

О.И. Монид, М.В. Копанев, Т.В. Кондратюк

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия

АНАЛИЗ ПРИЧИН И ПОСЛЕДСТВИЙ ДЕЙСТВИЯ ГРОЗОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Аннотация. Грозовые перенапряжения имеют самую большую кратность, при этом они самые короткие по времени воздействия и более тяжёлые для устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). Коммутационные перенапряжения, напротив, имеют меньшую кратность, но могут существовать часами. Поэтому, проблема грозовых перенапряжений в устройствах ЖАТ является наиболее актуальной. В данной статье проведен анализ влияния перенапряжений на устройства СЦБ за время грозового периода 2020 года по службе автоматики и телемеханики Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры и причинам нарушений при атмосферных перенапряжениях. Рассмотрены влияния атмосферных перенапряжений на функционирование устройств ЖАТ, природа источника грозовых перенапряжений. Приведен анализ «Парето», на основании которого видно, какие устройства ЖАТ наиболее подвержены воздействию атмосферных перенапряжений.

Ключевые слова: грозовые перенапряжения, коммутационные перенапряжения, источники грозовых перенапряжений, анализ причин и последствий перенапряжений, устройства ЖАТ, заземленные объекты, рабочее заземление, защитное заземление, атмосферные перенапряжения, анализ «Парето».

O.I. Monid, M.V. Kopanev, T.V. Kondratyuk

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

ANALYSIS OF THE CAUSES AND CONSEQUENCES OF THE ACTION OF LIGHTNING OVERVOLTAGES IN RAILWAY AUTOMATION AND TELEMCHANICS SYSTEMS

Abstract. Lightning overvoltages have the highest multiplicity, while they are the shortest in terms of exposure time and the most difficult for railway automation and telemechanics devices (RAT). Switching overvoltages, on the other hand, have a small multiplicity, but can exist for hours. Therefore, lightning overvoltages in RAT devices are the most relevant. The article analyzes the effect of overvoltages on signaling devices during the thunderstorm period of 2020 in the service of automation and telemechanics of the East Siberian Directorate of Infrastructure (ESDI) and the reasons for violations during atmospheric overvoltages. The influence of atmospheric overvoltages on the functioning of RAT devices, the nature of the source of lightning overvoltages are considered. The analysis of "Pareto" is presented, from which it can be seen which RHAT devices are most susceptible to atmospheric overvoltage. The topic of the work is of great practical importance, since protection against lightning overvoltages is one of the most difficult technical and economic problems, which, at present, cannot be completely solved due to the insufficiently studied theoretical part and imperfection of available technologies.

Keywords: lightning overvoltages, switching overvoltages, sources of lightning overvoltages, analysis of the causes and consequences of overvoltages, railway automation and telemechanics (RAT) devices, grounded objects, working grounding, protective grounding, atmospheric overvoltages, Pareto analysis

Введение

Железнодорожный транспорт является отраслью с непрерывным технологическим циклом работы, эффективность которой во многом зависит от надежности и долговечности технических средств и систем [1, 2, 8].

При организации рационального использования тяговых и трудовых ресурсов локомотивного и вагонного парков, а также повышения скорости движения поездов в инфраструктуре дорог возникает ряд вопросов по ее содержанию.

Важную роль в организации движения поездов играют системы автоматики и телемеханики. Конечно, в соответствии с правилами технической эксплуатации (ПТЭ) и инструкцией по движению поездов (ИДП), устройства СЦБ не могут полностью остановить движение поездов и даже при прекращении действия СЦБ все правила и инструкции позволяют организовать движение.

Как правило, проблемы в устройствах ЖАТ, которые не были учтены при их разработке и изготовлении, возникают при повышении эффективности работы железнодорожного транспорта. Одной из таких является возникновение отказов по причине атмосферных перенапряжений. На сегодняшний день существует множество правил, инструкций, ГОСТов, рекомендаций и концепций по защите устройств СЦБ от перенапряжений, однако, их применение не всегда приводит к желаемому эффекту, так как требования нормативных документов не учитывают особенностей климатических зон и грузонапряженности на поездо-участке [3]. Необходим их пересмотр в части организации установки устройств защиты.

Причинами перенапряжений в устройствах СЦБ могут быть как неисправности контактной сети, нарушения в схемах канализации обратного тягового тока, так и грозовой разряд. В данной статье речь и пойдет о грозовых перенапряжениях, которые наводятся в устройствах ЖАТ при разрядах молнии на близко расположенные заземленные объекты.

Виды и характеристики перенапряжений

Изоляция устройств ЖАТ процессе эксплуатации находится под воздействием как рабочего напряжения, так и возможных внешних и внутренних перенапряжений, являющихся импульсом или волной напряжения, которая накладывается на номинальное напряжение сети. Перенапряжения имеют различную природу. Выделяют такие виды перенапряжений как грозовые, резонансные, феррорезонансные, коммутационные со следующими характеристиками:

- максимальное амплитудное значение напряжения;
- длительность воздействия;
- форма кривой импульсов перенапряжения;
- широта охвата элементов сети (расстояние воздействия волны перенапряжения).

Грозовые перенапряжения имеют большую кратность, но при этом являются самыми короткими по времени воздействия, именно они приводят к наиболее тяжёлым последствиям электроустановки. Коммутационные перенапряжения, в свою очередь, имеют малую кратность, но могут длиться часами. В результате атмосферных воздействий выходит из строя большое количество оборудования. Удар молнии опасен для электроустановок всех классов напряжения, вне зависимости от их устройства. Например, при прямом ударе молнии в провод ВЛ 110 кВ чаще всего происходит перекрытие изоляции. Для линий 500-1150 кВ опасными являются 30-40% аналогичных ситуаций. При прямом попадании молнии в провод, даже самая высокая импульсная прочность линейной изоляции ВЛ 500-1150 кВ не способна обеспечить должную грозоупорность линии.

Статистика отказов аппаратуры и устройств ЖАТ под воздействием атмосферных перенапряжений

На сегодняшний день актуальность проблемы грозовых перенапряжений в устройствах ЖАТ объясняется повышением грозовой активности и, как следствие, увеличением количества технологических нарушений (далее ТН), произошедших по причине атмосферных перенапряжений. Например, на территории Сибири количество ТН под влиянием атмосферных перенапряжений увеличилось в два раза за год по сравнению с аналогичным периодом, а именно на полигоне ВСДИ за 2020 год допущен 71 случай нарушения нормальной работы устройств СЦБ по причине атмосферных перенапряжений во время грозовой активности, однако в 2019 году было зафиксировано 36 случаев.

На рисунке 1 представлены данные из анализа влияния перенапряжений на устройства СЦБ за время грозового периода 2020 года по службе автоматики и телемеханики ВСДИ.

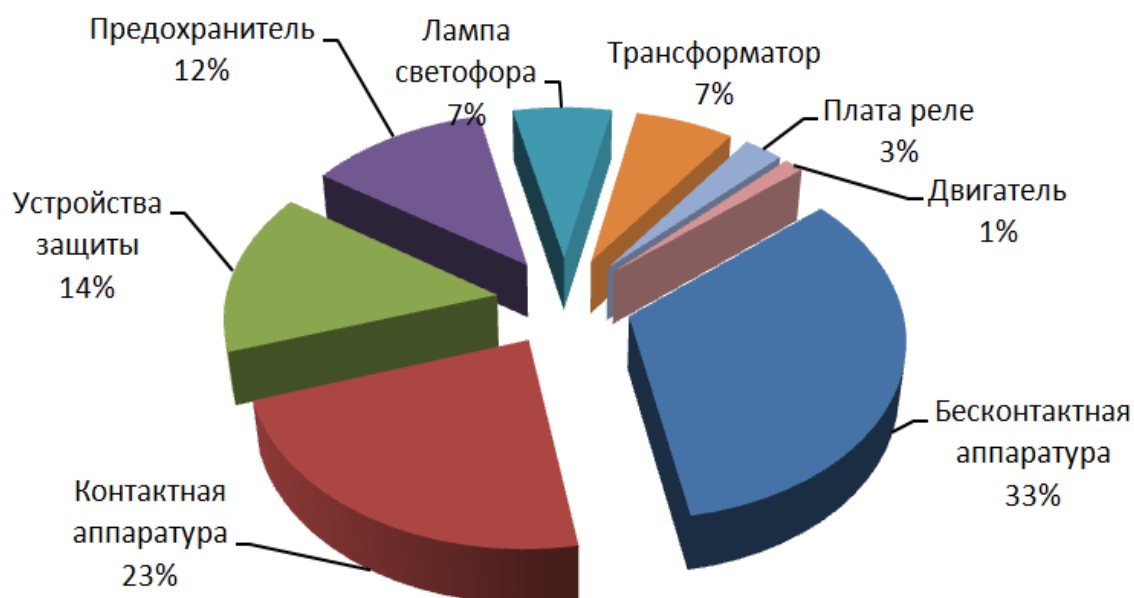


Рис. 1. Статистика по типам устройств и оборудования СЦБ, вышедших из строя при воздействии атмосферных перенапряжений на полигоне ВСДИ за 2020 год

На рисунке 2 представлена диаграмма Парето, на основании анализа которой видно, что воздействию атмосферных перенапряжений наиболее подвержена бесконтактная и контактная аппаратура СЦБ, а также устройства защиты и предохранители.

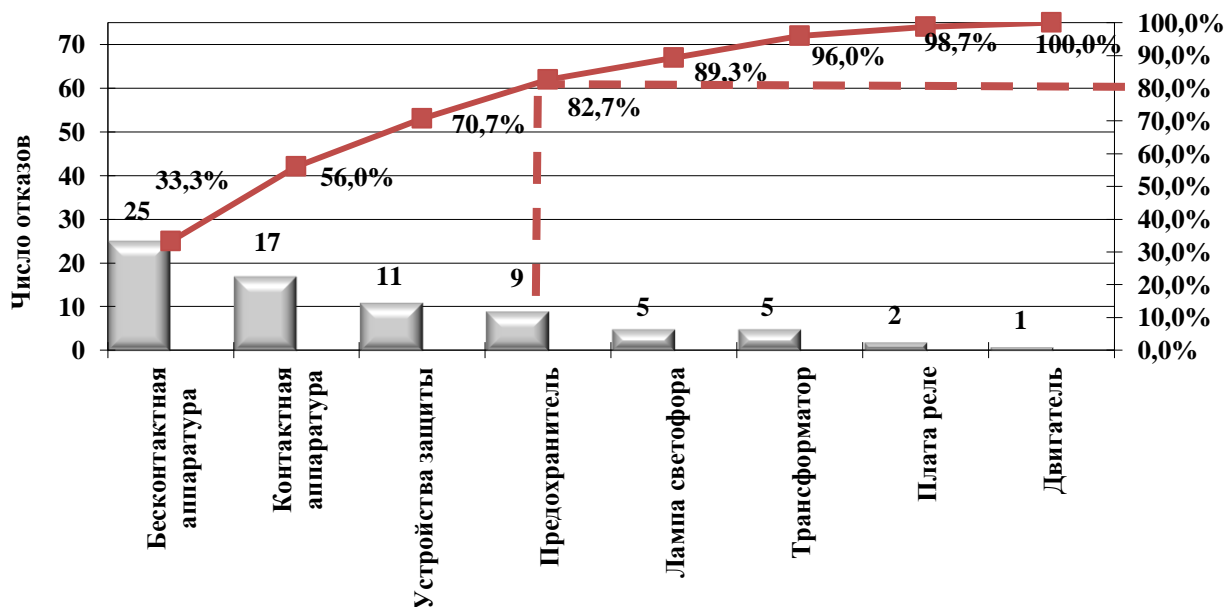


Рис. 2. Диаграмма Парето воздействия атмосферных перенапряжений на устройства ЖАТ

Природа грозных перенапряжений

Для того, чтобы разобраться с причинами данной проблемы необходимо познакомиться с природой грозных перенапряжений [5, 9]. Грозные разряды – молнии вызывают электрические заряды, которые в больших количествах накапливаются в облаках. На сегодняшний день уже существует множество теорий, которые по-разному описывают электризацию облаков, но ещё не написана та, которая бы давала полную характеристику данному явлению.

Для понимания общей картины рассматриваемого явления в данной статье предлагаем рассмотреть наиболее значимые постулаты. Ввиду того, что существуют восходящие потоки воздуха, происходит накопление, разделение положительных и отрицательных зарядов, что называется электризацией облаков. Одно из основных предположений говорит о том, что электрические заряды образуются в постоянном электрическом поле земли.

Планета Земля заряжена отрицательно, при этом вблизи поверхности среднее значение напряжённости – 100 В/м., которое не имеет зависимости от места, времени года и суток. Окружающий поверхность планеты воздух имеет свободные заряды, которые движутся в направлении электрического поля Земли, при этом, чем дальше они удалены от поверхности, тем больше плотность заряженных частиц и проводимость воздуха. Электрическое сопротивление воздуха можно сопоставить с плотностью пресной воды исходя из того, что на высоте 80 км оно уменьшается в 3 миллиарда раз. Земля и её атмосфера представляют собой шарообразный конденсатор, где поверхность Земли и слой атмосферы с высокой проводимостью – это его обкладки, а слой воздуха с высоким сопротивлением – это изоляция между «обкладками» - вот именно такой вывод можно сделать на основании сказанного выше. Между проводящими слоями атмосферы и поверхностью Земли напряжение приблизительно составляет ~ 200 кВ. значение мощности «конденсатора» приближенно равно 300 МВт. Образование грозного облака в этом электрическом поле происходит на высоте от 1 до 8 км от поверхности планеты.

По происхождению грозы делятся на фронтальные и тепловые. Последние вызываются по причине нагрева нижних слоев воздуха, где воздушные массы расширяются и стремятся вверх и уже на высоте 2 км разогретый воздух встречается с областью отрицательных температур. Таким образом, происходит конденсация влаги и из мельчайших электрически заряженных капель образуются грозные облака. При условии соприкосновения своими фронтальными частями различных по температуре потоков воздуха уже образуются вторые по происхождению фронтальные грозы. При этом нагретый воздух стремится вверх, создавая завихрение. На высоте низких температур влага конденсируется, образуются облака.

Самое главное отличие между тепловыми и фронтальными грозами заключается в том, что первые образуются только в жару и при этом охватывают малые территории, однако, вторые образуются в любое время суток, распространяются с высокой скоростью и занимают при этом широкие площади. Конденсат поляризуется под действием электрического поля «конденсатора». Верхние капли заряжены положительно, а нижняя часть капель имеет отрицательный заряд. Восходящий поток воздуха мелкие капли поднимает вверх, а нижние соответственно под действием силы тяжести опускаются вниз.

По итогу, капли, которые движутся вверх, своей отрицательно заряженной частью встречают как отрицательные, так и положительные свободные заряды. Соответственно положительные заряды притягиваются, отрицательные отталкиваются и капли становятся положительно заряженными. Абсолютно противоположная ситуация происходит с падающими каплями крупных размеров – они получают отрицательный заряд.

Таким образом, в грозном облаке и происходит разделение зарядов: положительные заряды скапливаются в верхнем слое, а отрицательные – в нижнем. Некоторое время заряды находятся на месте и не нейтрализуются, поскольку средняя часть облака обладает сопротивлением. Далее электрическое поле - облако наслаивается на поле поверхности Земли, меняя его направление, становится положительно заряженным. Заряды в грозном облаке распределены неравномерно в точках критической напряжённости, а при значениях 25-30 кВ/см, создаются условия образования молнии. В том месте, где значение напряжённости

достигает критического значения, создаются лавины электронов, под действием фотоионизации и термоионизации возникают стримеры, они же преобразуются в лидеры. Разряд молнии, длина которой может быть от нескольких сотен до нескольких километров, способен пробить воздушное пространство, которое находится между облаком и поверхностью Земли.

Определённой проблемой становится то, что грозовой заряд обладает избирательностью и при приближении лидерного канала к земле на его электрическое поле влияют поля земли и различных искусственных сооружений. При наличии под тучей какого-либо сооружения, например, опоры ЛЭП, удар молнии придёт именно в неё, так как развивающийся лидер стремится достичь поверхности земли по пути с наименьшим электрическим сопротивлением. Грозовой разряд чаще поражает те объекты, которые имеют лучшее заземление и меньшее сопротивление, даже если вблизи находятся более высокие сооружения [7].

Защитные средства, предохраняющие электрооборудование от перенапряжений

Как уже было сказано выше, грозовые перенапряжения возникают при разряде молнии в оборудование или рядом с ним в землю. Удар молнии приводит к волне напряжений, которая распространяется по линии и достигает электрическое оборудование. Грозы представляют опасность для электроустановок не только из-за перенапряжений, но и тем, что при прохождении тока молнии через какие-либо объекты оказываются серьёзные электромагнитные, термические и механические воздействия, это может привести к авариям и отказам оборудования [4, 6]. По этой причине, необходимо применить комплекс специальных защитных средств, защищающих электрическое оборудование от перенапряжений.

Применение вентильных разрядников (РВ) или ограничителей перенапряжений нелинейных (ОПН) является одной из эффективных мер защиты [3]. РВ и ОПН работают на основе нелинейности вольтамперной характеристики рабочих элементов: превышение определённого уровня напряжения сопровождается резким снижением сопротивления рабочей части электрического аппарата. При уменьшении напряжения до номинального, сопротивление восстанавливается. Следует отметить, что РВ имеют аналогичный принцип работы с ОПН, но в настоящий момент являются устаревшим типом защиты. Принципиальное отличие состоит в том, что из-за низкой нелинейности вольтамперной характеристики РВ, в их конструкции присутствуют и искровые промежутки. Большая нелинейность варисторов ОПН позволила полностью отказаться от искровых промежутков, что делает их более эффективными. Поэтому в дальнейшем речь будем вести только об ОПН. Изоляция внутри дорогостоящего подстанционного оборудования более чувствительна к грозовым перенапряжениям. По этой причине эффективность защиты от грозовых перенапряжений должна быть значительно выше применяемой для защиты ВЛ.

Перенапряжения атмосферного характера возникают при разрядах молнии в зоне расположения высоковольтных линий систем электроснабжения, контактной сети, воздушных, кабельных линий сигнализации и связи или при разрядах молнии непосредственно на металлические элементы высоковольтных линий, воздушных линий связи и СЦБ, мачты светофоров, непосредственно в рельсы и т.п.

Для разработки и проектирования эффективных мер защиты устройств ЖАТ от перенапряжений и выработки требований к приборам (аппаратуре) и схемным решениям необходимо учитывать:

- параметры воздействующих импульсов перенапряжений, которые для разных участков железных дорог имеют ряд характерных особенностей;
- защитные характеристики (параметры) аппаратуры и коммуникаций ЖАТ, включая допустимые уровни перенапряжений;
- характеристики технических средств защиты от перенапряжений.

Примером повреждения устройств ЖАТ при грозовых разрядах может быть случай, произошедший в Зиминской дистанции сигнализации, централизации и блокировки при прохождении грозового фронта в июле 2020 года.

При прохождении грозового фронта в релейном шкафу произошел пробой платы с линейными цепями 2-х сторонней АБ (рис. 3) и выгорание реле (рис. 4).



Рис. 3. Пробой платы с линейными цепями 2-х сторонней АБ



Рис. 4. Выгорание реле

При расследовании причин прохождения тока потребовалось вскрытие кабельной трассы порядка 50 метров (рис. 5). Кабель РЦС защищен алюминиевой оболочкой, его отпай заземлен на собственный контур с использованием рабочего заземления. Однако при прокладке кабеля было допущено его повреждение (залом), что послужило прохождением тока по следующей цепи: контур отпая — залом — кабельная медная жила — плата реле — корпус РШ — рельс (рис. 6).

Конечно, сложно доказать, что в этом случае грозовой разряд прошел именно по этой цепи, а не наоборот от рельса к контуру, но факт имеет место быть. Этот пример не связан с разрядниками, но указывает на несовершенство конструкции реле и необходимости разработки новых технических условий по прокладке кабеля в части исключения таких повреждений.



Рис. 5. Поиск причины отказа



Рис. 6. Поврежденный кабель

На основе анализа причин и последствий сформулированы практические мероприятия и основные направления научных исследований с целью улучшения защиты аппаратуры ЖАТ от грозовых перенапряжений:

1. Изучить целесообразность применения дифференциальных автоматов в цепях питания РШ АБ.
2. Обеспечить исключение пробоев плат реле типа РЭЛ путем демонтажа ключей избирательности и дополнительной изоляции плат от стativa.
3. Исследовать возможность выполнения заземление релейного шкафа через грозоразрядные приборы напряжением пробоя не менее 2000 В или с использованием заземления с большим сопротивлением.
4. Обеспечить организацию ввода кабеля с броней или металлической оболочкой в релейный шкаф в части ее разделки на расстоянии не менее 10 м до ввода в РШ.

5. Организовать на каждом дроссель-трансформаторе дополнительный контур заземления для обеспечения пропуска части тягового тока.
6. Провести исследование процесса воздействия перенапряжения на аппаратуру рельсовой цепи на математических моделях в среде MathLab или в MultiSim, используя наработки, представленные в [10, 11, 12, 14, 15].
7. Опираясь на накопленный опыт [13], сформировать экспертную систему поиска отказов аппаратуры СЦБ по причине действия грозового перенапряжения.

Заключение

Рассматриваемые вопросы имеют большое практическое и научное значение, так как защита от грозовых перенапряжений является важной технико-экономической задачей.

Решение этой задачи, в настоящее время, представляется достаточно сложным вследствие малой изученности вопроса и несовершенства доступных технологий.

Требуются новые подходы к решению, поставленной задачи, формирование новых методов защиты, основанных на научных исследованиях, разработка новых средств грозозащиты с применением современных технологий.

С помощью технических мероприятий и применяемых средств защиты последствия природных явлений (атмосферных перенапряжений) могут быть сведены к минимуму.

Для минимизации влияния атмосферных явлений на работу систем ЖАТ и соответствующего повышения надёжности этих устройств необходима комплексная программа внедрения научных методов и устройств защит в сетях всех классов напряжений.

Это, в свою очередь, потребует больших капитальных вложений с целью обеспечения полной защиты оборудования от грозовых перенапряжений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горелик А.В., Шалягин Д.В., Боровков Ю.Г., Митрохин В.Е. и др. // Системы железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. В 2 ч. Под ред. А.В. Горелика. – М., 2012. – 477 с.
2. Шаманов В. И. Электромагнитная совместимость систем железнодорожной автоматики и телемеханики. М., 2013. 244 с.
3. Методические указания по применению устройств защиты от перенапряжения в устройствах ЖАТ № 12013/ЦДИ от 31.03.2016г. [Электронный ресурс]. URL: http://static.scbist.com/scb/uploaded/267_1462882674.pdf (дата обращения: 20.10.2020)
4. Как бороться с грозой/молнией? [Электронный ресурс]. URL: <http://scbist.com/terminator-scb/10302-kak-zhe-borotsya-s-grozoi-molniei.html> (дата обращения: 26.10.2020)
5. Грозовые явления и защита систем электроснабжения от атмосферных перенапряжений [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/grozovye-yavleniya-i-zaschita-sistem-elektrosnabzheniya-ot-atmosferyh-perenapryazheniy> (дата обращения: 26.10.2020)
6. Защита устройств ЖАТ от грозовых и коммутационных перенапряжений [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16463461> (дата обращения: 26.10.2020)
7. Анализ аварийности в электросетевом комплексе / С.Г. Захаренко, Т.Ф. Малахова, С.А. Захаров, В.А. Бродт, Р.С. Вершинин // Вестник КузГТУ. - 2016. - №4. - С. 95-98.
8. Разгильдеев Г.И. Надёжность электромеханических систем электрооборудования: учеб. пособие. - 4-е изд., перераб. и доп. - Кемерово. 2008. – 157 с.
9. Разгильдеев, Г.И. Эксплуатация систем электроснабжения (Эксплуатация электрооборудования): учеб. пособие / Кузбасс. гос. техн. ун-т. - Кемерово, 2009. - 196 с.
10. Кучера Л.Я., Копанев М.В., Федорова Н.В. Моделирование показателей надёжности технических систем // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - Иркутск, 2010. – Т.26, №2, С.204-208.

11. Копанев М.В., Кучера Л.Я. Математическая модель формирования надежности стрелочного электропривода // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – Иркутск, 2016. – Т. 1, С. 244-249.

12. Копанев М.В., Кучера Л.Я. Моделирование стрелочного электропривода в среде MATLAB // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – Иркутск, 2016. – Т. 1, С. 249-253.

13. Копанев М.В., Кучера Л.Я. Выявление причин отказов стрелочных электроприводов с использованием экспертной системы // Транссиб: на острие реформ. – Чита, 2016. – С. 230-234.

14. Kopanev M.V., Arsentyev M.O. Modeling of asynchronous traction motor operation modes while turning locomotive wheelsets bandages. Proceedings of the International Conference: Aviamechanical Engineering and Transport (AVENT 2018). doi.org/10.2991/avent-18.2018.37

15. Pulyakov A.V., Arsentiev O.V., Kopanev M.V., Alexeenko V.A., Arsentiev G.O., Shtykin E.S. Study of the operation of high-frequency electrical plants of railway consumers // Proceedings of the International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region (SibTrans-2019) 2020, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, V. 760 (2020). doi.org/10.1088/1757-899X/760/1/012028

REFERENCES

1. Gorelik A.V., Shalyagin D.V., Borovkov YU.G., Mitrokhin V.Ye. and oth. Sistemy zheleznodorozhnoy avtomatiki, telemekhaniki i svyazi. V 2 ch. Pod red. A.V. Gorelika. - M., 2012. - 477 p.

2. Shamanov V. I. Elektromagnitnaya sovместimost' sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki. - M., 2013, 244 p.

3. Metodicheskiye ukazaniya po primeneniyu ustroystv zashchity ot perenapryazheniya v ustroystvakh ZHAT № 12013/TSDI ot 31.03.2016g. [Guidelines for the use of overvoltage protection devices in ZhAT devices No. 12013 / CDI dated 03/31/2016. // [Electronic resource]. URL: http://static.scbist.com/scb/uploaded/267_1462882674.pdf (accessed 20.10.2020)

4. Kak borot'sya s grozoy/molniyey? [How to deal with a thunderstorm / lightning?] // [Electronic resource]. URL: <http://scbist.com/terminator-scb/10302-kak-zhe-borotsya-s-grozoi-molniei.html> (accessed: 26.10.2020)

5. Grozovyye yavleniya i zashchita sistem elektrosnabzheniya ot atmosferykh perenapryazheniy [Thunderstorms and protection of power supply systems from atmospheric overvoltages] // [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/grozovye-yavleniya-i-zashchita-sistem-elektrosnabzheniya-ot-atmos-fernyh-perenapryazheniy> (accessed: 26.10.2020)

6. Zashchita ustroystv ZHAT ot grozovykh i kommutatsionnykh perenapryazheniy [Protection of RAT devices from lightning and switching overvoltages] // [Electronic resource]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16463461> (accessed: 26.10.2020)

7. Zakharenko S.G., Malakhova T.F., Zakharov S.A., Brodt V.A., Vershinin R.S. Analiz avariynosti v elektrosetevom komplekse [Analysis of accidents in the electric grid complex] // Vestnik KuzSTU. - 2016. - №. 4. - P. 95-98 (accessed: 01.11.2020)

8. Razgildeev G. I. Nadezhnost' elektromekhanicheskikh sistem elektrooborudovaniya: ucheb. posobiye. [Reliability of electromechanical systems of electrical equipment: tutorial]. - 4th ed., reprint. and additional - Kemerovo. 2008. – 157 p.

9. Razgildeev, G.I. Ekspluatatsiya sistem elektrosnabzheniya: ucheb. posobiye [Operation of power supply systems (Operation of electrical equipment): tutorial]. Kemerovo, 2009. - 196 p.

10. Kuchera L.YA., Kopanev M.V., Fedorova N.V. Modelirovaniye pokazateley nadezhnosti tekhnicheskikh sistem [The modeling indexes safety of technical systems] // Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye. [Modern technologies. System analysis. Modeling] - Irkutsk, 2010. – V.26, №2, P.204-208.

11. Kopanev M.V., Kuchera L.YA. Matematicheskaya model' formirovaniya nadezhnosti

strelochnogo elektroprivoda [Mathematical model of the formation of the reliability of the switch electric drive] // *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona*. – Irkutsk, 2016. – V. 1, P. 244-249.

12. Kopanev M.V., Kuchera L.YA. Modelirovanie strelochnogo elektroprivoda v srede MATLAB [Simulation of the electric drive of railway switches in MATLAB] // *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona*. – Irkutsk, 2016. – V. 1, P. 249-253.

13. Kopanev M.V., Kuchera L.YA. Vyyavleniye prichin otkazov strelochnykh elektroprivodov s ispol'zovaniyem ekspertnoy sistemy [Revealing the causes of failures of switch electric drives using an expert system] // *Transsib: na ostriye reform*. – Chita, 2016. – P. 230-234.

14. Kopanev M.V., Arsentiev M.O. Modeling of asynchronous traction motor operation modes while turning locomotive wheelsets bandages. Proceedings of the International Conference: Aviamechanical Engineering and Transport (AVENT 2018). doi.org/10.2991/avent-18.2018.37

15. Pulyakov A.V., Arsentiev O.V., Kopanev M.V., Alexeenko V.A., Arsentiev G.O., Shtykin E.S. Study of the operation of high-frequency electrical plants of railway consumers // Proceedings of the International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region (SibTrans-2019) 2020, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, V. 760 (2020). doi.org/10.1088/1757-899X/760/1/012028.

Информация об авторах

Монид Ольга Ивановна – студентка группы СОД.2-16-1, факультет «Системы обеспечения транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: monid_olya1998@mail.ru

Копанев Михаил Владимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kopanev_mv@irgups.ru

Кондратюк Татьяна Викторовна – студентка группы СОД.2-16-1, факультет «Системы обеспечения транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: nomnomnom123tanya1998@mail.ru

Authors

Monid Olga Ivanovna – student of the group SOD.2-16-1, Department of Transport Support Systems, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: monid_olya1998@mail.ru

Kopanev Mihail Vladimirovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automation, Telemechanics and Communication, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kopanev_mv@irgups.ru

Kondratyuk Tatiana Viktorovna – student of the group SOD.2-16-1, Department of Transport Support Systems, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: nomnomnom123tanya1998@mail.ru

Для цитирования

Монид О.И. Анализ причин и последствий действия грозových перенапряжений в системах ЖАТ. [Электронный ресурс] / О.И. Монид, М.В. Копанев, Т.В. Кондратюк // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2021. – №1. – Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/111-21>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

For citation

Monid O.I., Kopanev M.V., Kondratyuk T.V. Analiz prichin i posledstviy deystviya grozovykh perenapryazheniy v sistemakh ZHAT [Analysis of the causes and consequences of the action of lightning overvoltages in railway automation and telemechanics systems] *Elektronnyy resurs [Electronic resource] Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Young science of Siberia: electronic scientific journal]*, 2021, no. 1.