

БАБАЕВ М.М., д.т.н.(УкрДАЗТ);
ГРЕБЕНЮК В.Ю.,аспирант (УкрДАЗТ).

Анализ влияния электромагнитных факторов на работу рельсовых цепей

Введение

Непрерывное развитие мировой экономики влечет за собой расширение транспортных коридоров, которые должны дать экономике Украины максимальное ускорение товародвижения, снижение удельных транспортных издержек, а также вывести страну на новый уровень качества транспортных услуг.

Ключевыми задачами железнодорожного транспорта являются обеспечение безопасности движения поездов, увеличение пропускной способности перегонов и станций, улучшение качества обслуживания пассажиров, а также повышение эффективности перевозочного процесса. Решению этих задач способствуют системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ), которые предназначены для регулирования движения поездов. Благодаря данным системам обеспечивается оптимальное управление транспортными процессами, повышается пропускная способность железнодорожных линий, повышается уровень безопасности движения, а также улучшаются условия труда работников.

Перегонные системы СЖАТ осуществляют регулировку движения поездов на перегонах. К ним относят полуавтоматическую (ПАБ) и автоматическую блокировку (АБ), автоматические ограждающие устройства на переездах, автоматическую локомотивную сигнализацию (АЛС), системы диспетчерского контроля. К станционным системам СЖАТ относят электрическую централизацию стрелок и сигналов, диспетчерскую централизацию, а также автоматизацию сортировочных горок [1].

Диспетчерскую централизацию применяют для управления стрелками, сигналами и другими объектами станций одного или нескольких диспетчерских участков с центрального поста. Перегоны оборудуют устройствами автоблокировки. В качестве путевого датчика и телемеханического канала непрерывного типа в АБ, автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа (АЛСН), электрической и диспетчерской централизациях используют рельсовые цепи.

Актуальность

Для повышения безопасности движения поездов и автоматизации процесса управления движением подвижного состава необходимо своевременное получение точной первичной информации о состоянии путевых участков. В пределах перегонов и станций датчиком информации служат рельсовые цепи (РЦ) и точечные путевые датчики (ТПД). ТПД устанавливаются в системах полуавтоматической автоблокировки (ПАБ) и автоматической переездной сигнализации (АПС) для контроля прохождения колесных пар подвижного состава, в системах автоматического регулирования скорости (АРС) на сортировочных горках и в автоматических ограждающих устройствах на переездах – с целью определения скорости движения подвижной единицы [2]. В то же время, РЦ используют в качестве путевого телемеханического канала связи для передачи информации от напольных устройств на локомотив в системах автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа (АЛСН), а также для того, чтобы установить логическую связь

между смежными исполнительными распорядительными пунктами в кодовой автоблокировке (АБ) [1]. Поэтому работа РЦ и ТПД должна быть безопасной, устойчивой и надежной.

Повышенные требования к надежной работе РЦ предъявляются при воздействии на них следующих факторов: влияния помех тягового тока в рельсах, асимметрии тягового тока, влияния блуждающих токов, токов короткого замыкания, в условиях гололедных отложений на проводах контактной сети, а также при ударах молнии в рельсовую колею вблизи сигнальной установки. Все эти факторы оказывают отрицательное воздействие на функциональную безопасность РЦ и могут привести к опасным и мешающим сбоям в их работе, к отказам и неисправностям аппаратуры, а также к аварийности и травматизму обслуживающего персонала. В связи с тем, что РЦ выполняют важнейшие функции по регулированию движением поездов, задача по обеспечению их надежной работы является актуальной.

Анализ публикаций

Вопросы эксплуатации РЦ в тяжелых условиях рассмотрены в отечественных и зарубежных источниках. Большой вклад в исследование воздействий на работу РЦ внесли В.С. Аркатов, М.П. Бадер, К.Г. Марквардт. Влияние на работу РЦ помех и асимметрии тягового тока исследуется в работах [3, 16]. В работе [5] проанализированы некоторые причины возникновения асимметрии тягового тока. В [15] приведена оценка устройств защиты от грозовых и внутренних перенапряжений. Задачи повышения надежности РЦ в условиях влияния тягового тока и разработка средств защиты решаются в [8]. Работа РЦ в условиях гололедообразования на контактном проводе кратко рассмотрена в [9,10]. Комплексный подход к проблемам защиты приведен в работе [13].

Анализ данной литературы показывает, что возникает необходимость в более детальном исследовании электромагнитных воздействий на РЦ и оценке их последствий.

Основная часть

Рельсовые нити железнодорожного пути на участках с электрической тягой постоянного и переменного тока служат проводником для обратного тягового тока, сигнальных токов АБ и автоматической локомотивной сигнализации. Исходя из этого, в РЦ на электрифицированных участках необходимо обеспечить непрерывность электрической цепи для прохождения тягового тока с учетом разделения РЦ изолирующими стыками. Это достигается путем включения дроссель-трансформаторов (ДТ) на двухниточных РЦ или тяговых соединителей на однониточных РЦ, с помощью которых тяговый ток пропускается непрерывно по рельсовым нитям пути. Через путевые полуобмотки ДТ во встречных направлениях протекают тяговые токи первого и второго рельса, следовательно, магнитные потоки, которые создаются этими токами в сердечнике ДТ, направлены навстречу друг другу [3]. Если тяговые токи в рельсах равны, то магнитные потоки взаимно компенсируются. Через путевую обмотку ДТ в одном направлении протекает сигнальный ток, вследствие чего в ней создается напряжение, которое используется для работы рельсовой цепи. Но на практике тяговые токи в рельсах не равны и возникает асимметрия рельсовой линии. Как следствие, тяговый ток и его гармонические составляющие создают напряжение во вторичных обмотках ДТ, а оно, в свою очередь, влияет на устройства РЦ.

В кодовых двухниточных цепях тяговый ток проходит в одном направлении по обоим рельсовым нитям. На путевое импульсное реле гармоники тягового тока могут оказывать воздействие только в том

случае, когда гармонические токи в обеих нитях разные по величине. В этом случае на основных обмотках ДТ создается разность потенциалов гармонических токов, которая воздействует на путевое реле [4]. Причиной неравенства гармонических токов в рельсовых нитях кодовой цепи может быть асимметрия сопротивления рельсовых нитей или асимметрия их сопротивлений изоляции по отношению к земле. Таким образом, различают продольную и поперечную асимметрию рельсовых нитей соответственно.

Продольную асимметрию рельсовых линий объясняют элементы, которые создают целостность рельсовой линии: полуобмотки ДТ, стыковые соединители и прочие элементы рельсовой цепи. Разным сопротивлением рельсовых нитей может быть из-за плохого состояния стыковых соединителей или их отсутствия, а также вследствие изменения сопротивления стыков [5]. Поперечная асимметрия - асимметрия сопротивления рельсовых нитей по отношению к земле, которая возникает, в основном, по причине присоединения металлических опор контактной сети, мачт светофоров, мостов, релейных шкафов и других металлических конструкций железнодорожного транспорта, которые расположены вблизи к одному из рельсов. Такое присоединение должно быть по условиям техники безопасности, а также для надежного срабатывания защиты при коротких замыканиях в контактной сети. Неравномерное распределение гармонических токов значительно зависит от асимметрии сопротивления рельсовых нитей относительно земли. Самая большая неравномерность распределения возникает зимой при высоком сопротивлении балласта, когда при низком сопротивлении изоляции заземленной рельсовой нити возможно высокое сопротивление изоляции другой нити [3].

В постоянном тяговом токе присутствуют переменные составляющие – высшие гармоники тока промышленной ча-

стоты. Кроме постоянной составляющей, в кривой выпрямленного напряжения содержатся гармоники переменного тока, т. е. составляющие с частотой 300 Гц и кратные ей гармоники (600, 900, 1200 Гц и т. д.). При прохождении по рельсовым нитям токи гармонических составляющих оказывают опасное и мешающее влияние на работу устройств железнодорожной автоматики (ЖАТ). На тяговых подстанциях для подавления этих гармоник применяют сглаживающие фильтры, которые снижают пульсации гармоник в кривой тягового тока [6]. Недостатком сглаживающих фильтров является то, что гармоники низкого порядка: 100, 150 и 200 Гц не только не подавляются фильтрами, но и иногда усиливаются.

При ложном контроле свободности изолированного участка возникает опасное влияние из-за того, что создаются опасные положения, следовательно, становится возможным принятие поезда на занятый путь или перевод стрелки под составом. На однопутных цепях с детекторными реле ложный контроль может возникнуть вследствие попадания гармоник в момент шунтирования в путевое реле, тем самым препятствуя отпаданию его якоря.

В зависимости от уровня помехи гармоники тягового тока могут оказывать мешающее или опасное воздействие на кодовые цепи. Вследствие мешающего воздействия гармонических токов на кодовые цепи нарушается нормальная работа импульсных путевых реле из-за того, что интервалы кода заполняются гармониками тягового тока. Таким образом, в интервалах кода импульсное реле или перестает отпускать якорь или отпускает его со значительным замедлением, следовательно, нарушается работа дешифратора и появляется красный огонь на сигнале. Внешне мешающее воздействие гармонического тока на кодовые цепи проявляется в том, что при приближении идущего под током электровоза к проходному свето-

фору автоблокировки горящий на светофоре желтый или зеленый огонь изменится на красный [7]. В случае отключения машинистом тягового тока снова загорается разрешающий огонь светофора. Причиной смены показания светофоров при отсутствии поезда вблизи сигнала является проявление мешающего влияния гармоник тягового тока, возвращающихся из земли в рельсы к минусовому полюсу подстанции. Это происходит в тех местах, где соединяются рельсы с обратным фидером тяговой подстанции. Обычно мешающее воздействие гармонического тока на кодовые цепи проявляется тогда, когда гармонический ток больше тока отпущения якоря импульсного реле или почти равен ему и препятствует отпущению якоря реле в интервалах кода.

В том случае, когда гармонические помехи невысокого уровня и не могут препятствовать отпаданию якоря реле в интервалах кода, проявляется опасное воздействие гармоник тягового тока на кодовые цепи. При этом в период импульса тока помех будут притягивать якорь реле, таким образом, уменьшая ток срабатывания реле, и, следовательно, уменьшая коэффициент надежного возврата импульсного путевого реле [6]. Это может привести к уменьшению чувствительности кодовой цепи к шунту и к поврежденному рельсу. При некоторых аварийных ситуациях на участках с электротягой переменного тока напряжение, которое создается в аппаратуре рельсовой цепи тяговым током, может быть опасным для обслуживающего персонала, а также может привести к неисправностям приборов РЦ.

Проблема защиты РЦ от влияния тягового тока при этом решается методом симметрирования рельсовой линии путем включения симметрирующих резисторов [8]. Недостатком данного метода являются большие потери мощности.

На участках с электротягой переменного тока значительное влияние гармоник

возникает в период гололеда на контактной сети. Совокупность определенных метеорологических факторов, таких как влажность и температура воздуха, скорость ветра и др., приводит к формированию гололедных отложений разных видов на проводах контактной сети электрифицированных железнодорожных линий [9]. Отложения разной формы приводят к различным последствиям. Например, при длительных перерывах между поездами могут откладываться большие накопления льда на контактном проводе. Из-за утяжеления на провода создаются дополнительные механические нагрузки, вызывающие их обрыв, к тому же ухудшается качество токосъема, которое сопровождается отрывами токоприемника от контактного провода. Вследствие этого появляются дуговые разряды со значительными токами, которые обуславливают возможность пережога провода и повреждения токоприемников.

Во время обледенения проводов постоянно нарушается контакт между токоприемником электровоза и контактном проводом. Система электровоз-подстанция работает в режиме постоянного переходного процесса и, следовательно, в РЦ возникает аperiodическая постоянная составляющая, которая появляется из-за скачков тока намагничивания в электровозных трансформаторах подстанции [10]. Скачки тока достигают предела срабатывания релейных защит. В асимметричной РЦ осуществляется подмагничивание ДТ, у которого нет воздушного зазора в магнитопроводе. Вследствие этого происходит насыщение магнитопровода ДТ, уменьшается коэффициент трансформации и понижается индуктивное сопротивление обмоток. Значительная асимметрия может привести к уменьшению напряжения на путевом реле до величины отпадания или несрабатывания якоря, а также к появлению запрещающего сигнала.

Для устранения обледенения осуществляют подогрев проводов контактной сети путем пропускания по ним электрического тока от тяговой подстанции [9]. Однако к недостаткам такого метода очистки от обледенения относят: во-первых, необходимость прекращения движения поездов на данном участке, во-вторых, обязательность установления датчиков обнаружения инея. К тому же нагревание проводов при скорости ветра более 10 м/с практически не дает никакого эффекта. Механически гололед с контактных проводов удаляют с помощью гололедоочистительных установок, а также токоприемниками с вибрационной установкой [10]. Наиболее эффективной мерой борьбы является совместное применение электрического и механического способа устранения гололеда.

Не менее опасное влияние на работу РЦ оказывают перенапряжения. Внезапные повышения напряжений на изоляции оборудования сверх максимально допустимого рабочего напряжения приводят к перегоранию предохранителей, выходу из строя отдельных блоков и реле с полупроводниковыми элементами, а также к повышенному травматизму рабочего персонала.

По своей природе перенапряжения бывают двух видов: атмосферные (грозовые) и внутренние [11]. Атмосферные перенапряжения возникают при ударах молнии в электротяговые устройства, кабель (перенапряжения прямого удара) или наведенные в проводах грозowymi разрядами, происшедшими вблизи железной дороги (индуктированные перенапряжения). Железнодорожная колея имеет низкий уровень изоляции, при которой атмосферные перенапряжения по рельсам распространяются с большим затуханием, поэтому для путевых приборов АБ и АЛСН наиболее опасными являются прямые удары молнии в рельсовую колею вблизи сигнальной установки [12]. На участках с электротягой рельсовая колея

экранирована от ударов молнии по всей протяженности контактным проводом и опорами контактной сети, а на станциях – различными зданиями. На участках с автономной тягой прямым ударам молнии наиболее подвержены перегонные сигнальные установки, которые расположены, обычно, на открытой местности.

При прямых ударах молнии атмосферные перенапряжения могут достигать 1000 кВ при токе молнии 200 кА. В большинстве случаев разряд молнии несет к земле отрицательный заряд. Большая часть наблюдаемых молний содержит два-три повторных разряда по одному каналу с паузами между ними 0,03-0,05 с. Количество повторных разрядов иногда достигает 20-25, а общая длительность такой многократной молнии составляет 1,2- 1,5 с. Разряд молнии, который состоит из серии отдельных импульсов, продолжается не более долей секунды. Длительность отдельного импульса составляет десятки микросекунд [13].

Индуктированные перенапряжения распространяются по проводам линий электропередачи и кабельным сетям и могут достигать 100 кВ. Внутренние перенапряжения являются следствием резких изменений режима работы электросетей. Они возникают при различных нормальных аварийных коммутациях и нарушениях в системе электроснабжения. Величина, которая характеризует внутренние перенапряжения – кратность k , представляет отношение максимального напряжения относительно земли к номинальному фазному напряжению [14]. Последствия от таких перенапряжений весьма опасны: короткие замыкания и пожары могут угрожать жизни и здоровью работников, а также отказам устройств защиты. На сегодня одним из самых перспективных методов защиты от перенапряжений является внедрение устройств бесперебойного питания [15]. Тем не менее, широкому применению препятствует дороговизна данных устройств.

При эксплуатации системы электропитания в тяговой сети в результате определенных повреждений и ошибок обслуживающего персонала могут образовываться гальванические соединения контактной сети с рельсами – короткие замыкания (КЗ) [6]. КЗ характеризуются значительными увеличениями силы тока, протекающего в цепи, что приводит к значительному тепловыделению, и как следствие, термическому повреждению устройств или электрических проводов, вплоть до возникновения пожара. Также негативными последствиями КЗ могут быть нарушение функционирования системы электропитания в целом, снижение питающего напряжения, возникновение асимметрии напряжений, нарушающей нормальное электропитание и др.

В зависимости от места КЗ и от того, каким образом оно произошло, ток короткого замыкания будет иметь большие или меньшие значения. Большие токи КЗ легко отличить от токов нагрузки и создать токовую защиту, которая будет вызывать отключение выключателей, питающих поврежденную зону. Тем не менее в тяговой сети могут возникать токи КЗ, которые близки к максимальным токам нормальных нагрузок или меньше их. Малые токи КЗ также необходимо быстро отключать, потому что при длительном воздействии они вызывают перегрев и, следовательно, потерю проводами механической прочности. Как правило, в месте повреждения возникает электрическая дуга, которая приводит к усугублению повреждения в месте КЗ, если цепь КЗ не будет быстро разорвана. К тому же при КЗ поврежденный участок невозможно эксплуатировать. Трудность защиты от малых токов заключается в том, что их невозможно отличить по значению от токов нагрузки, и таким образом построить защиту.

Основными устройствами защиты от КЗ являются быстродействующие выключатели или аналогично работающие ко-

роткозамыкатели, которые отключают поврежденную КЗ часть участка [11].

Еще одним фактором, отрицательно влияющим на работу РЦ, является наличие блуждающих токов. Рельсы через шпалы или другие металлические конструкции соединены с землей, а значит в цепь, которая питает локомотивы, включаются не только рельсы, но и параллельно присоединенные к ним земля и другие подземные сооружения [17]. Эта особенность приводит к тому, что падение напряжения, вызванное протеканием тока по рельсам, приводит к возникновению потенциалов относительно земли. Как следствие, все металлические сооружения, которые электрически соединены с рельсами, получают тот же потенциал. Потенциалы относительно земли на дорогах постоянного тока иногда выходят за пределы 100 В, в определенных условиях такие напряжения могут быть опасными: как для устройств ЖАТ, так и для людей, работающих на данном участке пути. При возникновении разности потенциалов между любыми точками грунта, которая вызвана каким-либо источником тока, между ними будет протекать электрический ток. Обычно этот ток протекает не по кратчайшему геометрическому пути между точками, а некоторым сложным образом охватывая толщу грунта, ответвляется в пласты, которые обладают наименьшим электрическим сопротивлением. Таким образом, ток, как бы «блуждая», находит пути с наибольшей проводимостью [11]. Часто блуждающие токи фиксируют в земле на большом расстоянии от их источника. Это объясняется тем, что в слабоэлектропроводных грунтах зона распространения блуждающих токов сильно увеличивается, а чем больше электропроводен грунт, тем меньше район их распространения. Источники ЭДС, которые включают в рельсовую сеть с целью уменьшения потенциалов рельсов и защиты металлических подземных сооруже-

ний, также могут быть причинами возникновения блуждающих токов.

Ток, который стекает с рельсов или с соединенных с ними конструкций, связанных с землей, называют током утечки [6]. Токи утечки суммируются в земле, а потом создают поле блуждающих токов электрифицированных участков. Протекание тока по рельсам из места расположения нагрузки в место расположения подстанции приводит к смещению потенциалов рельсов в область отрицательных значений вблизи подстанции, из чего следует образование анодной и катодной зон. Стеkanie тока с рельсов в землю происходит в анодной зоне, возврат тока из земли в рельсы – в катодной. На подземном сооружении катодная зона образуется вблизи нагрузки, а анодная – вблизи подстанции. Значения блуждающих токов, так же, как и расположение зон их протекания, зависят от многих факторов: проводимости и структуры грунта, наличии подземных сооружений, графика движения поездов, состояния рельсовой сети, железнодорожного полотна и др.

Блуждающие токи могут частично попадать в различные металлические сооружения, которые расположены вблизи электрифицированных железных дорог: подземные трубопроводы и кабели, фундаменты контактной сети и др. Вытекая из них, блуждающие токи создают электрокоррозийное разрушение сооружений и конструкций, чем наносят значительный материальный ущерб.

Эффективной мерой снижения влияния тягового тока является вентильное секционирование рельсовой сети. Также для уменьшения потенциала в рельсах используют путевой источник тока, который является вольтодобавочным устройством, включаемым в рельсы [11]. Этот источник вызывает в земле токи, противоположные блуждающим токам. Недостатком является применение большого количества таких устройств. Более эффективным для значительного снижения коррозионного влияния

блуждающих токов является использование системы электроснабжения на переменном токе промышленной частоты [17].

Вывод

Учитывая то, что РЦ являются основным элементом устройств ЖАТ, повышение надежности работы РЦ требует значительного внимания, особенно в условиях влияния на нее электромагнитных факторов. Проанализировав негативные последствия действия помех тягового тока в рельсах, асимметрии тягового тока, блуждающих токов, обледенения проводов, токов короткого замыкания, атмосферных и внутренних перенапряжений, является актуальным более детальное исследование факторов, влияющих на работу РЦ, для снижения их отрицательного воздействия, а также усовершенствование существующих РЦ с целью уменьшения подверженности влиянию электромагнитным факторам.

Список литературы

1. Сороко, В.И. Автоматика, телемеханика, связь и вычислительная техника на железных дорогах России: Энциклопедия: в 2 т. Т. 1. [Текст] / В.И. Сороко, В.М. Кайнов, Г.Д. Казиев. – М.: НПФ «Планета», 2006. — 736 с.
2. Бухгольц, В.П. Путевые датчики контроля подвижного состава на рельсовом транспорте [Текст] / В.П. Бухгольц, Г.А. Красовский, А.Э. Штанке. – М.: Транспорт, 1976. – 96 с.
3. Кравцов, Ю.А. Оценка воздействия асимметрии на работу РЦ [Текст] / Ю.А. Кравцов, Ю.И. Зенкович, В.С. Сафро и др. // Автоматика, связь, информатика. – 2007. - №7. - С. 30-32.
4. Кравцов, Ю.А. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст]: учеб. для вузов / Ю.А. Кравцов, В.Л. Нестеров, Г.Ф. Лекута и др.; под общ. ред. Ю.А. Кравцова. М.: Транспорт, 1996. – 400 с.

5. Машенко, П.Е. Тяговый ток в рельсовой цепи: зависимости и влияния [Текст] / П.Е. Машенко // Мир транспорта. – 2009. - №4. – С. 44-49.
6. Аркатов, В.С. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание [Текст] / В.С. Аркатов, Ю.А. Кравцов, Б.М. Степенский. – М.: Транспорт, 1990. – 295 с.
7. Бадер, М.П. Электромагнитная совместимость [Текст]: учеб. для вузов железнодорожного транспорта / М.П. Бадер. – М.: УМК МПС, 2002. – 638 с.
8. Разгонов, С.А. Підвищення надійності роботи рейкових ланцюгів в умовах впливу перешкод тягового струму та нестабільності напруги в мережі живлення [Текст]: Дис... канд. техн. наук: / С.А. Разгонов. – Х., 2011. – 178 с.
9. J. Menuet. Revue Générale des Chemins de Fer. 2001. № 4, p. 9 – 14. Система борьбы с обледенением проводов контактной сети [Электронный ресурс] / Железные дороги мира. – 2002. – № 11. – Режим доступа: <http://www.css-rzd.ru/zdm/11-2002/02117.htm>. - Загл. с экрана.
10. Чекулаев, В.Е. Бесперебойная работа контактной сети при гололеде [Текст] / В.Е. Чекулаев // Локомотив. – 2007. - № 1. – С.58-60.
11. Марквардт, К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст]: 4-е издание, переработанное и дополненное / К.Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
12. Аркатов, В.С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог [Текст]: Справочник – 3-е издание, переработанное и дополненное / В.С. Аркатов, Ю.В. Аркатов, С.В. Казеев, Ю.В. Ободовский. – М.: «ООО Миссия-М», 2006. – 496с.
13. Попов, Д.А. Комплексный подход к проблемам защиты [Текст] / Д.А. Попов // Автоматика, связь, информатика. – 2011. - №4. - С. 32-36.
14. Закарюкин, В.П. Техника высоких напряжений [Текст]: Конспект лекций. – Иркутск: ИрГУПС, 2005. – 137 с.
15. Кравченко К.В. Защита систем ЖАТ от грозových и коммутационных перенапряжений [Текст] / Автоматика, связь, информатика. – 2011. - №4. - С. 25-28.
16. Tuttas, Ch. Electriche Bahnen [Text] / Ch. Tuttas // 2001, - № 6/7, - S. 262-267.
17. Котельников, А.В. Блуждающие токи электрифицированного транспорта [Текст] / А.В. Котельников. - М.: Транспорт, 1986. – 279 с.

Аннотации:

Ключевые слова: рельсовые цепи, тяговый ток, асимметрия тягового тока, блуждающие токи, короткое замыкание, перенапряжения, гололедные отложения на проводах контактной сети.

В статье проведен анализ электромагнитных факторов, влияющих на работу рельсовых цепей (РЦ). Также приведена оценка последствий их отрицательного воздействия на функциональную безопасность РЦ, что позволило выявить необходимость в усовершенствовании существующих РЦ с целью их защиты от негативного влияния и обеспечения надежной и устойчивой работы систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

У статті проведено аналіз електромагнітних факторів, що впливають на роботу рейкового кола (РК). Також наведено оцінку наслідків їх негативного впливу на функціональну безпеку РК, що дозволило виявити необхідність в удосконаленні існуючих РК з метою їх захисту від негативного впливу і забезпечення надійної і стійкої роботи систем залізничної автоматики і телемеханіки.

The article analyzes the electromagnetic factors that affect the track circuits (TC). Also give an estimate of the consequences of their negative impact on the functional safety of the TC, which revealed a need for improvement of existing TC to protect them from negative influences and ensure reliable and stable operation of the systems of railway automatics and telemechanics.