} = \frac{L_{\text{пр}}}{N_{\text{отк}}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{оо}}$ — коэффициент относительной опасности отказа;

$L_{\text{пр}}$ — количество поврежденных приборов.

Распределение коэффициента относительной опасности грозы по ШЧ и ИЧ в период с 2014 по 2024 г. показано на рис. 5.

Среднее значение показателя относительной опасности грозы по дистанциям ШЧ и ИЧ равняется 0,109, то есть на 10 грозовых дней приходится в среднем один отказ. Наибольшее значение показателя относительной опасности грозы зафиксировано в ШЧ-5 — 0,482. Это обусловлено тем, что в границах ШЧ-5 зафиксировано малое количество грозовых дней и малое количество отказов. Грозовая активность в пределах ШЧ-5 является случайным и редким событием, но практически каждый второй грозовой день приводит к отказу. В ШЧ-21 значение показателя — 0,428, в ИЧ-2 — 0,322, в ШЧ-19 — 0,311.

Сравним результаты анализа относительной опасности грозы с результатами анализа отказов устройств ЖАТ. Показатели «относительной опасности грозы» ШЧ-1, ШЧ-4, ШЧ-8, ШЧ-9, ШЧ-11, ШЧ-12, ШЧ-15, ШЧ-23, ИЧ-1, ИЧ-2, ИЧ-Юж. в процентном соотношении практически не изменились по отношению к показателю «отказ устройств».

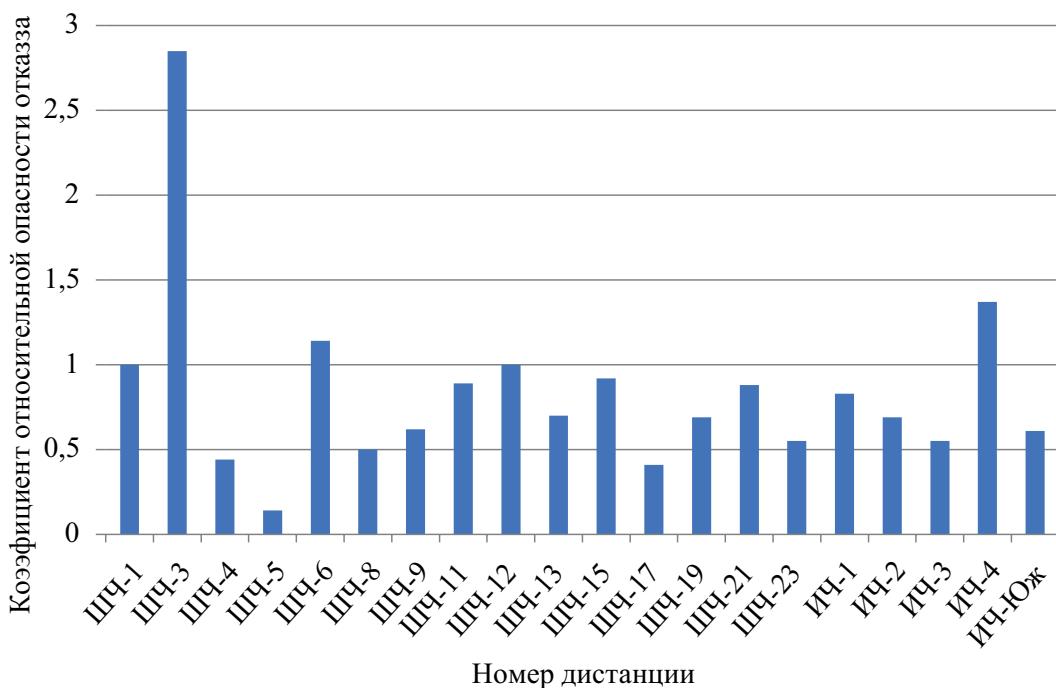


Рис. 6. Распределение показателя относительной опасности отказа по ШЧ и ИЧ

Показатели «относительной опасности грозы» ШЧ-3, ШЧ-17 в процентном соотношении уменьшились по отношению к показателю «отказ устройств». Показатели «относительной опасности грозы» ШЧ-21, ШЧ-13 в процентном соотношении значительно увеличились по отношению к показателю «отказ устройств». Это говорит о том, что в границах данных дистанций опасность грозы максимальна для устройств ЖАТ.

Распределение показателя относительной опасности отказа в границах Октябрьской железной дороги в период с 2014 по 2024 г. показано на рис. 6.

Среднее значение показателя относительной опасности отказа по ШЧ и ИЧ – 0,82. Наибольшее значение показателя «относительная опасность отказа» наблюдается в ШЧ-3 – 2,85. Наименьшее значение показателя «относительная опасность грозы» наблюдается в ШЧ-5 – 0,14. По остальным дистанциям показатель «относительная опасность отказа» распределяется равномерно.

Из анализа рис. 5 и 6 следует, что в ШЧ-3 наблюдается низкая относительная опасность грозы и высокая относительная опасность отказа. То есть в границах данной дистанции

грозы редко приводят к отказам, но отказы приводят к значительному повреждению приборов. Исходя из этого, можно сделать вывод, что средства защиты в границах данной дистанции работают неэффективно, так как их основной задачей является защита приборов. В ШЧ-5 ситуация противоположная, в дистанции наблюдается высокая относительная опасность грозы и низкая относительная опасность отказа. То есть в границах ШЧ-5 грозы часто приводят к отказам, но отказы практически не приводят к значительному повреждению приборов. Исходя из этого, можно сделать вывод, что средства защиты в данной дистанции работают эффективно.

Как известно, отказы устройств ЖАТ, вызванные действием атмосферных ПН, происходят по четырем основным каналам [14]:

- по вводам питания;
- по рельсовым цепям;
- по линейным цепям;
- по цепям кабельных систем напольных устройств.

Из общего числа отказов устройств ЖАТ, вызванных действием атмосферных ПН в границах Октябрьской железной дороги в период с 2014 по 2024 г., 60 % пришлось на отказы по

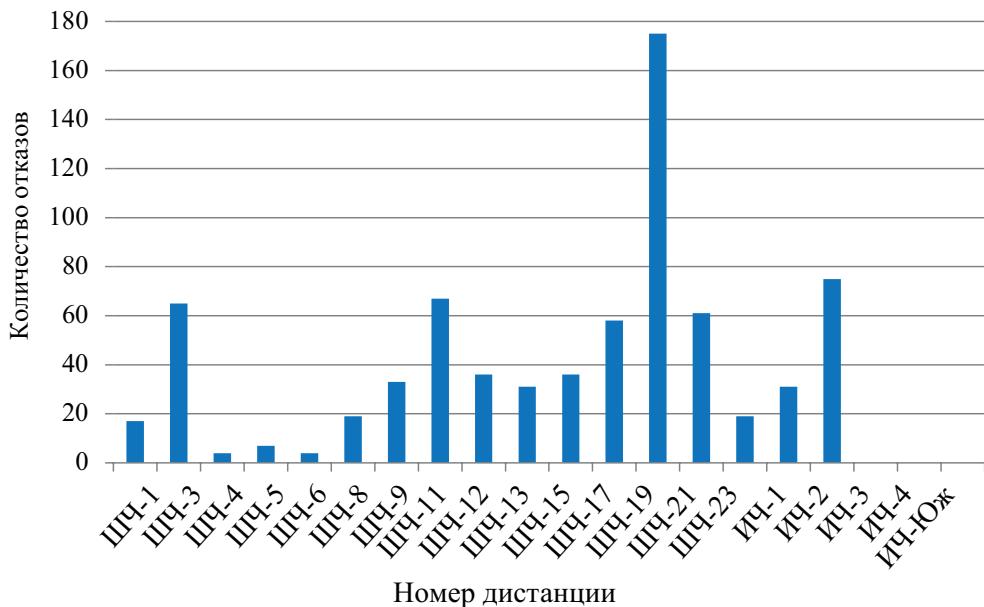


Рис. 7. Распределение отказов устройств по вводам питания устройств ЖАТ

вводам питания устройств, а именно 809 отказов.

На рис. 7 показано распределение отказов устройств ЖАТ, вызванных действием атмосферных ПН на вводы питания устройств по дистанциям СЦБ и инфраструктуры в период с 2014 по 2024 г.

Среднее количество отказов по дистанциям СЦБ и инфраструктуры равняется 36 отказам. Наибольшее количество отказов зафиксировано в ШЧ-19 и составляет 195 отказов. В дистанции инфраструктуры ИЧ-2 зафиксировано 75 отказов. В ШЧ-11 зафиксировано 67 отказов. В ШЧ-21 зафиксирован 61 отказ. В ШЧ-17 зафиксировано 58 отказов. Также стоит отметить, что в дистанциях ИЧ-3, ИЧ-4, ИЧ-Юж. отказов по вводам питания не зафиксировано. Из рис. 7 видно, что отказы распределяются неравномерно, 60 % отказов приходится на дистанции: ШЧ-11, ШЧ-17, ШЧ-19, ШЧ-21, ИЧ-2.

2. Анализ распределения отказов устройств ЖАТ по устройствам и средствам защиты

Распределение отказов устройств ЖАТ от действия атмосферных ПН по типам аппаратуры и по типам средств защиты за период с 2014 по 2024 г. показано на рис. 8. При анализе поврежденных приборов не учитывались

случаи повреждений, которые происходили реже одного раза в год.

Из анализа рис. 8 следует, что наибольшее количество повреждений пришлось на реле ИВГ, а именно 91 повреждение, что составляет 8,27 % от общего количества поврежденных приборов. Это обусловлено тем, что данное устройство работает в импульсном режиме и имеет в своей конструкции полупроводниковые элементы, а именно кремниевые диоды, образующие выпрямительный мост [15]. Повреждения реле ИВГ произошли по следующим причинам:

- пробой диода — 59 случаев;
- неисправность геркона — 23 случая;
- подгар контактов — 4 случая;
- сваривание контактов — 3 случая.

Следует отметить, что в двух случаях причину повреждения реле ИВГ установить не удалось: после нарушения нормальная работа реле восстанавливалась, а его параметры соответствовали норме.

Следующим по количеству повреждений идет реле НМШ — зафиксировано 65 случаев, что составляет 5,9 % от общего числа поврежденных приборов.

Наибольшее количество повреждений реле НМШ связано с обрывом обмотки реле — 24, термическим разрушением реле — 18 повреж-

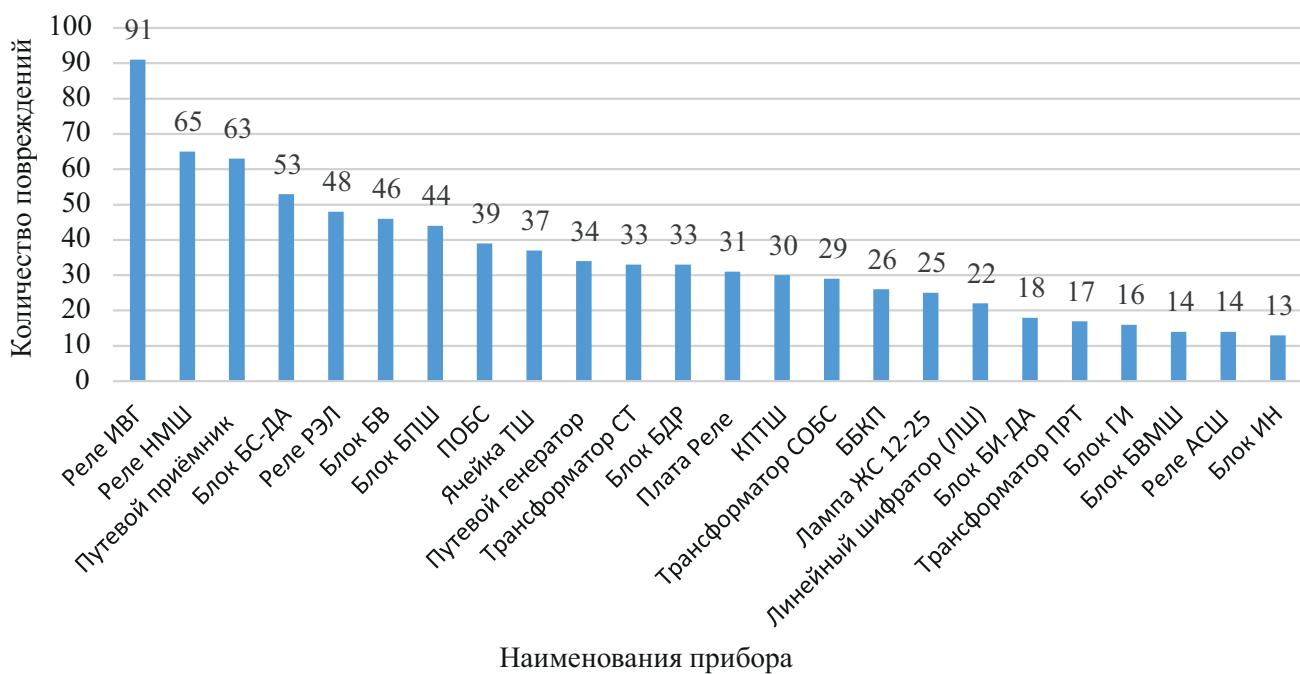


Рис. 8. Распределение отказов по типам поврежденной аппаратуры

дений, повышенным переходным сопротивлением между контактами — 8 повреждений, свариванием контактов — 3 повреждения, подгаром контактов — 2 повреждения.

Далее по количеству повреждений идет путевой приемник тональной рельсовой цепи (ПП) — 63 повреждения, что составляет 5,7 % от общего числа поврежденных приборов. Наибольшее количество повреждений путевых приемников приходится на полупроводниковые элементы, входящие в их конструкцию [16].

Причины повреждений путевых приемников:

- пробой диода — 19 случаев;
- пробой транзистора — 19 случаев;
- пробой конденсатора — 11 случаев;
- термическое разрушение приемника — 11 случаев;
- перегорание резистора — 3 случая.

Следующим по количеству повреждений идет блок счетчиков дешифраторной ячейки (БС-ДА) — зафиксировано 53 повреждения, что составляет 4,8 % от общего числа повреждений приборов.

Подавляющее большинство повреждений БС-ДА связано с полупроводниковыми элементами:

- пробой диода — 51 случай;
- перегорание резистора — 2 случая.

Следующим по количеству повреждений идет реле типа РЭЛ — 48 повреждений, что составляет 4,4 % от общего числа поврежденных приборов. Повреждения реле РЭЛ произошли по следующим причинам: обрыв обмотки — 31 случай, увеличение переходного сопротивления между контактами — 15 случаев, полное термическое разрушение реле — 2 случая.

Далее по количеству повреждений идет блок выпрямителей (БВ) — 46 повреждений, что составляет 4,3 % от общего числа повреждений приборов. Все повреждения блока БВ произошли по причине пробоя диода.

Следующим по количеству повреждений идет блок БПШ — 44 повреждения, что составляет 4,1 % от общего числа поврежденных приборов. Повреждения блока БПШ произошли по следующим причинам: Обрыв обмотки — 18 случаев, пробой диода — 16 случаев, пробой конденсатора — 6 случаев и неисправность изоляции — 4 случая.

На трансформатор типа ПОБС приходится 39 повреждений, что составляет 3,6 % от общего числа поврежденных приборов. Повреждения трансформатора ПОБС произошли по следующим причинам: межвитковое короткое замыкание — 29 случаев, неисправность изоляции — 5 случаев и обрыв обмотки — 5 случаев.

Реле типа ТШ получило повреждение в 37 случаях, что составляет 3,4 % от общего числа поврежденных приборов. Повреждения ТШ произошли по следующим причинам: неисправность изоляции — 15 случаев, подгар контактов — 8 случаев, сваривание контактов — 8 случаев и пробой диода — 6 случаев.

На путевой генератор пришлось 34 повреждения, что составляет 3,1 % от общего числа повреждений приборов. Повреждения генератора произошли по следующим причинам: пробой транзистора — 12 случаев, термическое разрушение генератора — 9 случаев, пробой диода — 8 случаев и пробой конденсатора — 5 случаев.

Далее по количеству повреждений идет сигнальный трансформатор СТ — 33 случая, что составляет 3 % от общего числа поврежденных приборов. Повреждения СТ произошли по следующим причинам: межвитковое короткое замыкание — 18 случаев, неисправность изоляции — 9 случаев и обрыв обмотки — 6 случаев. Также 33 повреждения пришлось на блок БДР. Все повреждения блока БДР произошли по причине пробоя диода.

На плату реле пришлось 31 повреждение, что составляет 2,8 % от общего числа повреждений приборов. Все неисправности платы связаны с ее прожогом.

Следующим по количеству повреждений идет трансмиттер КПТШ — 30 повреждений, что составляет 2,7 % от общего числа поврежденных приборов. Повреждения КПТШ произошли по следующим причинам: обрыв обмотки — 17 случаев и пробой изоляции — 13 случаев.

В 29 случаях повреждение получил трансформатор СОБС, что составляет 2,6 % от общего числа поврежденных приборов. Повреждения СОБС произошли по следующим причинам: обрыв обмотки — 15 случаев, межвитковое короткое замыкание — 14 случаев.

Следующим по количеству повреждений идет блок базовый контролируемого пункта диспетчерской централизации системы «Сетунь» (ББКП) — 26 повреждений, что составляет 2,3 % от общего числа поврежденных приборов. Повреждения ББКП произошли по следующим причинам: пробой

транзистора — 20 случаев, термическое разрушение — 6 случаев.

Далее по количеству отказов идет лампа ЖС 12-25 — 25 повреждений, что составляет 2,2 % от общего числа поврежденных приборов. Все повреждения лампы связаны с ее перегоранием.

Линейный шифратор (ЛШ) системы диспетчерской централизации «Нева» получил повреждения в 22 случаях, что составляет 2 % от общего числа поврежденных приборов. Повреждения ЛШ произошли по следующим причинам: пробой транзистора — 19 случаев и пробой диода — 3 случая.

На блок исключений кодовой блокировки (БИ-ДА) пришлось 18 повреждений, что составляет 1,6 % от общего числа поврежденных приборов. Все повреждения блока БИ-ДА произошли по причине пробоя диода.

Далее по количеству повреждений идет трансформатор типа ПРТ — 17 повреждений, что составляет 1,5 % от общего числа поврежденных приборов. Повреждения ПРТ произошли по следующим причинам: обрыв обмотки — 10 случаев и межвитковое короткое замыкание — 7 случаев.

Следующим по количеству повреждений идет генератор импульсов (ГИ) — 16 повреждений, что составляет 1,4 % от общего числа поврежденных приборов. Повреждения ГИ произошли по следующим причинам: пробой транзистора — 10 случаев и пробой диода — 6 случаев.

На блок выдержки времени (БМВШ) и реле типа АСШ пришлось по 14 повреждений, что составляет по 1,2 % процента от общего числа поврежденных приборов. Повреждения БМВШ произошли по следующим причинам: пробой транзистора — 8 случаев и пробой диода — 6 случаев. Повреждения реле АСШ зафиксированы по следующим причинам: сваривание контактов — 8 случаев, подгар контактов — 4 случая и пробой диода — 2 случая.

Следующим по количеству повреждений идет блок инверторов (ИН) — зафиксировано 12 повреждений, что составляет 1,1 % от общего числа поврежденных приборов.

Все повреждения блока ИН вызваны пробоем транзистора.

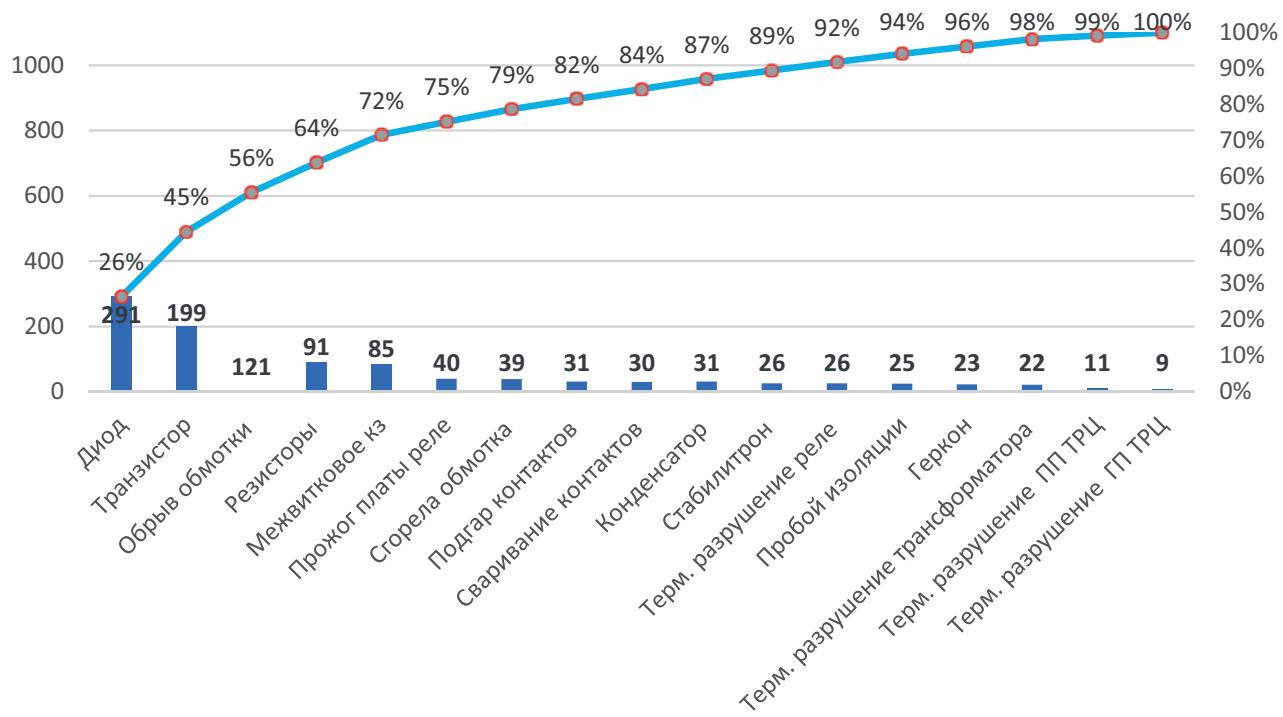


Рис. 9. Распределение повреждений устройств ЖАТ от действия атмосферных ПН по характеру неисправности

На рис. 9 показано распределение повреждений устройств ЖАТ от действия атмосферных ПН по характеру неисправности. На рис. 9 использован трехуровневый принцип Парето, пунктирной заливкой отмечены события, требующие особого внимания, сплошной заливкой отмечены события, требующие обычного внимания, а диагональными линиями отмечены события не требующие внимания вовсе.

На рис. 10 показано распределение поврежденных средств защиты по их типам в период с 2014 по 2024 г. При анализе также применялся трехуровневый принцип Парето.

Средства защиты от действия атмосферных ПН не сработали в 605 случаях, что составляет 45 % от общего числа отказов.

В остальных случаях средства защиты вышли из строя в следующем количестве: предохранители — 393 шт., выравниватели типов ВОЦН и ВОЦЩ — 212, устройства защиты от перенапряжений (УЗП) — 81 шт., автоматические выключатели многократного действия (АВМ) — 41 шт., разрядники РКН — 41 шт., разрядники РВНШ-250 — 23 шт., устройство защиты тиристорное (УЗТ) — 12 шт., защитный блок фильтр (ЗБФ) — 5 шт., защитный фильтр ЗФ-220 — 4 шт.

Стоит отметить, что выравниватели ВОЦН и ВОЦЩ объединены в одну группу, так как в них используются варисторы одного и того же типа, различие данных средств защиты состоит лишь в конструкции их выводов.

Кроме этого, стоит отметить, что малое количество повреждений УЗП в сопоставлении с выравнивателями типов ВОЦН/ВОЦЩ обусловлено более поздним началом их массового применения в качестве средств защиты — после 2014 г.

Проведенный анализ показывает, что существующие средства грозозащиты не обеспечивают гарантированного уровня защиты устройств от воздействия атмосферных (ПН).

3. Анализ распределения отказов устройств ЖАТ по системам

В процессе анализа все системы ЖАТ были разделены на 4 группы:

1. Системы управления движением поездов на станции.
2. Системы интервального регулирования движения поездов на перегоне.
3. Системы диспетчерской централизации (ДЦ).

ЖИВУЧЕСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ

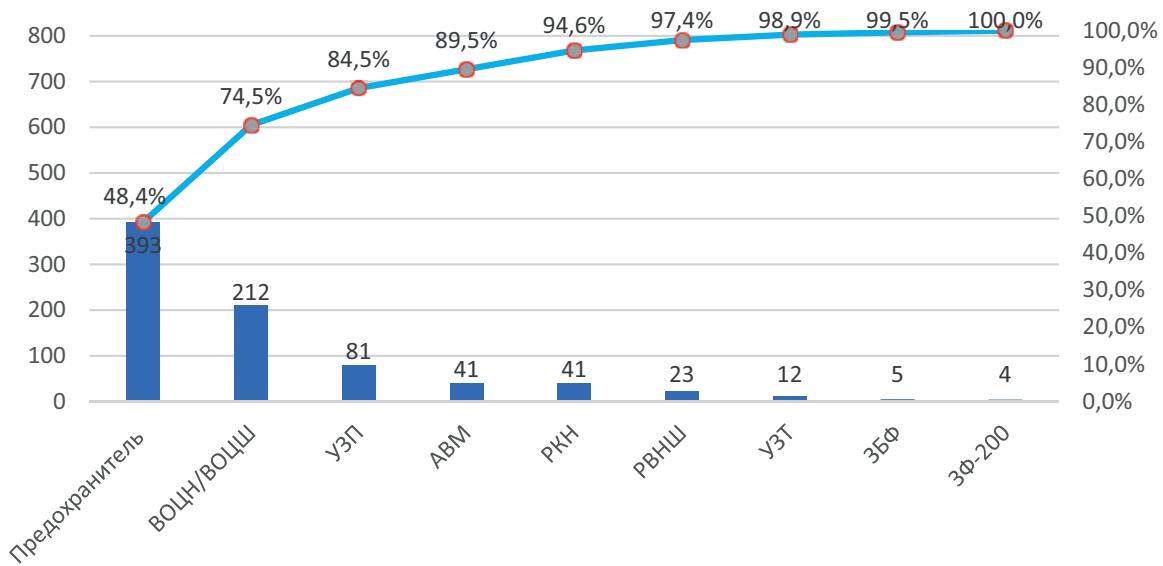


Рис. 10. Распределение поврежденных средств защиты по их типу в период с 2014 по 2024 г.

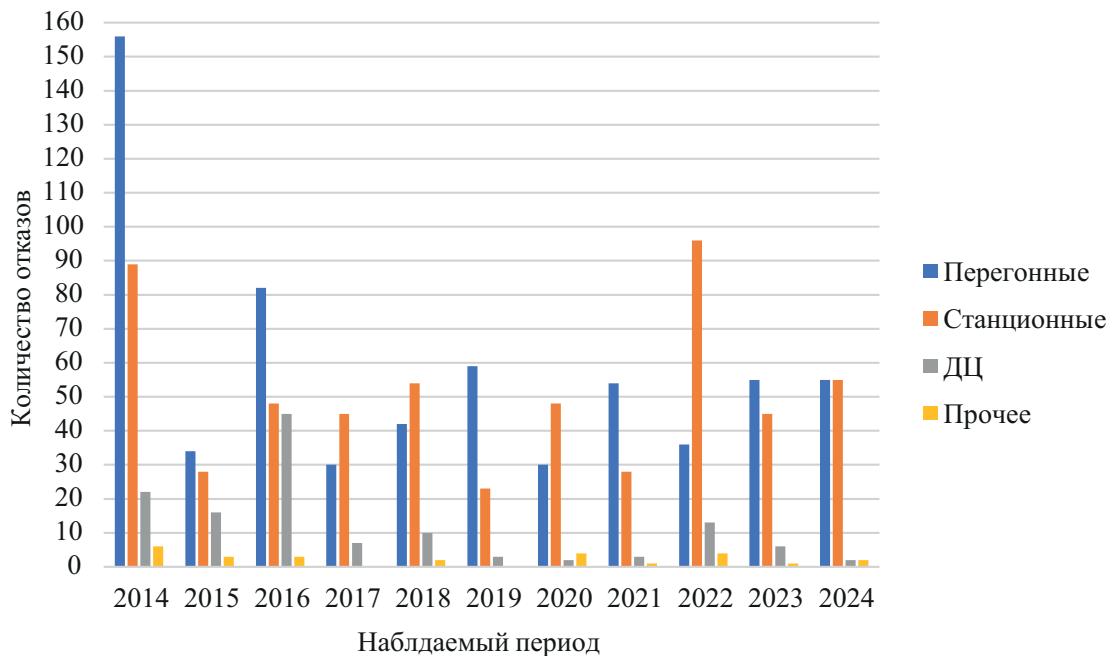


Рис. 11. Распределение отказов устройств по системам и по годам наблюдаемого периода

4. Системы, не входящие ни в одну из вышеперечисленных групп (КТСМ, ПОНАБ, ДИСК, УКСПС, СТДМ, АПС)

Распределение отказов устройств ЖАТ от действия атмосферных ПН по системам в период с 2014 по 2024 г. показано на рис. 11.

Согласно данным рис. 11, в разные годы наблюдаемого периода наибольшая доля отказов приходилась на различные системы ЖАТ. Так, в 2014 г. наибольшая доля отказов приходится на перегонные системы — 57 %. В 2015 г. также наибольшая доля приходится на

устройства перегонных систем — 42 %, при этом доля количества отказов перегонных систем в 2015 г. уменьшилась в 1,35 раза в сравнении с 2014 г. В 2016 г. вновь наибольшее количество отказов приходится на устройства перегонных систем — 46 %, при этом доля количества отказов увеличилась в сравнении с 2015, но при этом была меньше, чем в 2014 г. В 2017-м наибольшее количество отказов приходится на устройства станционных систем — 55 %. В 2018 г. наибольшая доля отказов приходится на устройство станционных систем — 50 %, при этом

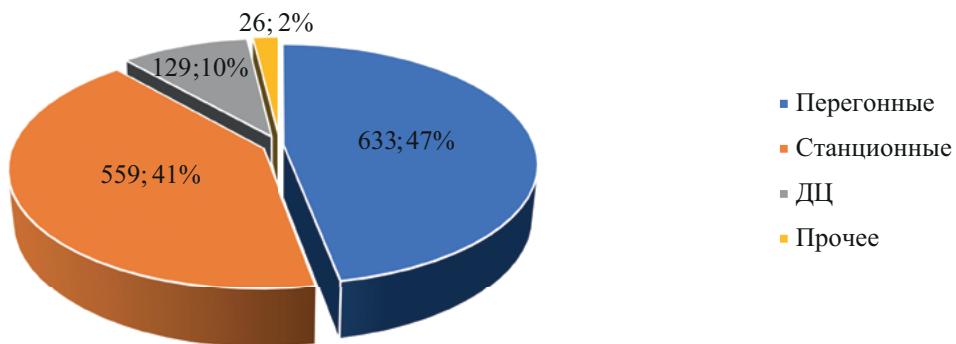


Рис. 12. Распределение отказов устройств по системам за весь наблюдаемый период

доля количества отказов станционных систем уменьшилась в сравнении с 2017 г. в 1,1 раза. В 2019-м наибольшая доля отказов приходится на перегонные системы — 69 %, при этом доля отказов перегонных систем увеличилась в 1,21 раза в сравнении с 2014 г. В 2020 г. наибольшая доля отказов приходится на станционные системы — 57 %. В 2021-м наибольшая доля отказов приходится на перегонные системы — 63 %. В 2022 г. наибольшая доля отказов приходится на станционные системы — 64 %. В 2023 г. наибольшая доля отказов приходится на перегонные системы — 51 %. В 2024 г. доля отказов устройств станционных и перегонных систем равна и составляет 48 %. Также стоит отметить высокий процент отказов устройств диспетчерской централизации в 2016 г. — 26 %.

Далее был выполнен анализ отказов устройств по системам за весь наблюдаемый период. Из рис. 12 видно, что на перегонные системы приходится наибольшее количество отказов, а именно 633, что составляет 47 % от общего числа отказов. На станционные системы приходится 559 отказов, что составляет 41 % от общего числа отказов. На устройства ДЦ приходится 129 отказов, что составляет 10 % от общего числа отказов. На прочие системы приходится 26 отказов, что составляет 2 % от общего числа отказов. Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что основное внимание необходимо обратить на системы автоматической блокировки и электрической централизации.

Далее был выполнен анализ распределения отказов устройств ЖАТ от действия атмосферных ПН по месяцам грозовой активности. Как было сказано выше, грозовой период в пределах Октябрьской железной дороги начинается

в мае, а заканчивается в сентябре. Распределение отказов устройств ЖАТ от действия атмосферных ПН по месяцам грозовой активности в период с 2014 по 2024 г. приведено на рис. 13.

Из рис. 13 следует, что в разные годы наблюдаемого периода наибольшая доля отказов приходилась на разные месяцы. Так, в 2014 г. наибольшая доля отказов пришла на июль — 41 %. В 2015 г. ситуация не изменилась: наибольшая доля отказов была зафиксирована в июле — 40 %. В 2016 г. ситуация также не изменилась: наибольшая доля отказов пришла на июль — 62 %. В 2017 г. вновь наибольшая доля отказов пришла на июль — 38 %. В 2018 г. ситуация изменилась, и наибольшая доля отказов пришла на август — 35 %. В 2019 г. ситуация изменилась вновь, и наибольшая доля отказов пришла на июнь — 39 %. В 2020 г. ситуация аналогична ситуации 2018 г.: наибольшая доля отказов пришла на август — 32 %. В 2021 г. произошли существенные изменения: наибольшая доля отказов пришла на июнь и май — 29 %. В 2022 г. снова произошли изменения: наибольшая доля отказов пришла на июль — 53 %. В 2023 г. наибольшая доля отказов вновь пришла на июль — 29 %. В 2024 г. ситуация опять изменилась: наибольшая доля отказов пришла на июнь — 41 %.

Стоит отметить: в 2018 г. доля количества отказов в августе и в июле отличается незначительно, а именно на 2 %. В 2020 г. доли количества отказов в августе, июле и июне различаются несущественно и находятся в диапазоне от 32 % до 28 %. В 2023 г. доли количества отказов в августе, июле и июне находятся в диапазоне от 29 % до 26 %, а разница долей между июлем и августом составляет менее 1 %.

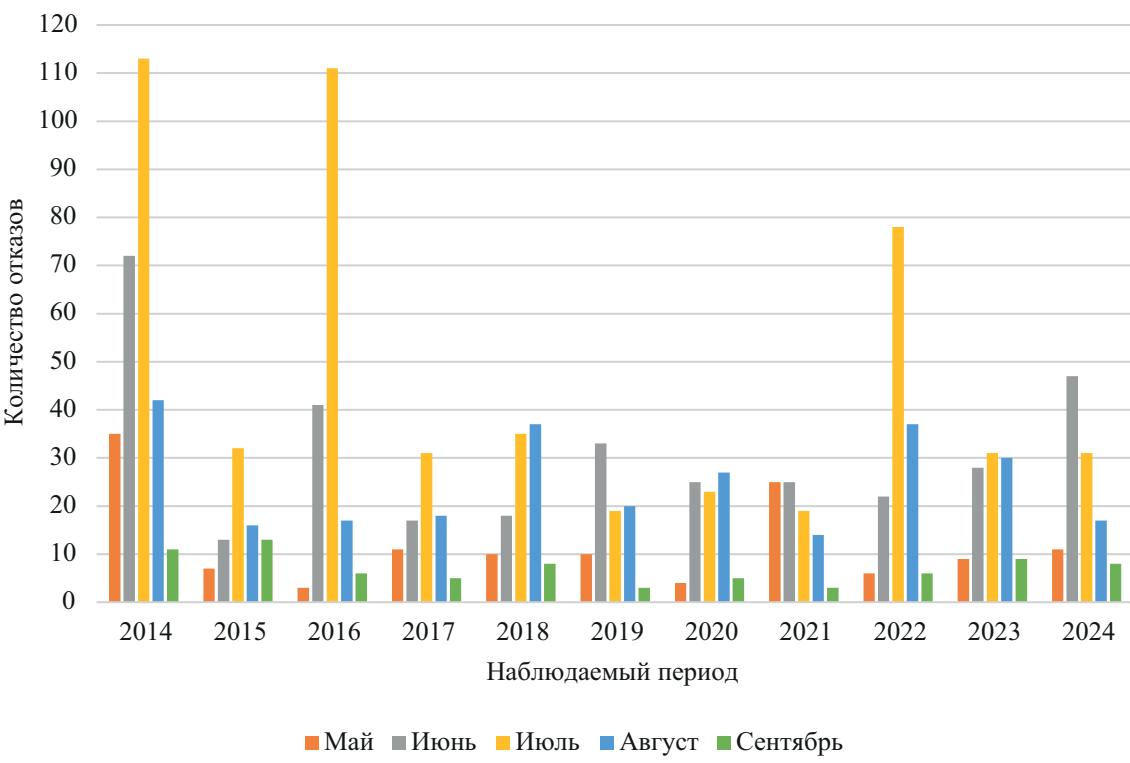


Рис. 13. Распределение отказов устройств по месяцам грозовой активности и по годам наблюдаемого периода

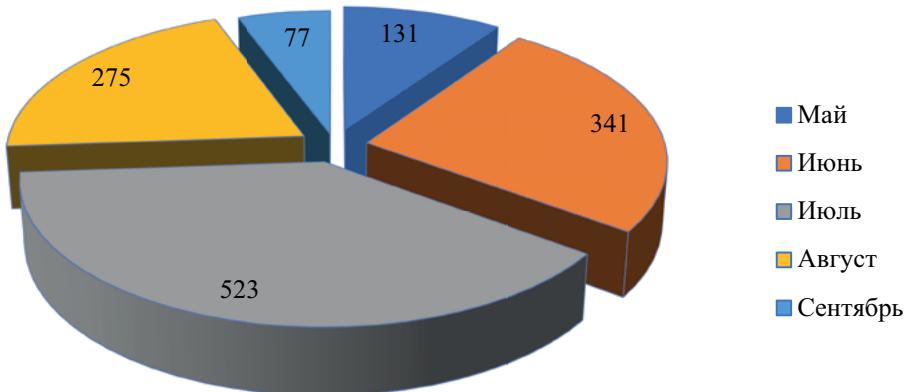


Рис. 14. Распределение отказов устройств ЖАТ по месяцам грозовой активности за весь наблюдаемый период

На рис. 14 показано распределение отказов устройств по месяцам грозовой активности за весь наблюдаемый период.

Из рис. 14 следует, что наибольшее количество отказов от действия атмосферных ПН приходится на июль — 523 отказа, что составляет 39 % от общего числа отказов. В июне зафиксирован 341 отказ, что составляет 25 % от общего числа отказов. В августе зафиксировано 275 отказов, что составляет 21 % от общего числа отказов. В мае зафиксирован 131 отказ,

что составляет 10 % от общего числа отказов. В сентябре зафиксировано 77 отказов, что составляет 6 % от общего числа отказов.

Заключение

В результате анализа грозовой активности на полигоне Октябрьской железной дороги за период 2014–2024 гг. установлено, что наибольшее количество грозовых дней зафиксировано в границах дистанций, прилегающих к водоемам (озерам и рекам).

Наибольшее число отказов устройств ЖАТ наблюдается на дистанциях, где из-за высокого удельного сопротивления грунта невозможно обеспечить требуемое сопротивление заземления.

Из общего числа отказов устройств ЖАТ, вызванных воздействием атмосферных ПН, 60 % пришлось на вводы питания.

Повреждения приборов и средств защиты распределяются по дистанциям неравномерно. Для оценки эффективности мероприятий по защите устройств ЖАТ от атмосферных ПН в работе введены два дополнительных показателя:

- коэффициент относительной опасности грозы (K_{OG});
- коэффициент относительной опасности отказа (C_{OO}).

Анализ показал, что применяемые в настоящее время методы защиты устройств ЖАТ от атмосферных перенапряжений недостаточно эффективны. Следовательно, требуется разработка новых методов и технических решений для повышения защищенности устройств ЖАТ.

По мнению авторов, перспективными направлениями дальнейших исследований являются:

- разработка технических решений и обоснование целесообразности организации защищенных подходов к вводам питания устройств ЖАТ;
- разработка и оценка эффективности активного метода защиты устройств ЖАТ от перенапряжений. ▲

Список источников

1. Шатров Е. Н. Защита устройств электропитания систем железнодорожной автоматики и телемеханики методом снижения градиентов атмосферных и коммутационных перенапряжений: специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. Н. Шатров. — СПб., 2008. — 17 с.
2. Сапожников В. В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: учебное пособие для специалистов / В. В. Сапожников, В. В. Сапожников, Д. В. Ефанов и др. — М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2017. — 318 с.
3. Евсеев И. Г. Электромагнитное влияние устанавливающихся процессов в контактной сети электрифицированной железной дороги и линии электропередачи на цепи сигнализации и связи: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И. Г. Евсеев. — М., 1953. — 13 с.
4. Костроминов А. М. Защита устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от помех / А. М. Костроминов. — М.: Транспорт, 1995. — 192 с.
5. Шаманов В. И. Электромагнитная совместимость систем железнодорожной автоматики и телемеханики / В. И. Шаманов. — М.: УМЦЖДТ, 2013. — 244 с.
6. Кравцов Ю. А. Электромагнитная совместимость рельсовых цепей и электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом / Ю. А. Кравцов // Автоматика на транспорте. — 2015. — Т. 1. — № 1. — С. 7–27.
7. Костроминов А. А. Исследование феррорезонансных процессов в устройствах электропитания железнодорожной автоматики: специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы»: дис. ... канд. техн. наук / А. А. Костроминов. — СПб., 2001. — 173 с.
8. Kube K. Lightning protection of signalizing and communication / K. Kube // Progressive Railroading. — 2000. — Iss. 9. — Pp. 70, 72.
9. Wiater J. Analysis of lightning hazards in the context of formal and technical requirements for facilities with designated explosion hazard zones / J. Wiater // Safety & Fire Technology. — 2025. — Pp. 70–76. — DOI: 10.12845/sft.65.1.2025.6.
10. Yokoyama S. Lightning detection and lightning protection of power systems in Japan / S. Yokoyama. — 2002. — Vol. 1 — Pp. 546–551. — DOI: 10.1109/TDC.2002.1178456.
11. Акимов В. А. Опасные гидрометеорологические явления на территории России: научно-популярное издание / В. А. Акимов, Р. А. Дурнев, Ю. И. Соколов; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). — М., 2009. — 316 с.
12. Bazelyan E. M. Lightning physics and lightning protection / E. M. Bazelyan, Yu. P. Raizer. — Bristol: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2000. — 325 p.
13. 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. — Т. 5. — № 3. — С. 338–355. — DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-3-338-355.
14. Манаков А. Д. Модели, методы и средства защиты электронных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от опасных электромагнитных воздействий: специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок»: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А. Д. Манаков. — СПб., 2011. — 32 с.
15. Смагина В. А. Современные тенденции развития электромагнитных реле в устройствах сигнализации, централизации и блокировки / В. А. Смагина, Е. В. Бабец, С. В. Панфилов, А. С. Петрова // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. — 2024. — Т. 1. — С. 345–350.
16. Кравцов Ю. А. Методика проверки помехоустойчивости приемников тональных рельсовых цепей / Ю. А. Кравцов, А. А. Антонов, М. Е. Бакин // Мир транспорта. — 2015. — Т. 13. — № 6(61). — С. 102–109.

Analysis of the Impact of Atmospheric Overvoltage on Railway Automation and Remote Control Devices

Information about authors

Solovyov A. D., Postgraduate Student. E-mail: Shura.Solovyov.01@mail.ru
Manakov A. D., Doctor of Engineering, Professor of the Department.
 E-mail: manakoff_2@mail.ru

Department of "Automation and Remote Control on Railways", Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, St. Petersburg

Abstract: This paper presents the findings from an analysis of thunderstorm activity on the Oktyabrskaya Railway, focusing on signalling, centralization, blocking distances, and infrastructure distances, for the period from 2014 to 2024. The analysis investigates the distribution of failures of railway automation and remote control devices, alongside incidents of damaged overvoltage protection equipment. The analysis identifies the distances with the most inadequate atmospheric overvoltage protection and explores the factors contributing to this issue. A thorough examination of the distribution of failures of railway automation and remote control devices has been conducted, categorizing them by system and presenting them on a monthly basis throughout the thunderstorm season. The assessment included the distribution of damaged devices and protective equipment, organised by equipment type and nature of the malfunction, ultimately identifying the devices most vulnerable to damage. For a more detailed and objective analysis, it is proposed to consider additional indicators such as the relative thunderstorm hazard indicator and the relative failure hazard indicator.

Keywords: Atmospheric overvoltage; railway automation and remote control; thunderstorm protection equipment; failures of automation devices.

References

1. Shatrov E. N. *Zashchita ustroystv elektropitaniya sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki metodom snizheniya gradientov atmosfernykh i kommutatsionnykh perenapryazheniy: spetsial'nost' 05.09.03 "Elektrotehnicheskie kompleksy i sistemy"*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Protection of Power Supply Devices of Railway Automation and Telemechanics Systems by Reducing Atmospheric and Switching Overvoltage Gradients: specialty 05.09.03 "Electrotechnical Complexes and Systems": author's abstract. dis. ... Cand. Engineering Sciences]. St. Petersburg, 2008, 17 p. (In Russian)
2. Sapozhnikov V. V., Efanova D. V. et al. *Nadezhnost' sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki, telemekhaniki i svyazi: uchebnoe posobie dlya spetsialistov* [Reliability of railway automation, remote control and communication systems: textbook for specialists]. Moscow: Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zhelezodorozhnom transporte Publ., 2017, 318 p. (In Russian)
3. Evseev I. G. *Elektromagnitnoe vliyanie ustanavlivayushchikhsya protsessov v kontaktnoy seti elektrifitsirovannoy zheleznoy dorogi i linii elektroperedachi na tsepi signalizatsii i svyazi*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Electromagnetic influence of steady-state processes in the contact system of an electrified railway and power transmission lines on signaling and communication circuits: Abstract of a Cand. Sci. dissertation]. Moscow, 1953, 13 p. (In Russian)
4. Kostrominov A. M. *Zashchita ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki ot pomekh* [Protection of railway automation and remote control devices from interference]. Moscow: Transport Publ., 1995, 192 p. (In Russian)
5. Shamanov V. I. *Elektromagnitnaya sovmestimost' sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Electromagnetic compatibility of railway automation and remote control systems]. Moscow: UMTsZhDT Publ., 2013, 244 p. (In Russian)
6. Kravtsov Yu. A. *Elektromagnitnaya sovmestimost' rel'sovikh tsepey i elektropodvizhnogo sostava s asinkhronnym tyagovym privodom* [Electromagnetic compatibility of track circuits and electric rolling stock with asynchronous traction drive]. *Avtomatika na transporte* [Automation in Transport]. 2015, vol. 1, iss. 1, pp. 7–27. (In Russian)
7. Kostrominov A. A. *Issledovanie ferrorezonansnykh protsessov v ustroystvakh elektropitaniya zheleznodorozhnoy avtomatiki: spetsial'nost' 05.09.03 "Elektrotehnicheskie kompleksy i sistemy"*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Study of ferroresonance processes in power supply devices of railway automation: specialty 05.09.03 "Electrotechnical complexes and systems": dis. ... Cand. of Engineering Sciences]. St. Petersburg, 2001, 173 p. (In Russian)
8. Kube K. Lightning protection of signalizing and communication. *Progressive Railroading*, 2000, iss. 9, pp. 70, 72.
9. Wiater J. Analysis of lightning hazards in the context of formal and technical requirements for facilities with designated explosion hazard zones. *Safety & Fire Technology*, 2025, pp. 70–76. DOI: 10.12845/sft.65.1.2025.6.
10. Yokoyama S. Lightning detection and lightning protection of power systems in Japan, 2002, vol. 1, pp. 546–551. DOI: 10.1109/TDC.2002.1178456.
11. Akimov V. A., Durnev R. A., Sokolov Yu. I. *Opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya na territorii Rossii: nauchno-populyarnoe izdanie* [Dangerous hydrometeorological phenomena in Russia: popular science edition]. Moscow: FGU VNII GOChS (FTs) Publ., 2009, 316 p. (In Russian)
12. Bazelyan E. M., Raizer Yu. P. *Lightning physics and lightning protection*. Bristol: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2000, 325 p.
13. Manakov A. D., Rakhmonberdiev A. A. *Vozdeystvie perenapryazheniy na ustroystva zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki AO "Uzbekiston temir yullari"* [Impact of overvoltages on railway automation and remote control devices of JSC "Uzbekistan Railways"]. *Avtomatika na transporte* [Automation in Transport]. 2019, vol. 5, iss. 3, pp. 338–355. DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-3-338-355. (In Russian)
14. Manakov A. D. *Modeli, metody i sredstva zashchity elektronnykh ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki ot opasnykh elektromagnitnykh vozdeystviy: spetsial'nost' 05.22.08 "Upravlenie protessami perevozok"*: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk [Models, methods and means of protecting electronic devices of railway automation and telemetry from hazardous electromagnetic influences: specialty 05.22.08 "Transportation process management": author's abstract. dis. ... Doctor of Engineering Sciences]. St. Petersburg, 2011, 32 p. (In Russian)
15. Smagina V. A., Babets E. V., Panfilov S. V., Petrova A. S. *Sovremennye tendentsii razvitiya elektromagnitnykh rele v ustroystvakh signalizatsii, tsentralizatsii i blokirovki* [Current trends in the development of electromagnetic relays in signaling, centralization and blocking devices]. *Nauchno-tehnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnistvo stran ATR v XXI veke* [Scientific, technical and economic cooperation of APR countries in the 21st century]. 2024, vol. 1, pp. 345–350. (In Russian)
16. Kravtsov Yu. A., Antonov A. A., Bakin M. E. *Metodika proverki pomekhoustoichivosti priemnikov tonal'nykh rel'sovikh tsepey* [Methodology for testing the noise immunity of tone track circuit receivers]. *Mir transporta* [World of Transport]. 2015, vol. 13, iss. 6(61), pp. 102–109. (In Russian)