

**Министерство высшего и средне – специального
образования Республики Узбекистан
Государственная акционерная железнодорожная
компания
«Узбекистон темир йуллари»
Ташкентский институт инженеров транспорта**

Кожарин А.И.

«Методы контроля контактных подвесок на скоростных
участках движения»

Магистерская диссертация по специальности
5А520205 – электроснабжение (в предприятиях
железной дороги) .

**Научный руководитель
к.т.н. доц. Назирова З.Г.**

Ташкент 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	7
1.1. Развитие скоростного движения в Узбекистане и ведущих странах мира.....	7
1.2. Скоростные контактные подвески, применяемые в Узбекистане и за рубежом	13
1.3. Задачи диагностики объектов электроснабжения	20
Выводы по первой главе.....	26
2. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СКОРОСТНЫХ КОНТАКТНЫХ ПОДВЕСОК.....	27
2.1. Требования к скоростным контактным подвескам	27
2.2. Анализ повреждаемости узлов контактных подвесок на сети железных дорог.....	32
2.3. Статистическая оценка отказов элементов контактной сети.....	37
Выводы по второй главе.....	45
3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СКОРОСТНЫХ КОНТАКТНЫХ ПОДВЕСОК.....	45
3.1. Анализ элементов контактной сети как объектов диагностирования.....	45
3.2. Анализ традиционных и перспективных методов и средств технического диагностирования элементов контактной сети.....	52
3.3. Устройство вагона - лаборатории ВИКС.....	61
Выводы по третьей главе.....	66
4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ДИГНОСТИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА БАЗЕ ВИКС.....	67
4.1. Результаты диагностирования контактной сети на Узбекских	

железных дорогах на базе ВИКС.....	67
4.2. Составление математической модели для исследования данных о контактных подвесках.....	73
4.3. Оценка достоверности и эффективности компьютерной диагностики системы на базе ВИКС	82
Выводы по четвертой главе.....	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	103
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	105
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	109

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Важнейшую роль в техническом перевооружении железнодорожного транспорта играет электрификация железных дорог, позволяющая повысить скорость движения поездов, а, следовательно, сократить время доставки грузов и пассажиров.

В настоящий период растет протяженность электрифицированных железных дорог и происходит интенсификация процесса перевозок, учреждаются перевозки поездами большой массы и повышенной скорости, что в значительной степени увеличивает нагрузку на контактную сеть. При этом наряду с новыми участками электрифицированных железных дорог сохраняются и такие, на которых часть электрооборудования выработала свой ресурс на 60— 70% и более. И в связи с этим особенно актуальной становится проблема повышения надежности и эффективности работы контактной сети. Научно обоснованный переход к стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования контактной сети по его фактическому состоянию в значительной степени влияет на их надежную работу.

Одной из причин появления неисправностей контактной сети, в значительной степени объясняется недостаточностью предупредительных мер со стороны работников дистанций электроснабжения, низкой эффективностью использования современных технических средств диагностирования.

В настоящее время существующая технология диагностики контактной сети, в основном ориентирована на ручных измерениях, трудоемких, малоэффективных и не удовлетворяющих потребностей железных дорог в надежной и безаварийной работе оборудования контактной сети. Опыт диагностики энергетического и электротехнического оборудования для высокоскоростных магистралей ведущих стран свидетельствует о том, что наиболее перспективными для

задач дистанционной диагностики контактной сети являются цифровые приборы и системы, обеспечивающие мобильную оперативную регистрацию и обработку объектов диагностирования с одновременным получением их видеоизображений. В этой связи вагоны-лаборатории исследования контактной сети начали играть ведущую роль в диагностике контактных подвесок на скоростных участках движения.

Обеспечение перехода к стратегии технического обслуживания и ремонта контактной сети по ее фактическому состоянию является важным и необходимым шагом к повышению надежности и эффективности эксплуатации электрифицированных железных дорог Узбекистана.

Целью диссертационной работы является анализ технического обеспечения мобильной системы диагностирования контактной сети на базе ВИКС для обеспечения перехода к стратегии технического обслуживания и ремонта контактной сети по ее фактическому состоянию, дальнейшему повышению ее надежности и эффективности, а также построение математической модели для исследования данных полученных в результате ее диагностики.

Апробация работы. Основные результаты и выводы по магистерской диссертации доложены и обсуждены на:

- X Межвузовской научно-практической конференции студентов бакалавриата и магистратуры, стажёров и соискателей «Молодой научный исследователь» (Ташкент ТашИИТ -2012г)
- Научном семинаре «Актуальные вопросы высокоскоростного движения поездов» (Ташкент ТашИИТ -2012г)

Структура и объем диссертации Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, заключения, списка использованной литературы, содержащего 33 отечественных и зарубежных источников и приложений. Работа изложена на 109 страницах компьютерного текста, содержит 20 рисунков, 7 таблиц.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

1.1. Развитие скоростного движения в Узбекистане и ведущих странах мира

История развития регулярного высокоскоростного движения поездов в мире начинается с 1964 года в Японии.

Необходимо отметить, что высокоскоростные железнодорожные сообщения с эксплуатационной скоростью движения поездов до 300 км/ч и более понемногу становятся обычным явлением в цивилизованных странах и приобретают все большую популярность не в последнюю очередь благодаря высокому уровню безопасности. Трудно поверить, но высокоскоростные магистрали, по которым за 40 с небольшим лет перевезено более 6 млрд. пассажиров, до настоящего времени остаются абсолютно безопасными.

За время независимости Узбекистана одним из важных достижений в развитии экономики явилось создание эффективной системы транспорта, в том числе железнодорожного, позволяющей осуществлять пассажирские и грузовые перевозки внутри республики исключительно по ее территории. Для этого было реализовано множество высокотехнологичных проектов. В частности, налаживание по инициативе главы нашего государства движения высокоскоростных поездов в стране стало новым этапом развития транспорта и дальнейшего улучшения качества обслуживания пассажиров.

Сроки реализации основных мероприятий по организации скоростного и высокоскоростного движения на железных дорогах Узбекистана разделены на 4 этапа: 2011-2015 г.г. - первоначальный этап, связанный с подготовкой и внедрением высокоскоростного движения (ВСД) электропоезда Talgo-250 на полигоне направления Ташкент-Самарканд; 2016-2020 гг. - на этом этапе сфера ВСД будет расширена за

счет направления на участке Ташкент-Бухара, с остановками на станциях Самарканд, Каттакурган и Навои. Скоростное движение - на направлении пригородного движения Ташкент – Ходжикент; 2021-2025гг - ВСД будет расширено на направлении Ташкент-Карши, с остановками на станциях Джизак и Самарканд; до 2035 года - развитие скоростного движения на направлениях Ташкент-Навои-Ургенч, с остановками на станциях Мискен, Зарафшан, Навои, Каттакурган, Самарканд и Джизак. И на направлении Ташкент-Андижан, с остановками в Ангрене, Коканде, Фергане, Андижане и Намангане. При этом продолжится переход отечественных железных дорог на экологически чистый и экономически выгодный вид тяги – электрический.

Для организации и развития скоростного движения сотрудниками ГАЖК проведена большая работа по модернизации и реконструкции инфраструктуры железнодорожного транспорта, продолжающаяся и в настоящее время.

На долю современных скоростных электровозов ежегодно приходится более 43% пассажирских и 30% грузовых перевозок. Мощные и скоростные электровозы отвечают современным международным стандартам и нормам, имеют надежные двигатели, системы тормозов, связи, охлаждения и отопления пассажирских вагонов. С их помощью скорость движения поездов можно увеличить до 160 километров в час, а комплекс мер по совершенствованию инфраструктуры обеспечит безопасность движения. Важно отметить и то, что система двигателей на электровозах из Китая не только позволяет сократить потребление электроэнергии, но и обеспечивает возврат сэкономленной электроэнергии в тяговую сеть, тем самым, снижая затраты.

В ГАЖК «Узбекистан темир йуллари» уже накоплен опыт эксплуатации и технического обслуживания современных электровозов, отлажена система подготовки специалистов. Расширение парка скоростных электровозов открывает перед компанией новые перспективы

в увеличении объемов пассажирских и грузовых перевозок, повышении их качества, что и является основной целью реформ, проводимых в одной из важнейших отраслей экономики страны.

В канун 20-летия независимости нашей республики ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» было налажено движение скоростного электропоезда «Afrosiyob» по маршруту Ташкент — Самарканд испанской компании Patentes Talgo S. A. (Мадрид). Это результат независимости, плод дружественного сотрудничества Узбекистана и Испании.

Испанская машиностроительная компания «Тальго» специализируется на разработке, производстве и обслуживании поездов локомотивной и мотор-вагонной тяги для высокоскоростного, дальнего и регионального сообщения, а также оборудования для обслуживания железнодорожного подвижного состава и систем автоматического изменения ширины колеи. Система «Тальго» обеспечивает автоматическую перестановку колес на другую колею при безостановочном движении состава по специальному переводному устройству со скоростью до 15 км/ч. Она позволяет эксплуатировать подвижной состав как в пассажирских, так и в грузовых перевозках в международном сообщении по дорогам колеи различной ширины, будь то испанский (1668 мм) и европейский стандарты (1435 мм), или же российский (1520 мм) и европейский. Современные поезда Talgo положительно зарекомендовали себя в дальних сообщениях на главных линиях Испании, где развивают скорость до 220 км/ч. Кроме того, они эксплуатируются на сетях США, Германии, Финляндии и Казахстана. В высокоскоростных сообщениях поезда Talgo могут эксплуатироваться со скоростью до 350 км/ч. Электропоезд состоит из двух локомотивов, восьми пассажирских вагонов и одного вагона-ресторана. Он движется со скоростью 250 километров в час. Вместимость пассажиров 215 человек. Эти сведения показывают потенциал нашей страны, которая смогла первой наладить движение высокоскоростного поезда.

Скорость, надежность и комфортабельность поездов «Afrosiyob» привлекают всеобщее внимание, ведь он является единственным не только в Центральной Азии, но и во всем СНГ. Расстояние от Ташкента до Самарканда поезд покрывает за 2 часа.

Налаживание движения высокоскоростного поезда «Afrosiyob» является осуществлением программы развития транспортных коммуникаций, а так же началом нового этапа в истории железной дороги.

Развитие высокоскоростного движения поездов также не прекращается и во всем мире.

В 2012 году протяженность скоростных железнодорожных магистралей в Китае достигла 13 тыс. км, при этом 8 тыс. км путей будут обеспечивать скорость 350 км/час, а 5 тыс. км. — 250 км/час. Планируется, что к 2020 году общая протяженность эксплуатируемых скоростных железных дорог достигнет более 18 тыс. км. На скоростной железнодорожной магистрали, соединяющей города Ухань и Гуанчжоу (административные центры провинций Хубэй и Гуандун) протяженностью 1068,6 километра курсирует поезда нового поколения CRH380A, которые способны развивать скорость до 380 км/час.

Разработанный и произведенный в Китае поезд CRH380A является самым быстрым в мире. Крейсерская скорость поезда составляет 350 км/час. В 2010 году поезд установил мировой рекорд, развив эксплуатационную скорость до 416,6 км/час [1].

В России в конце 2009 г. спустя полвека после пуска первого высокоскоростного пассажирского поезда в мире запустила в коммерческий рейс свой первый скоростной состав из Москвы в Санкт-Петербург. Состав Siemens Velaro (по русски «Сапсан»), установил российский рекорд скорости на железных дорогах – 250 км/ч, он находится в пути 3 ч 55 мин вместо обычных 4 час 30 мин. «Сапсан» стал символом инноваций в технологическом развитии России.

С 30 июля 2010 г. начал ходить высокоскоростной поезд Санкт-Петербург – Москва – Нижний Новгород. Был запущен рейс Санкт-Петербург – Хельсинки, поезд: Alstom Pendolino (другое название – Allegro). Время в пути: 3 ч вместо обычных 5 ч 30 мин, максимальная скорость: 220 км/ч.

Согласно официальной стратегии развития железнодорожного транспорта, к 2030 г. протяженность скоростных линий (со скоростью 200–350 км/ч) составит свыше 1 500 км [2].

В Италии к настоящему времени готовы линии Рим — Неаполь длиной 205 км и Турин — Милан длиной 125.

Во Франции на основе исследований и испытаний в 1976 г. была закончена разработка проекта первой французской ВСМ TGV Sud-est (Юго-восток, фр.) длиной 410 км Париж — Лион, строительство которой завершилось в 1981 г.

В 1989 г. была построена вторая ВСМ TGV Atlantique (Атлантическая, фр.) длиной 490 км Париж — Ле-Ман — Нант — Рен, рассчитанная на движение поездов со скоростью до 350 км/ч. Затем были введены в эксплуатацию магистрали TGV Nord (Север, фр.) длиной 332 км в направлении Бельгии и тоннеля под Ла-Маншем, TGV Réseau (Сеть, фр.) длиной 102 км вокруг Парижа, которая связала в единую сеть высокоскоростные линии Франции и ряда других стран, а также TGV Rhône-Alpes (Рона — Альпы, фр.) длиной 122 км Лион — Валанс. В 2001 г. завершено строительство TGV Méditerranée (Средиземноморская, фр.) длиной 250 км от Валанса до Марселя. С открытием этой ВСМ создан непрерывный коридор для движения поездов семейства TGV по специализированным магистралям через всю страну от Ла-Манша до Средиземного моря (в мае 2001 г. поезд TGV R преодолел по этому коридору расстояние 1067 км от Кале до Марселя за 3 ч 29 мин, установив новый рекорд маршрутной скорости). В дальнейшем планируется продолжить TGV Méditerranée на 45 км до Монпелье, а затем далее

до границы с Испанией для соединения со строящейся в Испании ВСМ Мадрид — Барселона — граница с Францией. В настоящее время строится TGV Est (Восток, фр.) длиной 406 км от Парижа в направлении Страсбура, которую впоследствии намечено продолжить в Германию.

Общая протяженность ВСМ Франции приближается к 2000 км. Однако поезда TGV обращаются также по маршрутам общей длиной более 6000 км, проходящим и по обычным (не высокоскоростным) реконструированным линиям.

Первая в Германии ВСМ Мангейм — Штутгарт длиной 99 км введена в эксплуатацию в 1991 г., затем были построены линии Ганновер — Вюрцбург (326 км) и Ганновер — Берлин (265 км). В 2002 г. открыта ВСМ Кёльн — Франкфурт-на-Майне (215 км), завершается сооружение линии Нюрнберг — Ингольштадт (88 км).

Первая высокоскоростная магистраль в Испании длиной 471 км Мадрид — Севилья нормальной колеи с электрификацией ее на переменном токе 2х25 кВ, 50 Гц была введена в эксплуатацию в 1992 г. В 2007 закончено строительство новой ВСМ Мадрид — Барселона длиной примерно 600 км. В настоящее время в Испании строится больше высокоскоростных магистралей (в общей сложности 870 км), чем в любой другой стране мира. Среди них продолжение ВСМ от Барселоны до Фигераса на границе с Францией, высокоскоростные линии в направлении на Аликанте, Мурсию и Картахену, в Астурию и Страну басков.

Создание высокоскоростного подвижного состава требует соединения самых передовых технологий и высокой квалификации всех причастных специалистов железных дорог и промышленных компаний, неоднократной проверки технических решений и вариантов, своевременной диагностики всех элементов ВСМ. Одним из важных элементов играющих большую роль в увеличении скоростей движения является качество, надежность и безопасность контактной подвески [3].

1.2. Скоростные контактные подвески применяемые в Узбекистане и за рубежом

Состояние скоростных подвесок существенно влияет на осуществление движения.

Контактная сеть являясь сложным техническим сооружением электрифицированных железных дорог, состоит из постоянных и переменных элементов. К постоянным элементам относятся опоры и анкеры, жесткие и гибкие поперечины, несущие и рессорные тросы, усиливающие и питающие провода, поддерживающие конструкции, компенсирующие устройства, изоляция, арматура и оборудование [4].

Известно, что контактная сеть выполняет две основные задачи. Во-первых, она служит для распределения тяговой энергии, а во-вторых, обеспечивает ее передачу через скользящий контакт в экстремальных условиях. Экстремальность условий объясняется тем, что в отличие от скользящего контакта в электрических машинах или стационарном электрическом оборудовании здесь приходится считаться с колебаниями токоприемника и контактной подвески. Двойная функция контактной сети обуславливает интенсивные электрические и механические нагрузки.

Тем не менее по техническим и экономическим соображениям контактная сеть является единственным звеном системы электрической тяги, которое не может быть резервировано. Выход из строя контактной сети или ее отдельных компонентов ведет к остановке движения поездов на соответствующем пути или участке.

Высокое качество и надежность контактной сети, а также эффективные методы проектирования и монтажа существенно снижают капитальные и эксплуатационные затраты.

Контактная подвеска – одна из основных частей контактной сети, представляет собой систему проводов, взаимное расположение которых, способ механического соединения, материал и сечение обеспечивают

необходимое качество токосъема. Конструкция контактной подвески (КП) определяется экономической целесообразностью, эксплуатационными условиями (максимальной скоростью движения ЭПС, наибольшей силой тока, снимаемого токоприемниками), климатическими условиями [5].

Необходимость обеспечения надежного токосъема при возрастающих скоростях движения и мощности ЭПС определила тенденции изменения конструкций подвесок: сначала простые, затем одинарные с простыми струнами и более сложные – рессорные одинарные, двойные и специальные, в которых для обеспечения требуемого эффекта, главным образом выравнивания вертикальной эластичности (или жесткости) подвески в пролете, используются пространственно-вантовые системы с дополнительным тросом или другие.

Качество токосъема во многом определяется стрелой провеса провода, зависящей от результирующей нагрузки на провод, которая складывается из собственного веса провода (при гололеде вместе со льдом) и ветровой нагрузки, а также от длины пролета и натяжения провода. На качество токосъема большое влияние оказывает угол α (чем он меньше, тем хуже качество токосъема), значительно изменяется контактное нажатие, появляются ударные нагрузки в опорной зоне, происходит усиленный износ контактного провода и токосъемных вставок токоприемника.

Контактный провод подвешен к несущему тросу с помощью струн. Подвеска, состоящая из несущего троса и контактного провода, называется одинарной; при наличии вспомогательного провода между несущим тросом и контактным проводом – двойной. В цепной подвеске несущий трос и вспомогательный провод участвуют в передаче тягового тока, поэтому они соединены с контактным проводом электрическими соединителями либо токопроводящими струнами.

Основной механической характеристикой контактной подвески принято считать эластичность – отношение высоты подъема контактного

провода к приложенной к нему и направленной вертикально вверх силе. Качество токосяема зависит от характера изменения эластичности в пролете: чем она стабильнее, тем лучше токосяем. В простых и обычных цепных подвесках эластичность в середине пролета выше, чем у опор. Выравнивание эластичности в пролете одинарной подвески достигается установкой рессорных тросов длиной 12-20 м, на которых крепят вертикальные струны, а также рациональным расположением обычных струн в средней части пролета. Более постоянной эластичностью обладают двойные подвески, но они дороже и сложнее. Для получения высокого показателя равномерности распределения эластичности в пролете используют различные способы ее повышения в зоне опорного узла (установка пружинных амортизаторов и упругих стержней, торсионный эффект от скручивания троса и др.). В любом случае при разработке подвесок необходимо учитывать их диссипативные характеристики, т. е. устойчивость к воздействию внешних механических нагрузок [6].

Контактная подвеска является колебательной системой, поэтому при взаимодействии с токоприемниками может находиться в состоянии резонанса, вызванного совпадением или кратностью частот ее собственных колебаний и вынужденных колебаний, определяемых скоростью проследования токоприемника по пролету с заданной длиной. При возникновении резонансных явлений возможно заметное ухудшение токосяема. Предельной для токосяема является скорость распространения механических волн вдоль подвески. В случае превышения этой скорости токоприемнику приходится взаимодействовать как бы с жесткой, недеформируемой системой. В зависимости от нормируемых удельных натяжений проводов подвески такая скорость может составлять 320-340 км/ч.

Простые и цепные подвески состоят из отдельных анкерных участков. Закрепления подвески “на концах анкерных участков могут быть

жесткими или компенсированными. На магистральных ж. д. применяют в основном компенсированные и полукомпенсированные подвески.

Конструктивную высоту подвески – расстояние между несущим тросом и контактным проводом в точках подвеса – выбирают исходя из технико-экономических соображений, а именно – с учетом высоты опор, соблюдения действующих вертикальных габаритов приближения строений, изоляционных расстояний, особенно в зоне искусственных сооружений и др.; кроме того, должен быть обеспечен минимальный наклон струн при экстремальных значениях температуры окружающего воздуха, когда могут возникнуть заметные продольные перемещения контактного провода относительно несущего троса. Для компенсированных подвесок это возможно, если несущий трос и контактный провод выполнены из различных материалов.

Для увеличения срока службы контактных вставок токоприемников контактный провод располагают в плане с зигзагом. Возможны различные варианты подвески несущего троса: в тех же вертикальных плоскостях, что и контактный провод (вертикальная подвеска), по оси пути (полукосяя подвеска), с зигзагами, противоположными зигзагам контактного провода (косая подвеска). Вертикальная подвеска обладает меньшей ветроустойчивостью, косая – наибольшей, но она наиболее сложна при монтаже и обслуживании. На прямых участках пути в основном применяется полукосяя подвеска, на криволинейных – вертикальная. На участках с особенно сильными ветровыми нагрузками широко используют ромбовидную подвеску, в которой два контактных провода, подвешенных к общему несущему тросу, располагаются у опор с противоположными зигзагами. В средних частях пролетов провода притянуты один к другому жесткими планками. В некоторых подвесках поперечная устойчивость обеспечивается применением двух несущих тросов, образующих в горизонтальной плоскости своего рода вантовую систему [7,8].

В соответствии с Правилами технической эксплуатации железных дорог, конструкции современных контактных подвесок должны соответствовать требованиям, обеспечивающим пропуск пассажирских поездов со скоростью движения 140 км/ч и учитывать возможность перспективного повышения скоростей движения на отдельных направлениях до 160-250 км/ч.

В последние годы в Узбекистане реализуется программа обновления устройств электроснабжения, в том числе контактной сети. Предусматривается внедрение современных технических средств, гарантирующих дальнейшее повышение надежности работы устройств электроснабжения и их экономической эффективности.

При проведении обновления контактной сети широкое применение на сети железных дорог Узбекистана находят контактная подвеска КС-160 переменного тока, новые типы опор, изоляторов, арматуры и другие изделия повышенной надежности.

Строительство и модернизация контактной сети производится по типовым проектам КС-160 и КС-250. Модернизация контактной сети производится для обновления основных фондов, восстановления ресурса постоянных элементов и повышения технических показателей контактной подвески.

При модернизации производится полное обновление всех постоянных элементов контактной подвески по типовым проектам контактной подвески для скоростей движения до 160 км/ч (КС-160).

В Узбекистане используются два типа скоростных контактных подвесок. На участке Ташкент – Самарканд используется контактная подвеска для скоростей движения 160 км/ч, а по электрификации новой линии Янгиер – Даштабад – Джизак для скоростей движения до 250 км/ч.

Эти подвески вертикальные, компенсированные, с отдельной анкерровкой несущего троса и контактного провода, с удлиненными до 20 м рессорными вспомогательными тросами и мерными струнами,

поддерживающими контактные провода. Они подвешиваются на изолированных горизонтальных консолях с подкосами и с закреплением несущего троса над консолью. Типы основных контактных подвесок и область их применения приведены в таблице 1.1. [9].

За рубежом в основном применяют цепные одинарные подвески, в том числе на скоростных участках – с рессорными проводами, простыми разнесенными опорными струнами, а также с несущими тросами и контактными проводами, имеющими повышенные натяжения.

Так же за рубежом, в частности на железных дорогах Швейцарии и Австрии широкое применение получила контактная подвеска с жесткой контактной шиной. Подвески подобного типа рассчитана на движение поезда со скоростью 260 км/ч. Данная контактная подвеска отличается высокой степенью стабильности. Она не подвержена отклонениям и колебаниям, вызываемым боковым ветром, и вертикальному смещению под воздействием силы контактного нажатия токоприемника, а также не требует применения компенсирующих устройств, как контактная подвеска традиционного типа [10].

Таблица 1.1.

Типы основных контактных подвесок и область их применения

№ п/п	Типы основных контактных подвесок	Область применения контактных подвесок
1	2	3
1	Компенсированная рессорная с одним или двумя контактными проводами, улучшенными параметрами и коэффициентом неравномерности эластичности не более 1,2 (КС-200)	Главные пути перегонов и станций при скорости движения поездов от 161 до 200 км/ч
2	Компенсированная рессорная с одним или двумя контактными проводами, улучшенными параметрами и коэффициентом неравномерности эластичности не более 1.35 (КС-160)	Главные пути перегонов и станций при скоростях движения поездов от 141 до 160 км/ч

3	Компенсированная рессорная с одним или двумя контактными проводами (КС -140)	Пути перегонов при скорости движения поездов от 71 до 140 км/ч .Главные пути станций при скорости (движения поездов от 121 до 140 км/ч)
4	Полукомпенсированная рессорная с одним или двумя контактными проводами (КС-120)	Главные пути станций при скорости движения поездов от 71 до 120 км/ч
5	Полукомпенсированная с простыми опорными струнами и одним или двумя контактными проводами (КС-70)	Пути перегонов и станций при скорости движения поездов до 70 км/ч
6	Простая (без несущего троса) компенсированная с одним контактным проводом (КС-50)	По согласованию со службой электро-снабжения железной дороги второстепенные пути станций, депо и пути малоделятельных участков при скорости движения поездов до 50 км/ч
7	Компенсированная или полукомпенсированная ромбовидная с двумя контактными проводами (КС-Р)	Открытые места, где скорость ветра выше нормативной для данного района и провода подвержены автоколебаниям Протяженность подвески в пределах тягового плеча по условиям износа контактных вставок (пластин) не должна превышать 50 %
8	Полукомпенсированная сорная двойная (КС-Д)	При обновлении и реконструкции контактной подвески по согласованию со службой электроснабжения железной дороги главные пути перегонов и станций при скорости движения поездов от 71 до 120 км/ч
9	Автокомпенсированная пространственно-ромбическая с двумя несущими тросами и двумя контактными проводами (КС - ПР)	Тоннели и искусственные сооружения при скорости движения поездов до 120 км/ч

1.3. Задачи диагностики объектов электроснабжения

Электрифицированные железные дороги являясь потребителем I категории требуют непрерывного внимания к себе.

Диагностика систем электроснабжения высокоскоростных железных дорог необходима для достижения устойчивости и бесперебойности всей энергосистемы, в которую также входит предупреждение отказов работы электрооборудования в процессе его эксплуатации. Насколько эффективно функционирует энергосистема, зависит от безотказности каждого элемента.

Диагностика систем электроснабжения - процесс управления состоянием систем электроснабжения.

Своевременная диагностика систем электроснабжения позволяет:

- повышать эффективность работы электрооборудования;
- увеличивать срок службы элементов систем электроснабжения,
- уменьшать эксплуатационные расходы;
- снижать аварийность в системах электроснабжения,

Диагностика систем электроснабжения помогает избежать экономических потерь, обусловленных восстановлением поврежденного оборудования и технологического процесса, что выражается в повышении надежности и экономичности электроснабжения и электроэнергии.

Техническая диагностика объектов электроснабжения является важнейшей составной частью технической эксплуатации способствующей наряду с теорией надежности повышению эффективности применения специального оборудования.

Термин «диагностика» происходит от греческого «диагностикос», что означает распознавание, определение. В процессе диагностирования изделию обычно ставится диагноз - то есть определяется его техническое состояние с указанием места, вида и причины дефекта (если он есть). Диагноз представляет собой процесс исследования объекта. Объект,

состояние которого определяется, будем называть объектом диагноза. Характерными примерами результатов диагноза состояния технического объекта являются заключения вида: объект исправен, объект неисправен, в объекте имеется какая-то неисправность [11].

Таким образом, диагностика есть отрасль знаний, включающая в себя теорию и методы организации процессов диагноза, а также принципы построения средств диагноза.

Техническая диагностика решает три типа задач:

- задача диагноза (задачи по определению состояния, в котором находится объект в настоящий момент времени). Это техническая диагностика;

- задача прогноза (от греческого «прогнозис» - предвидеть, предсказывать.) Предсказание состояния, в котором окажется объект в будущий момент времени. Это техническая прогностика;

- задача генеза («генезис» - происхождение, возникновение.) Определение состояния, в котором находился объект в некоторый момент времени в прошлом. Это техническая генетика.

Задачи технической генетики возникают в связи с расследованием причин аварий и катастроф, когда настоящее состояние объекта отличается от состояния, в котором он оказался в прошлом в результате появления первопричины, вызвавшей аварию. Задача технической прогностики - определение срока службы оборудования, или определение периодичности проверок и ремонтов.

Техническая диагностика представляет собой основу технической генетики и технической прогностики, и последние развиваются в тесной взаимосвязи с первой.

Одной из важнейших задач диагноза состояния объекта является поиск неисправностей, т. е. указание мест и, возможно, причин возникновения неисправностей. Поиск неисправностей необходим для выявления и замены неисправных компонентов. После устранения

неисправности объект становится исправным, работоспособным или правильно функционирующим.

В результате эксплуатации оборудование может находиться в одном из следующих технических состояний:

- исправном (изделие соответствует всем требованиям нормативно-технической документации);
- неисправном (изделие не соответствует хотя бы одному требованию нормативно-технической документации);
- работоспособном (значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции на всех режимах, соответствуют требованиям нормативно-технической документации);
- неработоспособном (значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданную функцию, не соответствует требованиям нормативно-технической документации);
- функционирующем (значение всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции на проверенных режимах, соответствуют требованиям нормативно-технической документации);
- нефункционирующем (значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции на проверенных режимах, не соответствует требованиям нормативно-технической документации).

Исправное и все неисправные состояния объекта образуют множество E его технических состояний. Задачи проверки исправности, проверки работоспособности, проверки правильности функционирования и поиска неисправностей представляют собой частные случаи общей задачи **диагноза технического состояния** объекта.

На рис. 1.1 множество технических состояний объекта диагноза условно ограничено замкнутой кривой, причем исправное состояние обозначим кружком, неисправное - крестиками. Результатами проверки исправности (а) проверки работоспособности (б) и проверки правильности

функционирования (в) является получение двух подмножеств технических состояний. Одно из них (левое) содержит только исправное состояние или те неисправные состояния, находясь в которых объект остается работоспособным или правильно функционирующим. Второе подмножество содержит либо все неисправные состояния (при проверке исправности), либо такие, пребывание в которых делает объект неработоспособным или неправильно функционирующим.

Результатами поиска неисправностей (рис. 1.1 г, д, е) являются разбиения на классы не различаемых между собой неисправных состояний вторых подмножеств. Число классов и, следовательно, числа входящих в них неисправных состояний определяют достигаемую при поиске степень детализации мест и состава имеющихся (или подозреваемых на наличие) в объекте неисправностей. Эту степень детализации принято называть *глубиной поиска* или *глубиной диагноза*.

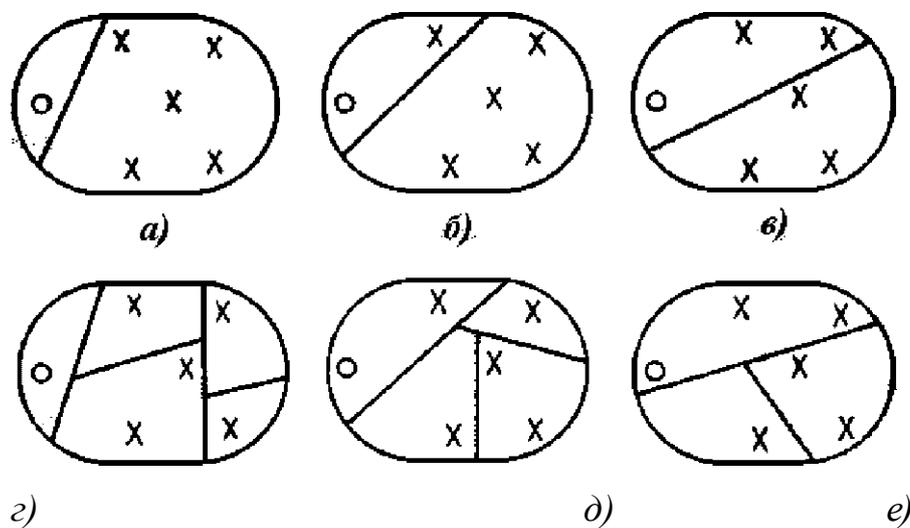


Рис. 1.1. Представление задач диагноза через разбиения множества технических состояний объекта

Заметим, что при проверке правильности функционирования и при поиске неисправностей, нарушающих правильное функционирование объекта, разбиения относятся к определенному (настоящему) моменту

времени и поэтому могут быть разными для разных моментов времени и разных режимов работы объекта.

Диагноз технического состояния объекта осуществляется при помощи тех или иных средств диагноза. Взаимодействующие между собой объект и средства диагноза образуют **систему диагноза**. Протекающий в системе диагноза процесс в общем случае представляет собой многократную подачу на объект определенных воздействий (**входных сигналов**) и многократное измерение и анализ ответов (**выходных сигналов**) объекта на эти воздействия. Воздействия на объект либо поступают от средств диагноза, либо являются внешними (по отношению к системе диагноза) сигналами, определяемыми рабочим алгоритмом функционирования объекта. Измерение и анализ ответов объекта всегда осуществляются **средствами диагноза**.

В качестве количественных и качественных характеристик технических состояний изделия обычно используются **контролируемые параметры** с установленными нормативами по допустимому изменению их численных значений. Например, объектом диагноза является электрический кабельный жгут. По качественным показателям он оценивается по проверке правильности распайки (монтажа) проводов. Количественно он оценивается по сопротивлению изоляции между разными цепями.

По каждому из перечисленных параметров в эксплуатационной документации указываются порядок соединения проводов и предельно допустимые значения, т. е. по соответствию или несоответствию численных значений параметров установленным требованиям можно однозначно определить техническое состояние.

Под **параметром** в технической диагностике понимают наименование какой-либо физической величины, устанавливаемой для отличия данного состояния от других состояний объекта контроля.

Помимо параметров для оценки технического состояния объектов в технической диагностике используется понятие - **признак состояния**.

Под **признаком состояния** понимают значение (или интервал значений) какого-либо параметра, устанавливаемого для отличия данного состояния от других состояний. Смысловым эквивалентом признака состояния является **значение параметра**.

Техническое диагностирование объектов представляет собой процесс исследования последних. Результатом этого исследования является заключение о техническом состоянии объекта с указанием вида технического состояния, а также, при необходимости, вида, места и причины неисправности.

По каждому контролируемому параметру в эксплуатационной документации указывается нормативное значение, чаще всего соответствующее состояниям: функционирования, работоспособности или исправности.

В эксплуатационной документации наряду с параметром, и его значением также указывают и условия, диагностическую аппаратуру, а иногда - технологию контроля и интерпретации результатов контроля [12].

Целью работы — проанализировать состояние контактной сети реального участка скоростного движения на участке Ташкент-Самарканд, рассмотреть элементы системы как объекты для диагностирования, выявить основные причины отказа контактной сети.

Для достижения указанной цели в диссертационной работе поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ повреждаемости узлов контактной сети. Рассмотреть статистику отказов элементов системы.
2. Проанализировать традиционные и перспективные методы диагностирования, выбрав объектом диагностирования элементы контактной сети.

3. По результатам реальных данных полученных в результате диагностирования контактной сети на скоростном участке вагоном-лабораторией ВИКС провести анализ состояния контактной сети.

4. Составить математическую модель оценки состояния контактной сети по результатам данных лаборатории ВИКС. Разработанные формулы реализовать на Microsoft Excel в виде электронных таблиц и диаграмм, которые позволят наблюдать состояние контактной сети реального участка ж. д. Узбекистана.

5. Рассмотреть мобильную систему диагностирования элементов контактной сети в составе цифровых ИК и УФ подсистем на базе ВИКС для обеспечения перехода к стратегии технического обслуживания и ремонта КС по ее фактическому состоянию, дальнейшему повышению ее надежности и эффективности эксплуатации электрифицированных железных дорог Узбекистана.

Выводы по первой главе

1. Создание высокоскоростной магистрали требует соединения самых передовых технологий и высокой квалификации всех причастных специалистов железных дорог и промышленных компаний, неоднократной проверки технических решений и вариантов.

2. Скоростные контактные подвески применяемые в Узбекистане можно разделить на два вида: для скоростей движения до 160 км/ч (КС-160) и до 250 км/ч (КС-250) соответственно. Которые в свою очередь отвечают всем необходимым требованиям СМ.

3. Диагностика контактной сети основной составляющей которой является контактная подвеска необходима для достижения устойчивости и бесперебойности работы всей энергосистемы. Насколько эффективно функционирует энергосистема, зависит от безотказности каждого элемента.

2. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЙ СКОРОСТНЫХ КОНТАКТНЫХ ПОДВЕСОК

2.1. Требования к скоростным контактными подвескам

Основные требования к контактной сети, связанные с реализацией создания системы тягового электроснабжения СМ и ВСМ - обеспечение повышенной эксплуатационной надежности, безотказности работы устройств, диктуемой требованиями безусловного обеспечения безопасности и эксплуатационных показателей (выдерживание графика и заданных скоростей движения), и долговечности системы на стадии проектирования и сооружения устройств. В системе тягового электроснабжения преимущественно должны применяться безремонтные конструкции, устройства и технологии с ресурсом, обеспечивающим заданный срок службы, оборудованные системами саморегулирования, управления диагностики, резервирования. Параметры и требования на рекомендуемые к применению для СМ и ВСМ устройства, оборудование, машины и механизмы должны соответствовать лучшим мировым аналогам.

Устройства тягового электроснабжения должны обеспечивать надежный токосъем и заданное качество электрической энергии при питании как обычного, так и специализированного скоростного электроподвижного состава.

Обеспечение движения скоростных и высокоскоростных поездов, с точки зрения контактных подвесок сводятся к следующему:

- достижение равноэластичности подвески по всей длине пролета;
- повышенное натяжение контактных проводов, несущих и рессорных тросов;
- повышенные термо и износостойкость, механическая прочность контактных проводов и тросов;

- минимизация по массе всех конструктивных элементов, непосредственно связанных с подвеской при повышенных требованиях к их прочности и долговечности; надежная защита этих элементов от всех видов коррозии на полный срок эксплуатации;

- строгое выдерживание всех проектных геометрических параметров подвески (высота, зигзаг и др.) при монтаже, наладке и в процессе всего периода эксплуатации.

Реализуются эти требования за счет выполнением следующих пунктов:

1. За базовую для скоростного и высокоскоростного движения рекомендуется цепная полностью компенсированная контактная подвеска с повышенным натяжением контактных проводов и тросов, основные технические характеристики которой должны соответствовать данным таблицы 2.1., в которой приведены основные параметры скоростных и высокоскоростных контактных подвесок. Допускается применение и других типов подвесок, обеспечивающих требуемые параметры скоростного токосяема.

2. В качестве проводов контактной сети на перегонах и главных путях станций следует применять медные низколегированные (серебро, кадмий, никель) или бронзовые контактные провода сечением 120-150 мм², допускается применение биметаллических контактных проводов, обеспечивающих требуемую механическую прочность, термо и износостойкость.

3. Опоры контактной сети должны быть отдельными, преимущественно металлическими открытого профиля со стойкими антикоррозионными качествами на весь срок службы.

На опорах, несущих контактную подвеску СМ и ВСМ, подвешиваются только провода системы тягового электроснабжения. Прочие провода должны размещаться на отдельно стоящих опорах.

Таблица 2.1.

**Основные контролируемые параметры скоростных и
высокоскоростных контактных подвесок**

№ п.п.	Параметр	КС-160	КС-200	КС-250	КС-300
1	Базовая контактная подвеска:	Компенсированная цепная контактная подвеска с удлиненным рессорным тросом			
	а) на перегонах и главных путях станций; б) на станциях действующих электрифицированных линий	Допускается полу-компенсированная контактная подвеска			
2	Номинальное натяжение, кН: а) контактного провода; б) несущего троса; в) рессорного троса	10,0	12,0	15,0	15,0
		16,0	18,0	20,0	20,0
		2,5-3,0	3,0-4,0	3,5-4,0	3,5-4,0
3	Максимальная длина пролета, м	70,0	65,0	60,0	60,0
4	Наибольшая длина анкерного участка, м	1500	1400	1300	1200
5	Длина рессорного троса, м	16,0	18,0	18-20	20,0
6	Сопряжение анкерных участков:	3-х прол. 4-х прол.	3-х прол. 4-х прол.	4-х прол. 5-ти прол.	4-х прол. 5-ти прол.
	а) не изолирующие; б) изолирующие				
7	Эластичность, мм/Н (не более):	0,5 0,6	0,3 0,4	0,2 0,3	0,15 0,2
	а) под опорой; б) в середине пролета				
8	Коэффициент неравномерности эластичности (не более)	1,30	1,20	1,15	1,10
9	Допуск на вертикальную регулировку высоты подвешивания КП (не более), мм	±20	±15	±10	±5
10	Допустимые основные уклоны КП при изменении высоты его подвешивания (с переходными 2-3 участками с уклоном 0,5 от указанных)	0,003	0,002	0,001	0,001
11	Максимальное отклонение высоты подвеса контактного провода от номинального, мм	±350	±250	±150	±150

Габарит установки опор (расстояние от переднего края опоры до оси пути) на вновь электрифицируемых линиях - не менее 3,5 м, на реконструируемых под скоростное движение - по действующим нормативам для скоростей движения до 160 км/ч.

4. Арматура контактной сети, все виды токопроводящих зажимов должны быть термо и коррозионностойкими, а арматура, соединенная с контактными проводами, иметь минимальную массу. Преимущественно должны применяться без болтовые способы соединения.

5. Консоли следует применять изолированными, открытого или трубчатого сечения, стальные консоли открытого профиля алюминироваться (оцинковываются) или изготавливаются из коррозионностойкой стали, трубчатые консоли выполняются из спец сплавов алюминия без покрытия.

6. Фиксаторы выполняются:

- основной - из стальных оцинкованных труб;
- дополнительный - из алюминиевых сплавов облегченного профиля.

7. На контактной сети необходимо преимущественно применять полимерные изоляторы с улучшенными электромеханическими характеристиками: запас по механической прочности на растяжение и изгиб должен составлять не менее 4, длина пути утечки - не менее 5,0 см/кВ.

8. Струны должны выполняться электропроводными из медного гибкого троса с обеспечением точности регулировки высоты подвеса контактного провода в соответствии с таблицей 2.1.

В базовой контактной подвеске расстояние от опоры до ближайшей струны на несущем тросе должно составлять 13-15 м при длине рессорного троса 18-20 м.

В опорных узлах независимо от длины пролета струны на рессорном тросе должны устанавливаться на расстоянии 2 и 6 м от опоры.

Для уменьшения колебаний контактных проводов в опорных узлах могут устанавливаться ограничительные струны, соединяющие контактный провод с седлом под консолью или с несущим тросом (на расстоянии не более 1 м от седла).

Межструновые пролеты при одном контактном проводе, как правило, должны составлять не более 8 м.

Двойные контактные провода компенсированной подвески должны подвешиваться каждый на самостоятельных струнах, расположенных в шахматном порядке, расстояние между смежными струнами не более 4 м.

Отклонение от оптимальных расстояний между струнами в средних частях пролетов не должно превышать $\pm 0,25$ м.

9. Секционирование съездов между главными путями и боковыми путями станций должно осуществляться легкими малогабаритными секционными изоляторами, обеспечивающими проход подвижного состава без ограничения установленной для съездов скорости.

Применение секционных изоляторов на главных путях перегонов и станций при скоростях движения более 160 км/ч не допускается.

10. Анкеровка контактного провода и несущего троса выполняется раздельной с преимущественным применением компенсаторов барабанного типа, оборудованных устройством торможения при обрыве проводов; натяжные тросы анкеровки - из нержавеющей стали.

11. Крепление проводов контактной подвески главных путей на конструкциях искусственных сооружений, как правило, не допускается, кроме мостов с ездой понизу. Конструкция мостов с ездой поверху должна предусматривать установку на них опор контактной сети.

12. На опорах контактной сети должна предусматриваться установка реперных знаков системы контроля положения пути и контактной подвески с целью обеспечения повышенных требований к поддержанию геометрии их взаимного расположения.

13. Конструктивные параметры элементов скоростной и высокоскоростной контактной сети должны обеспечивать:

- надежный токосъем с числом проходов токоприемников до 1,5 млн.;
- (постоянный ток) и 3,0 млн. (переменный ток);

- гарантированную эксплуатационную надежность (долговечность);

- подвески в целом - 50 лет;
- срок службы опор и жестких поперечин - 70 лет;
- изоляторов - 30 лет;
- арматуры - 50 лет [19], [13], [14].

Обеспечение всех этих требований неотъемлемое условие обеспечения надежности работы контактной сети.

2.2. Анализ повреждаемости узлов контактных подвесок на сети железных дорог

Надежность контактной сети – свойство обеспечивать передачу электроэнергии от тяговых подстанций к электроподвижному составу и нормальный токосъем при расчетных скоростях движения и любых атмосферных условиях (кроме стихийных бедствий) с минимальным износом контактных проводов и накладок токоприемника.

По критериям надежности устройства ЭС делят на следующие две разновидности:

1. Устройства, не имеющие резерва: контактная сеть, сглаживающие устройства тяговых подстанций, посты секционирования, пункты параллельного питания, системы телеуправления и дистанционного управления, аккумуляторные батареи, устройства компенсации реактивной мощности.

2. Устройства, имеющие резерв: оборудование тяговых подстанций, питающие линии контактной сети и т. п.

По характеру работы устройства ЭС делят на постоянно работающие (контактная сеть и силовое электрооборудование тяговых подстанций), дежурные (устройства защиты, телеуправления, сигнализации) и запасные (оборудование тяговых подстанций, находящееся в резерве) [4].

К полным отказам устройств ЭС относят следующие незапланированные события. Для тяговых подстанций – события, вызывающие прекращение питания контактной сети или других подключенных к ней тяговых потребителей хотя бы по одной из питающих линий (фидеров), а также вынужденный переход на резервные устройства. Для контактной сети – невозможность пропуска электроподвижного состава или необходимость движения на выбеге с опущенным токоприемником по любому из электрифицированных путей. Для постов секционирования и пунктов параллельного соединения – отключение хотя бы одной питающей линии поста или отключение пункта. Для устройств телемеханики – невозможность телеуправления любым из управляемых объектов или получения от указанных объектов ответной телесигнализации. К полным отказам относят также такие повреждения, при которых потребовался бы немедленный выезд на место оперативного или ремонтного персонала для восстановления нормального функционирования устройства.

Повреждения контактной сети связаны с недостатками, допущенными при ее проектировании и монтаже, дефектами конструкций, узлов и деталей, низким качеством материалов, условиями погоды, неудовлетворительным содержанием, неправильными действиями персонала, вандализмом, с неисправностями токоприемников и короткими замыканиями на электроподвижном составе, с прочими причинами (сходы с рельсов, развал грузов, стихийные бедствия и т.п.). Доля повреждений по причинам, не зависящим от надежности контактной сети, превышает 40-45% их общего количества. Практически половина повреждений вызвана неисправностями электроподвижного состава или ошибочными действиями машинистов.

Основными повреждениями контактной сети являются: обрывы контактных проводов, повреждения изоляторов, консолей фиксаторов и опор. Наиболее характерные повреждения контактной сети связаны с

поджатием (подъемом) проводов токоприемниками и ударами по стержню фиксаторов или захватами отходящих ветвей контактной подвески. Частыми повреждениями являются опрокидывания (раскрытие) фиксаторов. Захваты проводов полозом токоприемника происходят в связи с перемещением контактных проводов за рабочую часть полоза токоприемника. Тяжелые последствия возникают из-за повреждений при гололеде. Это могут быть пережоги и поджоги проводов (электрической дугой), а также разрушения узлов, конструкций, опор, обрывы проводов вследствие повышения механических нагрузок, особенно при гололеде с ветром. На открытых местах и насыпях могут возникать автоколебания (пляски) проводов контактной сети, при которых невозможен проход токоприемника и могут быть повреждены струны и изоляторы. Особое место занимают пережоги контактного провода над токоприемником вследствие плохого контакта, неудовлетворительного состояния поверхностей касания (загрязнения) и слабого нажатия токоприемника, превышения времени и значения тока, износа контактного провода и его слабого натяжения. Пережоги часто возникают при подъеме и опускании токоприемника под током, в местах секционирования контактной сети, из-за шунтирования полозом изолирующих сопряжений и секционных изоляторов, в местах установки токоведущих зажимов вследствие увеличения сопротивления при окислении и деформации. Так как опоры контактной сети в основном железобетонные, то одной из наиболее сложных проблем надежности контактной сети является повреждение бетона и стали опор и фундаментов от химической (атмосферной и почвенной) и электрической коррозии. Особенно опасна коррозия фундаментных частей опор, так как отсутствуют методы контроля их состояния. По этому виду повреждений бракуется до 63% всех опор.

Предотвращение обледенения контактной сети и токоприемников осуществляют тремя методами: химическим (нанесение на провода специальных антиобледенительных покрытий), механическим (удаление

льда обивкой, вибрацией или скалыванием), электрическим (нагрев проводов током). Способы снижения колебаний контактной сети делят на три группы: изменение собственных частот на смежных пролетах, применение ромбовидной подвески и удерживающих конструкций для снижения амплитуды колебаний, использование устройств поглощения энергии колебаний (гасители колебаний и грузы, демпферы).

Защита от пережогов контактных проводов весьма разнообразна. В местах трогания предусматривают параллельные соединения контактных проводов не менее двух путей, более частые установки электрических соединителей между контактным и несущим проводами. Для защиты изолирующих сопряжений увеличивают расстояния между ветвями проводов, применяют защитные экраны, шунты и накладки на контактные провода. Для предотвращения пережогов проводов в токоведущих зажимах наиболее эффективны безболтовые соединения, осуществляемые сваркой методом взрыва, термитным способом, аргоновой или электродуговой сваркой, методом опрессовки. Нагрев зажимов целесообразно контролировать дистанционно.

Проблема коррозии опор и фундаментов контактной сети стала особенно актуальной, когда в целях экономии металла перешли на железобетонные опоры конической формы, изготовленные методом центрифугирования, имеющие небольшой защитный слой бетона и более тонкую (4-5мм) арматуру. При коррозии и потере механической прочности отдельных струн арматуры зачастую происходит хрупкий (мгновенный) излом. Поэтому целесообразен переход на смешанное армирование, с дополнительным ненапряженным армированием, переход к цилиндрической форме опор и применению металлических опор с антикоррозийным покрытием. Необходима окраска металлических жестких поперечин и опор защитным пенетрирующим составом, эффективно применение полимерных порошковых покрытий. Для

контроля коррозии металлических конструкций удобны ультразвуковые толщиномеры.

Предотвращение электрической коррозии фундаментных частей опор, особенно сильной в устойчивых анодных зонах на участках постоянного тока, возможно путем исключения появления потенциала рельсов на арматуре железобетона. Для этого используют защиту от токов коротких замыканий без прямого электрического соединения деталей опор с рельсом, а именно: искровые промежутки и полупроводниковые приборы, изоляцию всех деталей, соединяемых с рельсом, от опоры. Опасность коррозии снижают увеличением сопротивления цепи рельс – опора – земля с искусственным понижением потенциала рельса относительно земли, применением катодной защиты, дренажей, протекторов и других устройств. Следует переходить от опор со стаканными фундаментами к нераздельным опорам, разрабатывать опоры открытого профиля (двутапровые или лучевые), использовать изоляционные или полимерные покрытия, создавать и применять новые материалы на базе полимеров или полимербетонов. Кардинальным решением должен стать переход на стальные опоры широкого двутавра с антикоррозийным покрытием, опоры из легированной стали и легких сплавов или высокопрочных полимерных материалов с монолитными водонепроницаемыми частями закрепления опор в грунт [15].

Оценивать системную надежность необходимо по числу повреждений, отнесенному к определенному измерителю, т. е. по удельному числу повреждений. За определенный период времени это соответствует параметру потока отказов. Кроме того, число повреждений контактной сети можно определить на ее развернутую длину, на число проходов токоприемников, на анкерный участок или на удельное электропотребление, число отключений фидеров контактной сети. По тяговым подстанциям – число повреждений на одну подстанцию, на количество преобразованной электроэнергии и т.д. Объективный

показатель должен давать оценку бесперебойности движения поездов, т. е. работоспособности системы в целом. Наиболее широко распространены измерители: для контактной сети на 100 км развернутой длины, для подстанций – одна подстанция. Однако эти измерители не бесспорны.

Наиболее слабым звеном системы электроснабжения является контактная сеть. Согласно статистике, здесь наиболее характерными повреждениями являются, пережоги и обрывы контактного провода – 18,5%, пробой и перекрытия изоляторов – 19,3%; повреждения фиксаторных узлов – 4,8%; повреждения опор, консолей, кронштейнов – 12,2%; прочие повреждения – 44,2%. Удельная повреждаемость устройств ЭС по сети составляет в среднем: по контактной сети – 2,16 повреждений на 100 км развернутой длины; устройств защиты, телеуправления и сигнализации с задержкой поездов – 2,75 повреждений на 100 км развернутой длины; тяговых подстанций – 0,25 повреждений на одну подстанцию. Эти показатели подчеркивают важную роль ЭС в обеспечении безопасности и бесперебойности движения поездов.

Большинство повреждений контактных проводов, изоляторов и фиксирующих устройств восстанавливают за 90-150 мин. Отдельные случаи длительной ликвидации повреждений (более 5-6 ч) относят к случаям сходов подвижного состава и снежных заносов [17], [18].

2.3. Статистическая оценка отказов элементов контактной сети

Анализ ранее проведенных исследований и опыт эксплуатации показывает, что нарушение технического состояния КС электрифицированных ж. д. (число отказов) приведен в таблице 2.2.

Одним из приоритетных направлений в деятельности хозяйства, позволяющего перейти на качественно новый уровень экономической эффективности, является обслуживание и ремонт устройств по результатам диагностики их состояния.



Функциональная стратегия развития нашей железной дороги, регламентирует повышение качества объектов инфраструктуры на базе выявления потенциальных областей риска и их оценки, предупреждения возникновения рисков на основе их систематического прогнозирования и оценки.

Однако до настоящего времени отсутствуют модели и методики составления риск-анализа комплексных показателей, основанные на подходах функциональной стратегии управления рисками и реализующие технологии содержания контактной сети по состоянию [19].

Разработка теоретических принципов построения системы диагностики и моделей качества содержания контактной сети, основанных на определении, прогнозировании показателей рисков нарушений и их последствий, а также для организации технологии управления по прогнозному состоянию является важной задачей на сегодняшний день.

Методы решения поставленной цели основаны на использовании теории статистического анализа, риск-анализа электротехнических систем, теории идентификации статических и динамических объектов [20].

Фактическое качество содержания контактной сети (КС) как сложной системы формализовано как вектор динамических показателей эксплуатационной работы хозяйства Э:

$$Y(t) = [\Gamma_{КС} j(t), K_{СОБ}(t), K_{ОТК} i(t), T t_{ОТК} i(t), N_{Зад} n(t), T_{Зад} n(t), T_{ПШТ}(t), K_{ТПР}(t)], \quad (2.1)$$

где составляющие выражения (2.1) представляют собой три класса показателей:

- диагностические оценки: $\Gamma_{КСj}(t)$ - состояние j видов геометрических параметров КС, оцениваемое балльной оценкой $B(t)$, зависящей от отклонений $\Delta\Gamma_{КСj}(t)$ от норм по ПУТЭКС (зигзаги, выносы, уклоны и т.д.);

- показатели нарушений технологических процессов: $K_{СОБ}(t)$ - количество событий (браков); $K_{ОТК}i(t)$, $Tt_{ОТК}i(t)$ - соответственно количество и длительность отказов КС по видам i технических устройств (опоры, провода, воздушные стрелки и т.д.);

- показатели удовлетворенности перевозками: $N_{ЗАД}n(t), T_{ЗАД}n(t)$ - соответственно количество и время задержанных поездов по n видам - грузовых, пассажирских, пригородных; $T_{ПИИТ}(t)$ - время перерывов питания КС; $K_{ТПР}(t)$ - количество поломок токоприемников по вине службы Э.

Фактическое качество содержания (состояния) КС - $Y(t)$ зависит от условий ее эксплуатации $X(t)$ на диагностируемом участке, которые характеризуются вектором динамических показателей:

$$X(t) = [A_{ТКМ}(t), V_{УЧ}(t), M_{П}(t), N_{П}n(t), W_{ЭПС}(t), T_{АТМ}(t), U_{РЕГ}(t)], \quad (2.2)$$

где $A_{ТКМ}(t)$ - перевозочная тонно-километровая работа в грузовом движении на участке, млн ткм брутто; $V_{УЧ}(t)$ - участковая скорость, км/час; $M_{П}(t)$ - средняя масса грузового поезда, тонны; $N_{П}n(t)$ - количество обращающихся на участке поездов по n видам - грузовых, пассажирских, пригородных; $W_{ЭПС}(t)$ - тяговое электропотребление поездов; $T_{АТМ}(t)$ - атмосферная температура; $U_{РЕГ}(t)$ - регулирующие факторы, определяющие процесс содержания КС.

Значение статистических оценок ряда помесечных показателей состояния КС за пятилетний период представлены в таблице 2.3.

Выявленный стохастический характер показателей качества содержания КС и формы их взаимосвязи позволили рассматривать процесс содержания КС в общем случае как динамический управляемый стохастический процесс. При этом при постановке задачи - управления состоянием КС по прогнозируемому состоянию необходимо оценивать прогнозные значения состояния КС в условиях ее известных исторических данных как о фактических ее состояниях Y , так и об управляемых воздействиях U , направленных на поддержание данных состояний в период времени t .

Формализация задачи прогнозирования состояния КС осуществляется при описании её векторным дифференциальным уравнением в форме Ланжевена (2.1) с аддитивным белым шумом, запись которого в непрерывном виде имеет вид:

$$\dot{y} = f(y, u, t) + \xi(t), \quad (2.3)$$

где \dot{y} - полная производная вектора показателя состояния КС как оценки качества содержания КС во времени t ;

f - векторная функция аргументов показателей состояния КС - y и показателей управления состоянием КС - u ;

$\xi(t)$ - случайный процесс белого шума с нулевым математическим ожиданием.

При описании процесса содержания КС в виде (2.3) нахождение прогнозной оценки состояния \dot{y} сводится к решению задачи идентификации, которая состоит в том, что на основании первичных диагностических и экспериментальных данных о состоянии КС и об условиях управления, эксплуатации КС необходимо найти векторную функцию f , относительно которой известно, что она принадлежит некоторому классу функций, допускающих существование решений во всем пространстве состояний относительно \dot{y} либо в подобластях пространства состояний, в которых данная непрерывная функция может иметь свой вид.

В свою очередь, с учетом выявленного стохастического характера состояния КС, фактические показатели состояния КС - y могут зависеть или определяться условиями эксплуатации КС (например, интенсивность движения, объем тонно-км работы) на участке, носить интегрирующий характер и вычисляться на основании совокупности исходных данных (например, балльная оценка, уровень риска и последствий отказов КС) и в общем случае описываться операторной формой взаимосвязи $A(t)$ с показателями эксплуатационной деятельности x в предшествующие моменты времени s за период наблюдения $T, s \in T$ на основании выражения:

$$y(t) = A_t x(s) \quad (2.4)$$

Таблица 2.3.

Пример статистических оценок показателей состояния КС

	Кол-во измерений (Valid N)	Среднее (Mean)	Медиана (Median)	Мода (Mode)	Сумма (Sum)	Min	Max	СКО (Std. Dev.)
Кол-во отказов КС (итого в мес.)	60	6,1	5,00	3,00	360,4	1,0	21,0	4,4
$N_{зр}$ - кол-во зад. гр. поезд. (ед. в мес.)	60	42,2	33,5	34,0	2532,0	3,0	130,0	29,5
Кол-во полом. токоприемников	60	4,2	3,0	3,0	254,0	0,0	19,0	3,7
$T_{зр}$ - время зад. гр.поезд., час (в мес.)	60	67,8	48,0	25,5	4071,3	5,4	270,0	60,9
Ущерб в перевозочной работе $A = L_{взр} * M_{взр}$ /1000000 (млн ткм бр)	60	755,9	259,9	250,5	45358,2	2,7	5137,8	1168,1

В частном случае, когда показатели управления состоянием КС - u в выражении (2.3) в предшествующие моменты времени s за период наблюдения T изменяются не чаще чем $x(t)$, то их можно также отнести к показателям, подчиняющимся соотношению (2.4).

Задача оценки и прогнозирования показателей состояния КС разбивается на два этапа. На первом этапе на основании уравнения (2.4) методами идентификации при наблюдаемых значениях $y(t)$ и $x(s)$ определяется оценка A^*t истинного оператора A_t . На втором этапе на основании найденной оценки оператора A^*t и наблюдаемых значений $x(t)$ определяется оценка y^* состояния КС на основании выражения

$$y^*(t) = A^*t x(t) \quad (2.5)$$

Для определения класса функций выражения (2.5) и выбора корректного метода идентификации на математическое ожидание функции потерь между фактическим и оценочным состоянием КС $p[y_t, y_t^*]$ накладывается требование минимума:

$$M\{p[y_t, y_t^*]\} = \min \quad (2.6)$$

и в этом смысле накладывается требование близости оценки оператора A^*_t к истинному значению оператора A_t . При идентификации объектов управления, как и в большинстве практических случаев, оптимальный оператор ищется по критерию минимума среднего квадрата ошибки, т.е.:

$$p[y_t, y_t^*] = (y_t - y_t^*)^2. \quad (2.7)$$

Известно, что при критерии (2.7) уравнение для определения оптимальной в смысле минимума среднего квадрата ошибки оценки оператора A_t представляет собой выражение вида

$$y(t) = A_t^* x(s) = M\{Y(t)x_s; s \in T\}, \quad (2.8)$$

то есть представляет собой оператор условного математического ожидания, или регрессию выходной переменной $Y(t)$ относительно входной $x(s)$.

Приведенный статистический анализ указал на возможность и наличия с высокой степенью регрессионных взаимосвязей показателей состояния КС (например, количество нарушений КС) и ряда входных факторов (например, объем тонно-км работы в грузовом движении,

отказов токоприемников и ряд других), что доказывает, что оптимальным в смысле критерия (2.7) оператором, описывающим состояние КС, может являться класс линейных операторов.

С учетом вышеопределенного класса операторов модели и определенного выше характера выходного состояния КС - $Y(t)$ как многомерного, стохастического и зависящего от условий эксплуатации $X(t)$, включающего процессы управления $U_{PEГ}(t)$, состояние контактной сети как объекта моделирования может быть описано через операторную форму связи т.е.

$$Y(t) = A_t(X(t), U_{PEГ}(t), \xi)$$

где ξ - стохастическая составляющая из-за неучтенных факторов.

Построение модели состояния КС - $Y^*(t) = At^*(X(t), U_{PEГ}(t), \xi)$ сводится к нахождению оценки оператора модели КС - At^* , решаемой методами параметрической идентификации.

Параметры оператора модели At^* целесообразно находить на базе его представления в виде многомерного уравнения регрессии вида:

$$Y_t^* = a_{0,t} + a_{1,t}X_{1,t} + a_{2,t}X_{2,t} + \dots + a_{m,t}X_{m,t} + \xi_t \quad (2.9)$$

где Y_t^* - оценка дискретных значений выходного показателя в дискретные моменты времени t ;

$X_{1,t} \div X_{m,t}$ - дискретные значения эксплуатационных и управляемых факторов (показателей), используемые при построении модели;

m - количество используемых факторов в модели;

$a_{0,t} \div a_{m,t}$ - параметры модели.

Для решения поставленной задачи - управления качеством содержания КС по прогнозному состоянию необходимо знать не только фактические, наблюдаемые значения вектора показателей состояния КС $Y = [y_1, y_2, \dots, y_r]$ в моменты времени $t=1, 2, \dots, r$ или вычисляемые их оценки $Y^* = [y_1^*, y_2^*, \dots, y_r^*]$, но и их прогнозные значения. При прогнозировании в момент времени t на один период вперед обозначается как момент времени

($t+1$), а прогнозное значение показателя как $Y(t+1)$. Моменты времени, предшествующие прогнозному, - как (t), ($t-1$), ($t-2$), ..., ($t-r$), где r - последний момент времени в анализируемом ряду. Соответственно, показатели в данные моменты времени обозначаются как $Y(t)$, $Y(t-1)$, $Y(t-2)$, ..., $Y(t-r)$. В качестве метода прогнозирования значений показателей состояния КС и значений рисков выбран метод, основанный на построении авторегрессионной модели одношаговой процедуры прогноза:

$$Y_{t+1} = \sum_{j=0}^r a_j Y_{t-j} + \xi_t, \quad (2.10)$$

где j - текущий номер коэффициентов a_j уравнения авторегрессии, $j=0,1,2,\dots,r$; ξ_t - значение шума аппроксимации Y_{t+1} авторегрессией конечной длины.

Можно сделать вывод, что совершенствование диагностики КС и выработку комплексного показателя качества содержания КС целесообразно осуществлять на базе показателя Количество нарушений КС (коэффициент корреляции от 0,19 до 0,75) и детализации причин и устройств нарушений [21].

Выводы по второй главе

1. Обеспечения надежности работы устройств обеспечивающих надежный токосъем и заданное качество электрической энергии при питании как обычного, так и специализированного скоростного электроподвижного состава является важной задачей в организации движения скоростных и высокоскоростных поездов.

2. Регулярные осмотры и диагностика контактной подвески способны своевременно обнаружить и устранить возможные дефекты основных контролируемых параметров скоростных и высокоскоростных контактных подвесок еще в начальной стадии.

3. Обеспечение перехода к стратегии технического обслуживания и ремонта контактной сети по диагностики ее состоянию является важным и необходимым шагом к повышению надежности и эффективности эксплуатации электрифицированных железных дорог Узбекистана.

4. Разработка теоретических принципов построения системы диагностики и моделей качества содержания контактной сети, основанных на определении, прогнозировании показателей рисков нарушений и их последствий, а также для организации технологии управления по прогнозному состоянию является одним из приоритетных направлений в развитии контактной сети.

3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СКОРОСНЫХ КОНТАКТНЫХ ПОДВЕСОК

3.1. Анализ элементов контактной сети как объектов диагностирования

Рассмотрение и анализ статистики отказов элементов контактной сети приводит к выводу, что улучшение работы всей системы зависит от тщательной диагностики всех ее элементов. Для этого необходимо внимательное рассмотрение элементов контактной сети, как объектов для диагностирования.

Классификация параметров контактной сети, которые в настоящее время считают целесообразным контролировать приведена на рисунке 3.1.

Важной составляющей системы электроснабжения ж. д. транспорта являются контактные провода, которые непрерывно испытывают нагрузки, возникающие в процессе токосъема и приводят к износу проводов с одной стороны, а также сопровождаются старением проводов из-за отжига с другой.

Аварийные режимы при токосъеме нередко приводят к пережогам проводов. Нагрев и отжиг провода при токосъеме зависит от многих

причин: параметров токоприемника, амплитуды снимаемого тока, переходного сопротивления «провод - токоприемник». Доля пережогов в общем числе повреждений контактной сети на участках переменного тока составляет - 25 %.

Специфическая особенность контактных проводов в том, что кроме прочностных параметров, они характеризуются и геометрическими параметрами подвески. Для обеспечения качественного токосъема необходимо соблюдать геометрические параметры подвеса контактных проводов в плане и по высоте.

Контактные провода подвешивают зигзагом вдоль оси пути, чтобы выравнивать износ вставок полозов токоприемников. Увеличение зигзагов выше допустимой нормы приводит к сходу токоприемника и его повреждению. Причины: разрегулировка подвески, наклон опоры, смещение и просадка пути. Последствия: проскальзывание зажимов, смещение конструкций КС, изменение натяжения проводов.

Уклон контактных проводов оказывает существенное влияние на качество токосъема особенно при больших скоростях движения. Уклон со временем меняет свою величину, причем изменяется и знак уклона.

Изменение температуры проводов подвесок приводит к непрерывному смещению проводов на стрелках. При взаимном перемещении проводов происходят заземления, особенно в крестовых ограничительных накладках, возникают перекосы струн, выворачивания зажимов и другие явления. Особую опасность представляет подъем одного из контактных проводов на стрелке. Перечисленные отклонения часто приводят к повреждениям токоприемников и контактной сети, поэтому подлежат контролю [12].

Параметры системы «контактная сеть-токоприемник» подлежащие контролю	
	Износ контактных проводов
	Нагрев проводов и токоведущих зажимов
	Высота контактных проводов над уровнем головки рельса
	Зигзаги и выносы контактных проводов
	Отрывы токоприемников
	Подбои (удары)
	Углы наклона фиксаторов
	Разница в высотах подхватываемых проводов на сопряжениях и стрелках
	Статистическое и динамическое нажатия полоза токоприемника
	Наличие местного отжига контактного провода
	Состояние изоляторов и арматуры
	Состояние искровых промежутков и диодных заземлений
	Габариты устройств контактной сети
	Площадь сечения проводов и тросов КС
	Натяжения и стрелы провеса проводов и тросов контактной сети
	Опорные устройства и поддерживающие конструкции, фиксирующие устройства
	Струны, электрические соединители

Рисунок 3.1.

Следующим параметром рассмотрим опоры КС. Основным видом опор являются железобетонные, процесс совершенствования которых

привел к эксплуатации большого количества различных типов опор, конструктивные особенности которых влияют на их техническое обслуживание и срок службы.

Существует ряд факторов, агрессивно воздействующие на железобетон:

1) Природные воды, которые вымывают из бетона его составляющие, в первую очередь гидроксид кальция.

2) Углекислота, содержащаяся в природных водах, присутствующая в почвах, воздухе. $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ - химическая реакция, образуется карбонат кальция, наблюдаемый на поверхности бетона в виде белых пятен и натеков.

3) Циклическое замерзание и оттаивание содержащейся в капиллярах и порах бетона влаги вызывает постепенное разрушение структуры бетона.

4) Действие тока (электрокоррозия) - на участках постоянного тока тяговый ток стекает через заземление и опоры в землю в анодных и знакопеременных зонах - процесс гидролиза с вымыванием ионов железа из арматуры. На участках переменного тока опасность электрокоррозии в 100 раз ниже.

5) Действие механических эксплуатационных нагрузок.

6) Механические повреждения вследствие наездов путевой техники, ударов и т. д.

Таким образом, комплекс погодных-климатических и эксплуатационных факторов приводит к потере прочности железобетона. Наблюдения за состоянием опор и данные научных исследований показывают изменения несущей способности во времени. На первом этапе накопление микротрещин происходит достаточно медленно. Его продолжительность зависит от условий эксплуатации и качества изготовления.

На втором этапе несущая способность начинает резко снижаться вследствие прогрессирующего лавинного накопления в бетоне микроповреждений. Применение средств диагностирования улучшает ситуацию, но полностью вопрос не решает.

Исходя из вышеизложенного, становится очевидна необходимость технического контроля (диагностирования) опор в процессе эксплуатации.

Рассмотрим также металлические опоры и поддерживающие конструкции их повреждения подразделены на четыре основные группы:

- разрывы из-за механических перегрузок, вызванных ошибками проектирования и монтажа;
- деформации от наездов, ударов посторонними предметами;
- хрупкие разрушения при низких температурах, коробление и потеря несущей способности при повышенной температуре;
- разрушения из-за коррозии.

К металлическим опорным конструкциям контактной сети относятся опоры и ригели жестких поперечин. Они способны воспринимать расчетную нагрузку в том случае, если элементы их будут прямолинейными, не появятся трещины и надрезы в них, не будет опасных коррозионных разрушений (приложение А) [22].

Обследование с проверкой состояния и оценкой несущей способности металлических опор, ригелей, консолей, кронштейнов, траверс и других конструкций с обычным лакокрасочным покрытием должно проводиться по состоянию, но не реже чем 1 раз в 6 лет и 1 раза в 3 года в зонах с сильной агрессивной средой. Для конструкций с усиленным антикоррозийным покрытием по состоянию, но не позднее, чем через 12 лет после ввода в эксплуатацию и 6 лет в зонах с сильной агрессивной средой, далее по результатам обследования.

При визуальном осмотре необходимо проверять:

- общее состояние защитного покрытия;

- наличие местных разрушений защитного покрытия;
- общее коррозионное состояние конструкции;
- наличие трещин в основных конструктивных элементах (поясах, раскосах, связях, косынках, накладках, фланцах и др.);
- состояние соединений элементов конструкций;
- наличие прогибов, погнутостей, искривлений.

Осмотр состояния защитных покрытий должен проводиться в сухую погоду при хорошей освещенности [23].

Следующим немаловажным звеном являются изоляторы, ведь надежность современного оборудования высокого напряжения во многом определяется надежностью его изоляции.

Процессы, протекающие в изоляции под воздействием различных эксплуатационных (тепловых, химических, механических и электрических) факторов, приводят к ее старению. Эти процессы действуют одновременно и взаимосвязаны.

Химические процессы – окисление и другие химические реакции с агрессивными компонентами окружающей среды ухудшают свойства органических изоляционных материалов.

Под воздействием нагрева, вызванного внешними причинами и диэлектрическими потерями, возникает износ, сопровождаемый распадом вещества, появлением хрупкости, снижением механической прочности.

Электрическое воздействие приводит к физическим и химическим изменениям органических изоляционных материалов, вызванных частичными разрядами.

Механические воздействия, вызывая нарушение целостности материала (разрывы, расслоения) снижают электрическую прочность.

Конечным результатом воздействия на изоляционную конструкцию перечисленных факторов является изменение структуры диэлектрика, его свойств, появление продуктов разложения.

Изоляторы контактной сети отказывают по следующим причинам: климатические воздействия - 11,7%, посторонние воздействия - 31,0 %, другие причины - 11,6%, дефекты конструкции, изготовления и монтажа - 9,9%, старение материалов - 3,8 %, недостатки эксплуатации - 1,5%, недостатки проектирования - 0,5%.

Наибольшая относительная повреждаемость у анкерных и натяжных изоляторов, так как они испытывают большие механические нагрузки. Тяжелые условия работы и у фиксаторных изоляторов из-за воздействия нагрузок в процессе токосъема.

На контактной сети применяют тарельчатые изоляторы из фарфора, стекла и полимерных материалов, а также стержневые из фарфора и полимеров. Повреждения изоляторов различны - внутренний и поверхностный пробой, повреждение при перекрытии дугой, растрескивание и коррозия.

Причины отказов изоляторов разделяют на две группы - электрические и механические. Электрические происходят из-за старения (растрескивания) материала, загрязнения поверхности, перенапряжения и отключения разъединителей под нагрузкой. Механические (им подвержены в основном стержневые изоляторы) возникают из-за образования микротрещин при ударах и вибрации. Микротрещины возникают и при резких колебаниях температуры, из-за различия коэффициентов расширения фарфора, цемента и металла [11].

С учетом особенностей основных устройств КС как объектов диагностирования выполним обзор и дадим сравнительную характеристику различным методам и средствам диагностирования.

3.2. Анализ традиционных и перспективных методов и средств технического диагностирования элементов КС

Рассмотрим методы и средства диагностирования параметров КС подлежащих контролю проанализированных в предыдущем параграфе. Часть этих параметров контролируется аппаратурой вагона-лаборатории, другая - портативными устройствами диагностики.

Вагон – лаборатория испытания контактной сети (ВИКС)

Вагон-лаборатория — специально оборудованный вагон, предназначенный для проведения различных исследований и испытаний объектов железнодорожной техники в путевых (полевых) условиях. Предназначен для проведения автоматизированных обследований состояния оборудования объектов тягового электроснабжения электрифицированных железных дорог. Целью обследований является установление необходимости и объема ремонта при выработке оборудованием ресурса работы или при обнаружении дефектов.

Вагоны-лаборатории изготавливаются на базе обычных купейных пассажирских вагонов, в которых часть купе объединяется, как правило, в кухню и рабочий салон. Снаружи, в зависимости от предназначения лаборатории, может отличаться от обыкновенного вагона смотровыми окнами (в нерабочем тамбуре, по бокам рабочего салона - для контроля пути; на крыше для контроля контактного провода), видеокамерами и прожекторами, различными измерительными тележками под вагоном.

Внутри вагона-лаборатории устанавливается измерительная и регистрирующая аппаратура, электронные усилители, промышленная телевизионная установка, а также электроэнергетическое оборудование для питания измерительных приборов — аккумуляторные батареи, дизель-генератор, выпрямители. Динамометрические вагоны оснащаются динамометрической автосцепкой.

Вагоны-лаборатории используют:

- для динамических, динамико-прочностных, тормозных и других испытаниях вагонов;

- при контроле железнодорожного пути (вагон-дефектоскоп, путеизмерительный вагон);
- для испытаний средств сигнализации и связи;
- для контроля параметров контактной сети;
- при проверке работы путевых устройств.

Вагон-лаборатория КС служит для автоматизированного контроля параметров контактной подвески, определяющих характер взаимодействия с ней токоприёмников ЭПС и является одним из технических средств диагностирования контактной сети. Вагон-лаборатория обычно оборудован двумя измерительными токоприёмниками и смотровой вышкой, в некоторых случаях — промышленной телевизионной установкой. Связь работников вагона-лаборатории с локомотивной бригадой может быть проводной или осуществляться по радио. Специальные устройства регистрируют следующие параметры:

- зигзаги и выносы контактного провода;
- высоту контактного провода над уровнем головки рельса;
- расстояния от рабочей поверхности полоза токоприёмника до элементов фиксатора провода;
- правильность подвешивания проводов, образующих воздушные стрелки;
- определяют «жёсткие» точки и удары, а также места отрыва полоза от рабочей поверхности контактного провода.

Все показатели регистрируются печатающим устройством, затем расшифровываются и сравниваются с нормативными. На основании этой информации проводится оценка содержания контактной подвески по балльной системе. Значения параметров подвески, угрожающие отказом контактной сети, выносятся на специальное табло в смотровой вышке вагона-лаборатории и передаются для принятия срочных мер по устранению опасных отклонений от нормы. В некоторых вагонах-лабораториях производят измерения износа контактного провода. При

подходах вагона-лаборатории к искусственным сооружениям определяют уклон контактного провода и сравнивают его с нормативным значением.

В вагоне размещаются комплекты диагностического испытательного оборудования, позволяющие выполнять всестороннюю диагностику объектов тягового электроснабжения. Вычислительный комплекс вагона обеспечивает автоматизированную обработку результатов диагностики, выдачу рекомендаций по обслуживанию, а также ведению базы данных по обследованным объектам. Вагон структурно состоит из:

- переоборудованного вагона-носителя;
- системы электроснабжения;
- диагностического комплекс.

Измерение изолирующей штангой с земли

На прямом участке пути изолирующую штангу с земли завешивают вертикально на контактный провод. Шаблон устанавливают на головки рельсов таким образом, чтобы нулевое деление на шкале совпало с осью пути. В месте пересечения шаблона с осью штанги определяют зигзаг и вынос контактного провода. Высоту подвеса КП до уровня головки рельса определяют измерительной линейкой в нижней части штанги. На кривом участке пути из-за разного уровня рельсов зигзаг и вынос контактного провода относительно оси токоприёмника определяют по следующей формуле:

$$a = 4h \pm l, \quad (3.1)$$

где: h – возвышение наружного рельса; l – расстояние от оси пути, показанное нижним концом штанги на шаблоне.

Если штанга находится относительно оси пути ближе возвышающемуся рельсу, в формуле применяют знак "+" если ближе к рельсу, расположенному ниже, - знак "-". Возвышение наружного рельса h определяют путевым шаблоном.

Измерения зеркальным прибором с шаблоном

Шаблон устанавливают перпендикулярно оси пути на головке рельсов; находящийся на нём зеркальный прибор передвигают по шаблону до тех пор, пока совместится отражение КП и нити со средней рисккой на зеркале. Зигзаг определяют по шкале шаблона с правой стороны зеркального прибора. Затем прибор сдвигают до тех пор, пока отражение контактного провода совместится с крайней рисккой, и получают второй замер. Определяют расстояние по шкале на шаблоне между двумя замерами. Умножив это расстояние на 10, и прибавив высоту шаблона 30 мм, получают высоту контактного провода.

Применение измерительных реек и угольников.

До замеров предварительно определяют высоту съёмной вышки от уровня головки рельса до ограждения рабочей площадки. Рейки и угольники устанавливают на изолирующей съёмной вышке; предварительно они должны быть отградуированы по высоте и в плане в зависимости от высоты вышки. Замеры один из электромонтёров производит у каждой опоры и в середине пролёта, а другой заносит в журнал полученные данные.

Измерения прибором "Даль – 2"

Для определения положения контактного провода железнодорожного пути можно использовать ультразвуковой цифровой прибор "ДАЛЬ-2" (Приложение Б, Рисунок Б.1).

"Даль – 2" (ультразвуковой цифровой измеритель расстояния) позволяет без приближения к токоведущим частям и без снятия напряжения с воздушной линии электропередачи определять расстояние от поверхности земли до её нижнего провода. При необходимости прибором "Даль–2" можно поочерёдно измерить расстояния до двух или трёх проводов, расположенных друг над другом. По полученным данным можно проверить допустимые расстояния от поверхности земли до проводов воздушной линии, рассчитать расстояние между проводами, провести сравнение результатов измерений со знанием стрелы провеса по

монтажным кривым или таблицам. При применении на железной дороге прибор "Даль-2" измерения высоты проводов даёт возможность определять боковое смещение КП.

Прибор позволяет с высокой точностью определить высоту контактного провода относительно плоскости головок рельсов и боковое смещение его относительно геометрической оси железнодорожного пути. Измерения проводятся без приближения к контактному проводу и без снятия напряжения.

Для измерения высоты h контактного провода прибор "Даль-2" следует положить на головку рельса. Чтобы определить боковое смещение контактного провода, необходимо провести два измерения расстояния до контактного провода в точках, расположенных по одной линии на параллельно пролегающих рельсах. После этого прибор автоматически осуществляет расчёты и выводит значение бокового смещения контактного провода на дисплей.

Устройство для контроля износа должно быть устойчивыми к различным метеоусловиям, загрязнениям и нагрузкам.

Известные в настоящее время методы измерения износа могут быть объединены в две группы в зависимости от диагностируемого параметра:

- измерение по геометрическим размерам;
- измерение по оставшейся массе металла.

По высоте оставшегося сечения износ измеряют микрометром, комплектом скоб, индикаторным прибором. Точность измерений в большой степени зависит от правильности установки измерителя на провод. Нижняя поверхность площадки износа никогда не бывает ровной. Кроме наличия дефектов поверхностей, всегда имеется некоторый радиус кривизны, различный в разных точках. Возможно также наличие нескольких поверхностей износа, возникающих после поворота вокруг своей оси.

Приборы предназначены для ручных измерений

В настоящее время на железной дороге нашли применение следующие приборы, позволяющие определять толщину провода:

- ультразвуковой толщиномер 37DLPlus;
- ультразвуковой толщиномер ТТ-300 (Приложение Б, рисунок Б.2);
- ультразвуковой цифровой толщиномер ТТ-100 (Приложение Б, рисунок Б.3).

Приборы предназначены для ручных измерений с изолированных вышек или площадок автодрезин. Принцип действия основан на измерении времени задержки эхо-импульса относительно момента излучения при прохождении его через провод (от нижней изношенной поверхности до верхней отражающей поверхности и обратно). Время задержки преобразуется в толщину.

Ультразвуковой толщиномер 37DLPlus позволяет измерять толщины от 0.08 до 635 мм при температурах воздуха от -10 до +500С. Время непрерывной работы в нормальном режиме без подсветки 25 часов. Вес 950 г. Позволяет вести статистическую обработку данных.

Толщиномер ТТ-300 имеет большой жидкокристаллический дисплей с регулируемой контрастностью и подсветкой. Он обладает высокой скоростью измерения с диапазоном от 0.75 до 300 мм. Рабочая температура от 0°С до +40°С. Вес, включая батареи - 370 г. Время работы прибора с одним комплектом батареек: без подсветки дисплея -200 часов или с подсветкой дисплея - 50 часов.

Ультразвуковой цифровой толщиномер ТТ-100 это полностью самокалибрующийся высокоточный прибор, измеряющий толщины изделий из металлов и их сплавов толщиной до 225 мм с шагом 0,1 мм. Прибор обладает жидкокристаллическим дисплеем, функцией памяти, возможностью определения скорости звука в исследуемых материалах. Рабочий температурный диапазон до + 60°С.

Метод измерения износа по ширине площадки трения является наиболее популярным при разработке устройств автоматической диагностики. Его преимущества заключаются в достаточности одностороннего доступа к проводу. Недостатки связаны с неидеальным качеством поверхности: неровностей, кривизны и загрязнения.

Диагностирование с помощью измерительной штанги ШИ-35

До измерения штангой ШИ-35 необходимо зашунтировать искровой промежуток в цепи заземления опоры перемычкой 50 мм².

В гирлянде изоляторы проверяются поочередно в следующей последовательности: первым – со стороны контактной сети, вторым – со стороны заземленных конструкций, третьим – рядом со вторым, четвертым – рядом с первым и т. д. Показания умножаются на коэффициент 5.

Дефектными считаются изоляторы, падение напряжения на которых равно или менее значений (таблица 3.1).

Таблица 3.1

Значения падения напряжений на дефектных изоляторах

Число изоляторов в гирлянде	Падение напряжения, кВ на изоляторе, считая от заземленной конструкции					
	1-м	2-м	3-м	4-м	5-м	6-м
3	4	4	5	-	-	-
4	3	3	3	5	-	-
5	2	2	2	2	3	-
6	1,5	1,5	1,5	2	2	3

Диагностирование с помощью ультразвукового дефектоскопа

При повышении напряжения на одном изоляторе до 10 кВ возникает поверхностный частичный разряд (ПЧР). Это возможно при пробое одного из трех изоляторов в гирлянде переменного тока. Проявление ПЧР сопровождается акустическими (улавливается приборами типов УД-8, "Ульраскан-2004") и электромагнитными колебаниями, оптическими излучениями (улавливается прибором "Филин").

Принцип работы ультразвукового дефектоскопа УД-8 (Приложение Б, рисунок Б.4) основан на улавливании и индикации ультразвуковых излучений в диапазоне частот 39-41(43-45) кГц. Учитывая, что ПЧР имеют широкий спектр колебаний, УД улавливает их, детектирует и усиливает низкие частоты. На расстоянии не более 20 м. По мере приближения к гирлянде с дефектным изолятором звук усиливается.

Прибор "Ультраскан-2004" (Приложение Б, рисунок Б.5) отличается от УД-8 большим диапазоном улавливаемых частот, микропроцессорной программной обработкой сигналов с возможностью записи, хранения и передачи информации в компьютер для дальнейшей обработки, автоматической настройкой чувствительности, наличием лазерного целеуказателя и оптического прицела.

Диагностирование с помощью оптического дефектоскопа

Электронно-оптический портативный дефектоскоп "Филин" предназначен для дистанционного контроля изоляции высоковольтного оборудования, напряжением 25 кВ и выше. Работу выполняют в темное время суток при положительной температуре, желательно при повышенной влажности. Наблюдая в окуляр, направить объектив на гирлянду изоляторов на расстоянии до 50 м от объекта. Осматривать изоляторы необходимо не менее чем с двух точек: это позволит отличить ПЧР от коронных разрядов.

Диагностирование фарфоровых тарельчатых изоляторов контактной сети переменного тока, а также питающих линий ДПР приборами УД-8, "Ультраскан-2004" и Филин-3 осуществляется 1 раз в год.

Диагностирование с помощью тепловизора

Возможно диагностирование изоляторов с помощью тепловизора: у дефектных изоляторов температура ниже на 0,2-0,50С (Приложение Б, рисунок Б.6). Так же можно выявить опорные изоляторы с повреждениями фарфора в виде трещин (Приложение Б, рисунок Б.7-Б.9), а также выявить загрязнение изоляции [11,12].

Необходимо отметить, что использование ручных измерителей на железной дороге, которые являются не точными вследствие своей конструкции; либо переносными аналогами этого прибора, что делает трудоемким процесс, и, как следствие, замедляет процесс работы. Поэтому особое внимание следует обратить на измерения с помощью аппаратуры вагона - лабораторий, которая по мере развития технических средств диагностирования дает возможность контролировать техническое состояние все больше различных устройств контактной сети.

Тепловизионный контроль состояния контактной сети

Тепловизионный контроль состояния контактной сети осуществляется с помощью высокочувствительной, быстродействующей, компьютеризированной системы на базе ИК-камеры ТН7102 фирмы NEC (Япония), установленной на вышке ВИКС ЦЭ. Система позволяет записывать и обрабатывать тепловизионную информацию, передаваемую ИК камерой, по результатам которой определяются дефектные элементы контактной сети.

Метод диагностирования по ультрафиолетовому излучению

Диагностирование изоляторов по ультрафиолетовому (УФ) излучению основано на выявлении поверхностных частичных (ПЧ) разрядов и короны, возникающих на изоляторах в месте появления дефекта. Для этого используется зависимость силы света ПЧ-разрядов в УФ-диапазоне спектра от приложенного напряжения. При напряжении, большем порогового значения, соответствующего возникновению разрядов, сила света пропорциональна пятой степени величины приложенного напряжения. Этим объясняется высокая чувствительность метода диагностирования по УФ-излучению (УФ-метода). Небольшие перераспределения напряжения вдоль гирлянды изоляторов, связанные с наличием нулевых изоляторов, приводят к резкому увеличению силы света ПЧ-разряда или к возникновению таких разрядов. Для изоляторов контактной сети, работающих в атмосферных условиях, возникновение

короны и ПЧ-разрядов исключить полностью невозможно. Интенсивность разрядных процессов увеличивается по мере снижения изолирующей способности изолятора вследствие появления дефектов, загрязнения и увлажнения внешних поверхностей. Возникновение или увеличение интенсивности короны и ПЧ-разрядов можно использовать для косвенной оценки изолирующей способности и УФ-дефектоскопии изоляторов контактной сети.

Метод диагностирования, основанный на визуализации электромагнитного излучения при возникновении ПЧ-разрядов и короны в УФ-диапазоне спектра, хорошо известен и применяется для выявления в эксплуатации повреждений высоковольтного электрооборудования и ЛЭП. По производительности, наглядности диагностической информации УФ-метод имеет несомненные преимущества перед ультразвуковым радиолокационным и другими методами функциональной дистанционной диагностики изоляторов контактной сети.

До настоящего времени аппаратная реализация этого метода в основном базировалась на отечественном электронном оптическом УФ-дефектоскопе типа «Филин 6», который имеет ряд существенных недостатков. К ним относятся прежде всего низкая чувствительность, невозможность работы в дневное время, недостаточно наглядная информация. Кроме того, прибор «Филин 6» не позволяет проводить скоростные цифровые УФ-измерения на базе ВИКС.

3.3. Устройство вагона - лаборатории ВИКС

Вагон - лаборатория контактной сети, оснащен информационно-вычислительным комплексом (ИВК), который обеспечивает полную автоматизацию процессов измерений и допускового контроля параметров КС: прием и обработку сигналов измерительных датчиков, записи данных и результатов на жесткий диск ЭВМ, отображение получаемой

информации на экране дисплея, а также распечатки протоколов инспекционных поездок (Приложение В, рисунок В.1).

ИВК показанный обеспечивает (Приложение В, рисунок В.2):

– бесконтактное измерение высоты КП в диапазоне от 5500 до 6900 мм с погрешностью не более ± 10 мм;

– бесконтактное измерение положения КП (зигзаг и вынос) в плане при 1...4 проводах в диапазоне ± 700 мм с погрешностью не более ± 5 мм;

– контроль понижения КП на воздушных стрелках, положение по высоте фиксаторов и отходящих анкерочных ветвей относительно основного КП;

– измерение усилия нажатия токоприемника на КП в диапазоне 0...400 Н с погрешностью не более ± 10 Н;

– регистрацию ударов по токоприемнику в диапазоне ускорений 0...50 g с погрешностью не более $\pm 0,5$ g;

– регистрацию отрывов токоприемника от КП по мгновенному падению измеряемого напряжения контактной сети на время не менее 30 мс;

– измерение пройденного вагоном-лабораторией расстояния;

– автоматическую отметку опор;

– автоматическую отметку ключевых (реперных) опор;

– измерение наклона кузова вагона относительно букс колесных пар;

– измерение скорости движения вагона-лаборатории в диапазоне 1...200 км/ч с приведенной погрешностью не более $\pm 1\%$;

– измерение радиуса кривизны пути;

– измерение напряжения в контактной сети в диапазоне 2,7...4,0 кВ постоянного тока с погрешностью не более ± 10 В и в диапазоне 21...29 кВ переменного тока частотой 50 Гц с погрешностью не более ± 100 В;

– измерение температуры наружного воздуха в диапазоне – 50... + 50 0С с погрешностью не более ± 1 0С;

- отображение результатов измерений на экран дисплея персональной ЭВМ рабочего места оператора ВИКС в графическом виде в реальном масштабе времени;

- запись результатов измерений на жесткий диск персональной ЭВМ и накопитель информации на магнитном диске большой емкости типа ZIP с формированием архива измеренных параметров контактной сети;

- диалог оператора с ЭВМ без прерывания процессов приема, обработки, отображения и архивации результатов измерений;

- привязку результатов измерений к показаниям датчика скорости и пройденного пути, точкам фиксации контактного провода;

- автоматизированное самодиагностирование неисправностей ИВК;

- фиксацию отклонений измеряемых параметров контактной сети с ведением протокола;

- ввод визуальных показателей (несоответствие положения фиксатора, несоответствие расстояния грузов компенсатора от земли до ролика температуре воздуха, обрыв жил проводов, разбитый изолятор, наклон опоры, отсутствие заземления опоры, отсутствие нумерации опор, обрыв струнки и т. п.);

- расчет "балльной оценки" состояния контролируемого участка контактной сети на основе результатов измерений и визуальных наблюдений;

- телевизионное наблюдение за контактной сетью с выводом измеряемых показателей на экран телевизора и записью на видеомагнитофон.

Бесконтактные измерения высоты подвески и положения в плане КП осуществляется с помощью стереотелевизионной системы, использующей три цифровые линейные телекамеры (Приложение В, рисунок В.3) с электронными диафрагмами и встроенными сигнальными микропроцессорами. Телекамеры защищены от воздействий внешней среды вращающимися иллюминаторами, а в нерабочем положении –

геометрической заслонкой с гидроприводом внутри вагона. Измерения параметров обеспечивается при любой погоде.

На рисунке (Приложение В, рисунок В.4) приведен (передний план, в центре) электромеханический (на базе вращающегося трансформатора) датчик высоты контактного провода, используется под искусственными сооружениями и как резервный.

Измерения силы нажатия токоприёмника на контактный провод обеспечивается оптоволоконными датчиками нажатия, использующие тензочувствительные оптические элементы, (Приложение В, рисунок В.5), датчики, размещённые под каретками. По своему принципу действия датчики нажатия обеспечивают оптическую высоковольтную развязку аппаратуры внутри вагона от контактного провода. В результате модификации датчиков радикально уменьшена их масса и аэродинамическое сопротивление, что повысило точность измерений нажатия.

Измерения вертикальных ускорений для учёта массы полоза токоприёмника при измерениях нажатия (два акселерометра по краям полоза) и продольных ускорений в горизонтальной плоскости для регистрации ударов и подбоев (один акселерометр в середине полоза) (Приложение В, рисунок В.6) .

Измерения напряжения на контактном проводе осуществляются первичным измерительным преобразователем-универсальным резисторным компенсированным делителем напряжения.

Измерения температуры окружающей среды осуществляются термометром сопротивления.

В ВИКС предусмотрено оснащение тепловизионной установкой для контроля нагрева дефектных контактных соединений во время объезда, ведутся научные разработки по автоматизации этого процесса, а так же применение других методов для диагностирования подвесной и фиксаторной изоляции.

Для обеспечения работы оборудования электроснабжение вагона может осуществляться: от подвагонного генератора в движении, от аккумуляторной батареи через инверторы, от дизель-генератора, от распределительного устройства 0,4 кВ через кабель во время стоянки.

В вагоне-лаборатории имеются смотровая вышка, рисунок, купе для отдыха персонала, кухня, столовая, туалет с душем [12].

Балльная оценка состояния контактной сети

Балльная оценка состояния контактной сети является комплексным показателем, отражающим техническое состояние контактной сети.

Балльная оценка состояния контактной сети определяется на основании инспекционных объездов электрифицированного участка вагоном-лабораторией по следующим группам показателей: регистрируемым (измеряемым), визуальным (при осмотре во время объезда) и учитываемым (по наличию повторных отступлений от нормативных регистрируемых параметров и случаев повреждений и браков в работе за прошедший период) [14,24].

За каждое отклонение показателя от нормативного значения начисляются штрафные баллы по утвержденной методике и выводится средний штрафной балл путем деления суммы штрафных баллов на количество проверенных километров. В зависимости от среднего балла устанавливается оценка состояния контактной сети по ЭЧК, ЭЧ и службы Э в целом: до 50 - отлично, от 50 до 100 - хорошо, от 100 до 150 - удовлетворительно, более 150 - неудовлетворительно. Инспекционные объезды проводятся ежеквартально, объезд с повышенным нажатием – ежегодно, контрольные объезды назначаются по указанию руководства ЦЭ и Э. В объезде принимают участие кроме персонала вагон-лаборатории, начальник дистанции электроснабжения или его заместитель, инженер дистанции электроснабжения, начальники или старшие электромеханики районов контактной сети (Приложение В, таблица В.1-В.3).

Структура построения балльной оценки такова, что отклонение параметров, влияющие на безопасность движения поездов и на экономические показатели процесса взаимодействия контактной сети и токоприемников оценивается предупредительными баллами (от 10 до 200 баллов), отклонения от нормируемых показателей, угрожающее безопасности движения поездов и надежности процесса токосъема токоприемников, оцениваются 400 баллами.

При повторении отклонений, ранее оцененных 400 баллами, в одном и том же месте количество баллов увеличивается в 5 раз. При наличии трех и более таких повторений ЭЧК выставляется оценка неудовлетворительно. По остальным отклонениям количество баллов удваивается.

Выводы по третьей главе

1. Улучшение работы контактной сети как единой системы зависит от своевременной диагностики всех ее элементов. Своевременного выявления неполадок и скорейшего их устранения. Каждому элементу контактной сети как объекту диагностирования нужен свой принципиальный подход, основанный на параметрах и факторах возникновения отказа и выхода из состояния пригодности.

2. В настоящее время ручные средства измерения имеют ряд недостатков в следствии неточности, трудоемкости и замедления процесса измерения, поэтому измерения с помощью вагона-лаборатории исследования контактной сети является целесообразным и перспективным, так как дает возможность контролировать техническое состояние все больше различных устройств контактной сети.

3. Измерение контролируемых параметров контактной сети с помощью вагона-лаборатории является самым целесообразным и перспективным. По мере непрерывного развития технических средств этот метод приобретает все большую актуальность.

4. Особое внимание следует уделить техническому оснащению ВИКС. Этот вопрос стал особо важен в связи с необходимостью улучшения качества диагностирования контактной сети, которое стало необходимым с ростом развития в нашей стране скоростного движения.

5. Показателем отражающим техническое состояние контактной сети является балльная оценка, которая определяется по результатам инспекционных объездов электрифицированных участков вагоном-лабораторией по группам показателей.

4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА БАЗЕ ВИКС

4.1. Результаты диагностирования контактной сети на Узбекских железных дорогах на базе ВИКС

Контроль контактной сети необходим для обнаружения на ранней стадии изменений ее состояния, обеспечения бесперебойного движения поездов и исключения возможности травмирования людей. При этом необходимо учитывать эксплуатационно-экономический аспект, связанный с оптимизацией срока службы устройств контактной сети. В общем случае компоненты, обеспечивающие совместимость, должны быть сертифицированы перед установкой или внедрением. В подсистеме электроснабжения такими компонентами являются: контактная сеть; токоприемники; контактные вставки токоприемников. Опыт эксплуатации вагона ВИКС открывает широкие возможности диагностики контактной сети и повышает эксплуатационную надежность и экономичность взаимодействующих токосъёмных систем. Анализируя выходные данные многочисленных объездов по участкам, можно определить условия

возможного ухудшения качества токосъема и показать рациональные пути предотвращения этого.

Для контроля контактной сети разработана концепция системы диагностики, включающая конкретный перечень диагностических параметров. Выделены наиболее информативные параметры.

Критерием качества токосъема является сумма приведенных затрат на содержание токоприемников и контактной сети, которые должны быть минимальными. Как показывает опыт для оценки качества динамики токосъема достаточно пользоваться абсолютным значением максимальной переменной составляющей контактного нажатия $|Pv|_{\max}$. Тогда коэффициент относительного изменения нажатия можно представить выражением $n = |Pv|_{\max} / M(P)$. Характеризуя эксплуатационное состояние контактной сети по параметру контактного нажатия имеет смысл рассматривать все показатели n , $s[P]$, $|Pv|_{\max}$. В пред идущих главах дан анализ качества токосъема участков железной дороги. Показано, что эффективность стабилизации нажатия около уровня, обеспечивающего минимальный износ контактных элементов токоприемников и контактной сети, можно оценить по результатам продолжительной эксплуатации вагона ВИКС.

Важнейшей проблемой эксплуатации контактной сети является ее качественное диагностирование. Это особенно важно при переходе к высокоскоростному движению, повышение скорости движения и веса поездов. Без точного инструментального контроля параметров контактной сети такое движение просто невозможно.

Благодаря введению в эксплуатацию вагон – лаборатории испытаний контактной сети (ВИКС) диагностирование контактной сети для Узбекской железной дороги стало более точным и совершенным, во много раз увеличилось количество регистрируемых параметров. Лаборатория работает в любое время суток, при различных атмосферных осадках, что

значительно повысило производительность. На данный момент у нас в республике функционирует один ВИКС. Вагон изготовлен на заводе - «Аммендорф» (Германия) в 1991 году, а оборудованием укомплектован в России.

Большую роль лаборатория уже сыграла в модернизации участка Ташкент-Самарканд, первый проход скоростного электровоза по новому участку завершился успешно, а все благодаря неоднократному проезду лаборатории с бесконтактным измерением высоты и “зигзагов” контактного провода.

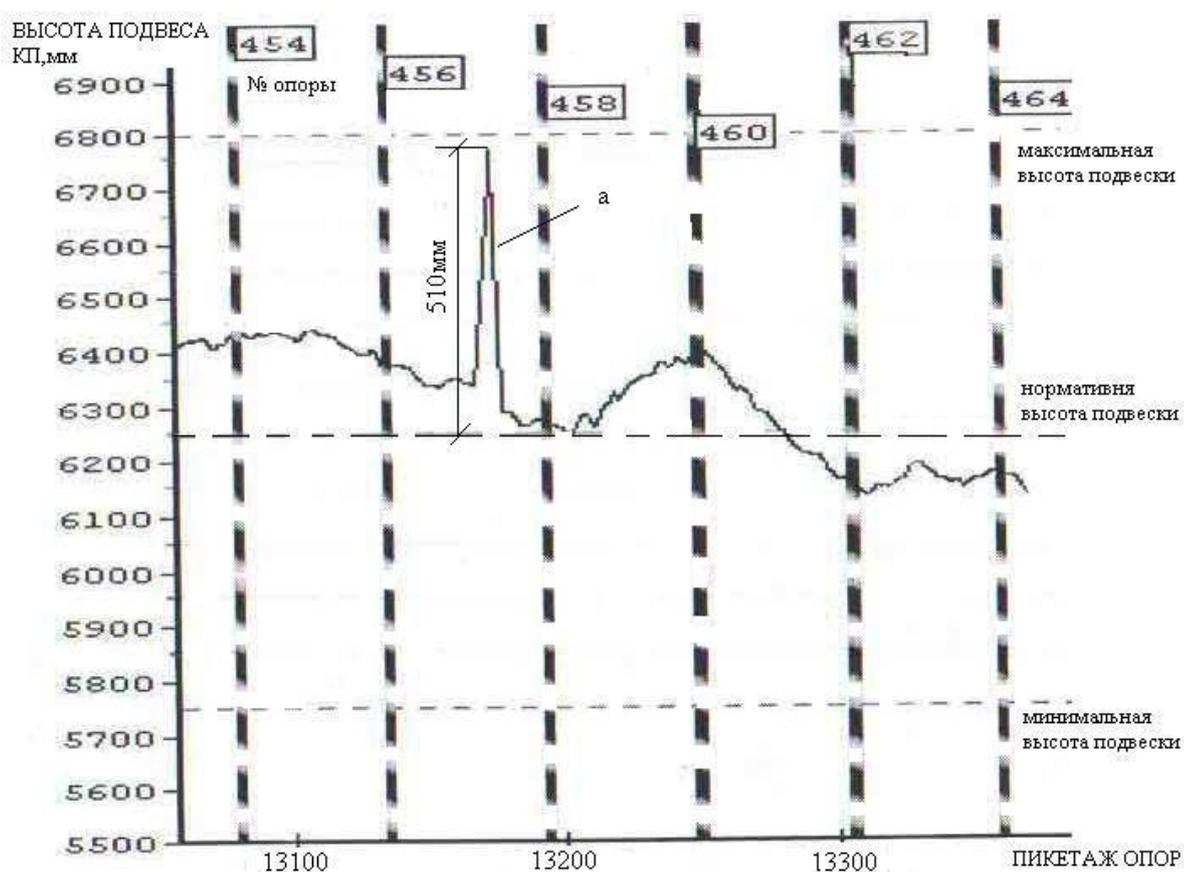


Рисунок 4.1 - перегон Блок пост 3505-Разъезд №3, превышение высоты КП в пролете опор №456-458 (150 штрафных баллов), а - аварийное состояние.

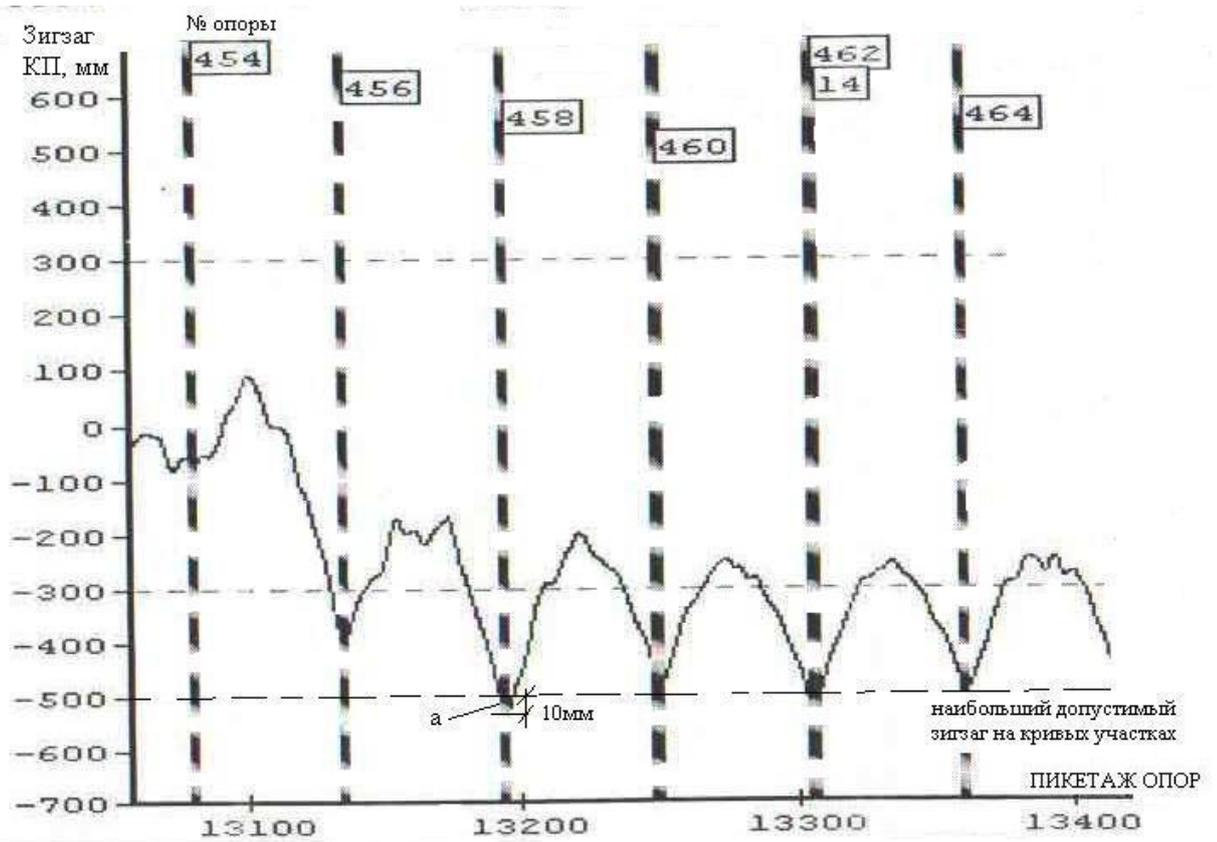


Рисунок 4.2 - перегон Блок пост 3505-Разъезд №3, абсолютное значение зигзаг выше допустимой нормы опора №458 (150 штрафных баллов), а - аварийный зигзаг.

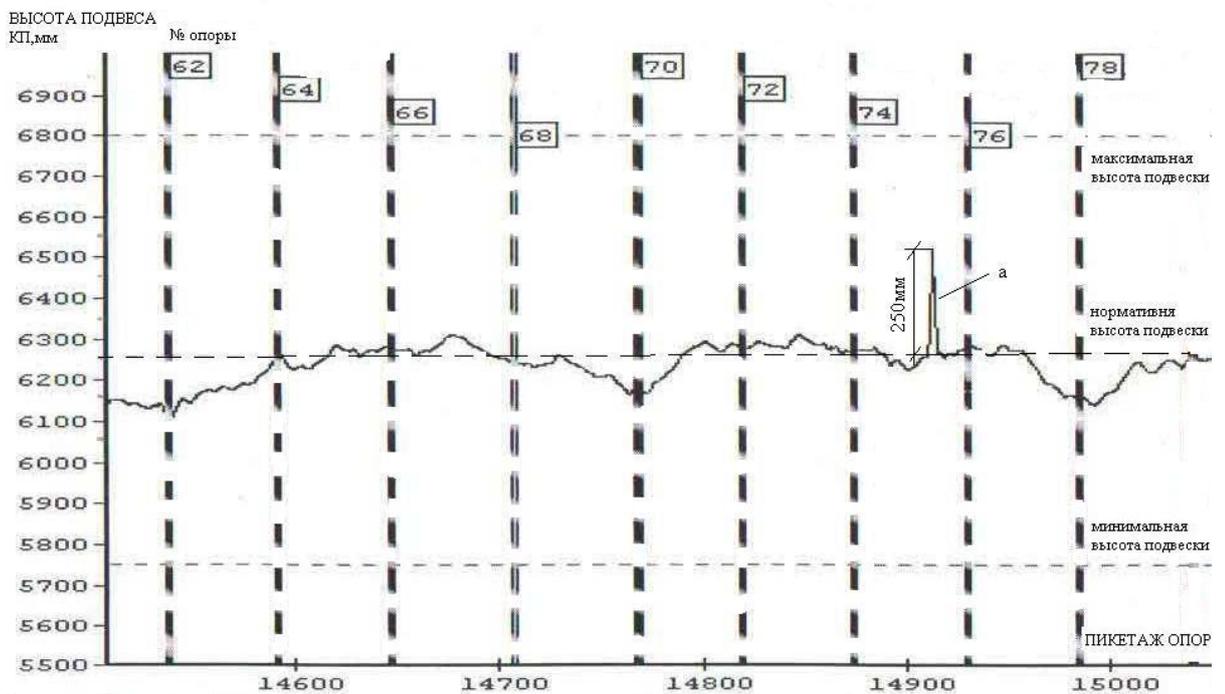
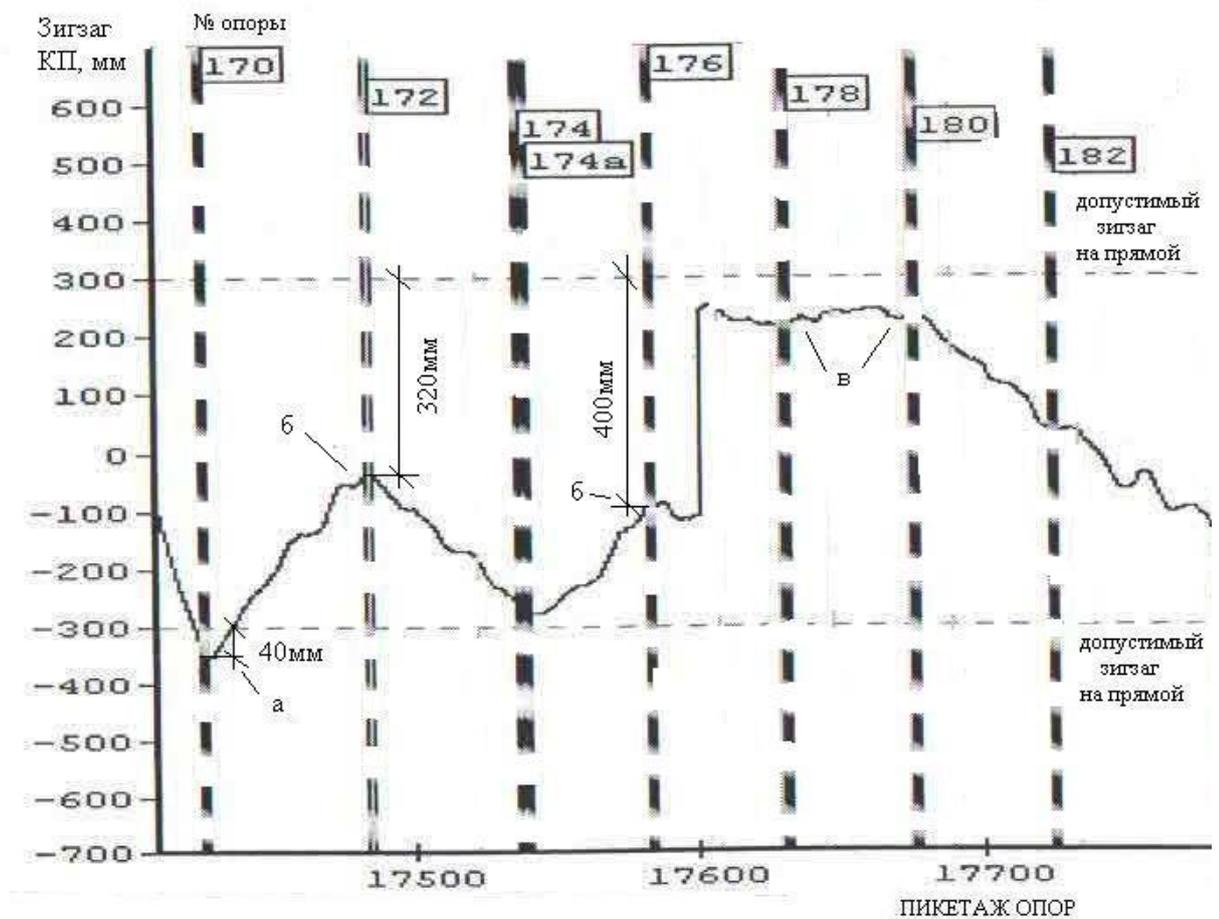


Рисунок 4.3 - перегон Блок пост 3505-Разъезд №3, превышение высоты КП в пролете опор №74-76 (150 штрафных баллов), а - аварийное состояние.



Перегон Блок пост 3505-Разъезд №3: а – опора №170 отклонение от нормативных параметров (100 штрафных баллов), б – несоответствие фактического зигзага с проектным, опоры №172, 176 (100 штрафных баллов), в – односторонний зигзаг у соседних опор на прямом участке, опоры №178, 180 (100 штрафных баллов).

Бальная оценка контактной сети на порядок выше чем была раньше, конечно вагон – лаборатория стала находить больше отклонений, но и программа вносит свои коррективы, считает за аварийную точку отходящую ветвь зафиксированную вдали от основного контактного провода, на стрелках зачастую срабатывают датчики фиксирующие понижение фиксаторов относительно контактного провода, в результате всех факторов бальность на Узбекской железной дороге колеблется от 150 до 600 баллов за участок, при норме на отлично 25.

Проанализировав полученные результаты диагностирования можно внимательно рассмотреть на каких участках перегона Блок Пост 3505км-

Разъезд №3 следует обратить особое внимание. Характерным участком где выявлено больше всего отклонений стал участок прохождения контактной подвески под автомобильным путепроводом в туннеле на ПК24+43.

Необходимо рассмотреть и своевременно устранить причины возникновения отклонений на этом участке для предотвращения аварийных ситуации. На рисунках 3.1-3.4 приведены основные отклонения по высоте контактного провода и расположения зигзагов выявленные на этом перегоне. Сравнивались результаты полученные вагоном-лабораторией на данном перегоне с нормативными значениями установленными в ПУТЭКС и параметрами рассчитанными в проекте перегона Блок Пост-разъезд №3 выполненным ЗАО «УНИВЕРСАЛЬНЫЕ КОНТАКТНЫЕ СЕТИ». По полученным данным в результате анализа построим математическую модель состояния контактной сети графики и диаграмм, а разработанные формулы реализуем на Microsoft Excel в виде электронных таблиц и диаграмм, позволяющих наблюдать состояние контактной сети реального участка ж. д. Узбекистана.

4.2. Составление математической модели для исследования данных о контактных подвесках

Проведем анализ полученных результатов диагностирования на участке скоростного движения перегона Блок Пост 3505КМ-Разъезд №3. Рассмотрим два основных параметра контактной сети контролируемых вагоном лаборатории ВИКС функционирующем на железных дорогах Узбекистана: высоте подвеса и зигзагу контактного провода. Особое внимание уделим сложным участкам, а именно прохождению контактной подвески под путепроводом в туннеле на ПК24+43. Сравним показания объектов диагноза полученные в результате объезда вагона-лаборатории именуемые в дальнейшем как фактические с проектными данными для этих объектов, а так же нормами ПУТЭКС, которые будем называть, как

номинальные значения. По результатам отклонений посчитаем штрафные баллы для каждого показателя в соответствии с нормами ПУТЭКС.

По полученным показаниям рассчитаем формулы для подсчета отклонений для норм и занесем их в таблицу Microsoft Excel. По результатам отклонений он норм построим математическую модель для подсчета штрафных баллов, которые будут автоматически выводиться в этой же таблице. Диаграммы и графики, построенные по результатам расчета и анализа будут иллюстративно показывать отклонения полученные с помощью диагностирования от проектных или нормативных данных.

Отклонение высоты контактного провода в любой точке пролёта от нормируемого ПУТЭКС

Минимальная высота подвески контактного провода над уровнем верха головки рельса должна быть на перегонах и железнодорожных станциях 5,75м, а на переездах 6м. Высота контактного провода не должна превышать 6,8м. При новом строительстве, обновлении и реконструкции высота подвески контактного провода должна быть на перегонах и станциях для скоростного участка движения поездов (161-250 км/ч) – 6,25м. В исключительных случаях это расстояние в пределах искусственных сооружений может быть уменьшено до 5,675м. Для нашего случая искусственным сооружением является туннель под автодорогой.

Разработаем формулы для расчета отклонения высоты подвеса контактного провода от нормируемого в ПУТЭКС значения. Вначале под фиксатором опоры, а затем тем же методом для отклонения в середине пролета от номинального значения.

$\Delta h_{on} = h_{oni} - h_{н.о.м}$ - отклонение высоты подвеса контактного провода под фиксатором опоры от номинального значения;

где $\Delta h_{np} = h_{npj} - h_{н.о.м}$ - отклонение высоты подвеса контактного провода в середине пролета от номинального значения;

h_{oni} - высота подвеса контактно провода под фиксатором i опоры;

h_{npj} -высота подвеса контактно провода в середине пролета между опорами i и j ;

$h_{ном}$ -номинальная высота подвеса контактного провода.

Полученные результаты заносим в электронную таблицу Microsoft Excel, для оценки состояния контактной подвески и для расчета штрафных баллов для данного участка. Штрафные баллы определяем согласно нормативу, приведенному в ПУТЭКС.

Штрафные баллы

$0 < \Delta h_{он}, \Delta h_{пр} \leq 50$ - 100 штрафных баллов;

$\Delta h_{он}, \Delta h_{пр} > 50$ -200 штрафных баллов.

Для того чтобы рассчитать баллы в таблице Microsoft Excel воспользуемся операторами функции – ЕСЛИ, который проверяет, выполняется ли условие, которое мы вводим для определения количества штрафных баллов для каждого случая, и возвращает одно значение, если оно не выполняется, и другое значение, если нет. Функция ЕСЛИ используется при проверке условий для значений и формул. Рассчитав формулы, для определенного опоры и пролета программа позволит автоматически рассчитать значения штрафных баллов для опор и пролетов всего участка и тем сам даст возможность определить средний штрафной балл для всего перегона.

Абсолютное значение стрелы провеса контактного провода, штрафуются однократно на пролёте

Рассмотрим контактный провод на отклонение провеса, для этого оцениваем состояние контактного провода на уровне каждой опоры и средних точек пролета, на факт того провисает или не провисает контактный провод, а если провисает но на какое значение.

Обозначим ΔX как абсолютное значение стрелы провеса, тогда:

$$\Delta X = h_{npj} - ((h_{онj} - h_{они}) / 2 + h_{они})$$

где h_{npj} - высота подвеса контактно провода в середине пролета между опорами;

h_{oni} - высота подвеса контактно провода под фиксатором i опоры;

h_{onj} - высота подвеса контактно провода под фиксатором j опоры.

Данные операции выполняем вводя соответствующие формулы в ячейки таблицы при помощи операторов функции. Это позволит рассчитать абсолютное значение стрелы провеса для каждого пролета перегона. Штрафные баллы приведенные в ПУТЭКС позволят рассчитать штрафной балл для каждого пролета данного перегона.

Штрафные баллы

$150 < \Delta X \leq 250$ - 100 штрафных баллов;

$\Delta X > 250$ -200 штрафных баллов.

Аналогично проведенные операции позволят средний штрафной балл для абсолютного значения стрелы провеса данного участка.

Разность высоты КП под фиксаторами у соседних опор

Следующим нормативным параметром для подвеса контактного провода является разность высот КП под фиксаторами у соседних опор от норм при уклонах на подходах к искусственным сооружениям.

Формулу для расчета этого отклонения будет выглядеть следующим образом:

$$\Delta h_{onij} = h_{oni} - h_{onj}$$

где h_{oni} - высота подвеса контактно провода под фиксатором i опоры;

h_{onj} - высота подвеса контактно провода под фиксатором j опоры.

Штрафные баллы для этого случая находятся в следующем диапазоне:

- $11 \geq \Delta h_{onij} \geq 15$ - 10 штрафных баллов
- $16 \geq \Delta h_{onij} \geq 20$ - 50 штрафных баллов
- $21 \geq \Delta h_{onij} \geq 25$ - 100 штрафных баллов
- $\Delta h_{onij} \geq 26$ - 200 штрафных баллов

Подсчитанные отклонения и баллы дадут возможность наблюдать полную картину отклонения и бальной оценки по данному участку. Полученная таблица Microsoft Excel для расчета отклонений высоты подвеса контактного провода от нормируемых показателей и расчета штрафных баллов для перегона Блок Пост 3505КМ-Разъезд №3 будет выглядеть следующим образом (таблица 4.1).

Данная таблица позволяет построить диаграммы по рассматриваемым отклонениям и наглядно рассмотреть и проанализировать их. На рисунке 4.5 и 4.6 построены диаграммы показывающие отклонения фактической высоты подвеса КП от проектной.

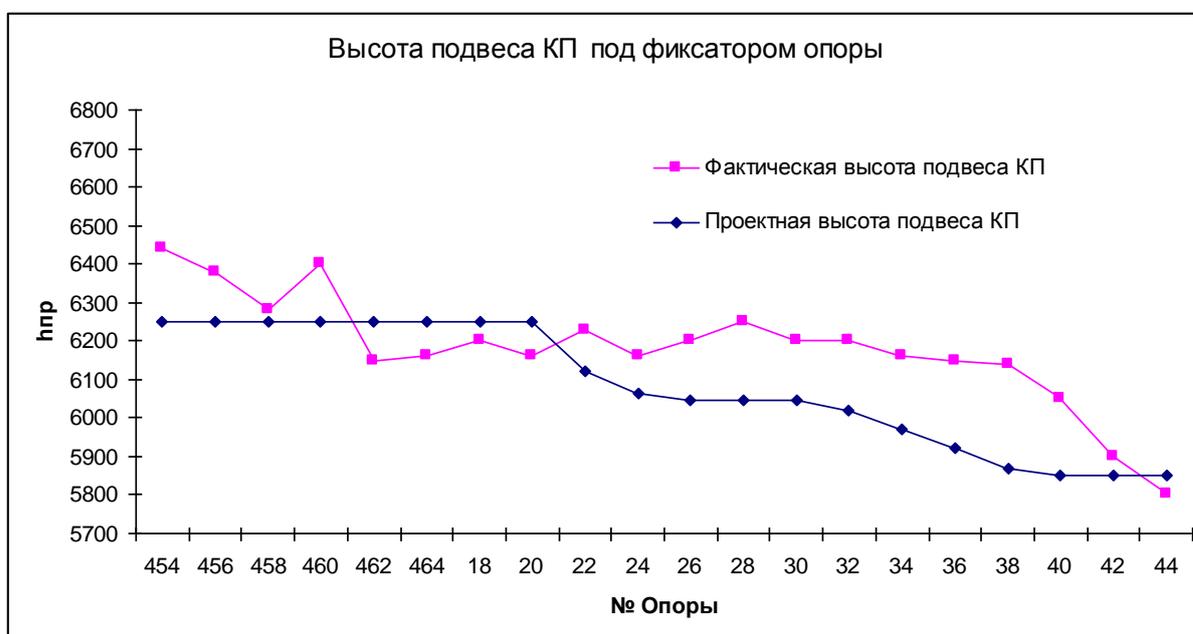


Рисунок 4.5. Диаграмма отклонения фактической высоты подвеса контактного провода под фиксатором опоры от проектной.

Таблица 4.1

Перегон Блок Пост 3505-Разъезд №3													
Результаты диагностирования высоты подвеса контактно провода				Расчет отклонений от нормативных величин					Расчет штрафных баллов				
Опора	X (координаты опоры)	hоп (факт- я высота подвеса)	hпр (факт- я высота подвеса в середине пролета)	Нном (проектная я высота подвеса)	L (длина пролета)	Dhop	Dhпр	DX	Dhсм	Vhop	Vhпр	VX	Vhсм
№	км	мм	мм	мм	м	*	**	***	****	#	##	###	####
1	454	13089	6440	6250	55	190	195	35	60	200	200	0	200
2	456	13144	6380	6250	55	130	520	440	100	200	200	150	200
3	458	13199	6280	6250	55	30	110	20	120	100	200	0	200
4	460	13254	6400	6250	55	150	80	55	250	200	200	0	200
5	462	13309	6150	6250	56	100	70	25	10	200	200	0	0
6	464	13365	6160	6250	55	90	85	15	40	200	200	0	200
7	18	13420	6200	6185	55	50	65	5	40	100	200	0	200
8	20	13475	6160	6250	55	90	0	55	70	200	100	0	200
9	22	13530	6230	6120	55	110	120	45	70	200	200	0	200
10	24	13585	6160	6065	55	95	105	10	40	200	200	0	200
11	26	13640	6200	6045	45	155	165	15	50	200	200	0	200
12	28	13685	6250	6045	45	205	105	75	50	200	200	0	200
13	30	13730	6200	6045	50	155	225	70	0	200	200	0	0
14	32	13780	6200	6020	55	180	160	0	40	200	200	0	200
15	34	13835	6160	5970	54	190	195	10	10	200	200	0	0
16	36	13889	6150	5920	50	230	250	25	10	200	200	0	0
17	38	13939	6140	5870	46	270	180	45	90	200	200	0	200
18	40	13985	6050	5850	46	200	90	35	150	200	200	0	200
19	42	14031	5900	5850	47	50	0	0	100	100	100	0	200
20	44	14078	5800	5850	48	50	50	2900	5800	100	100	150	200

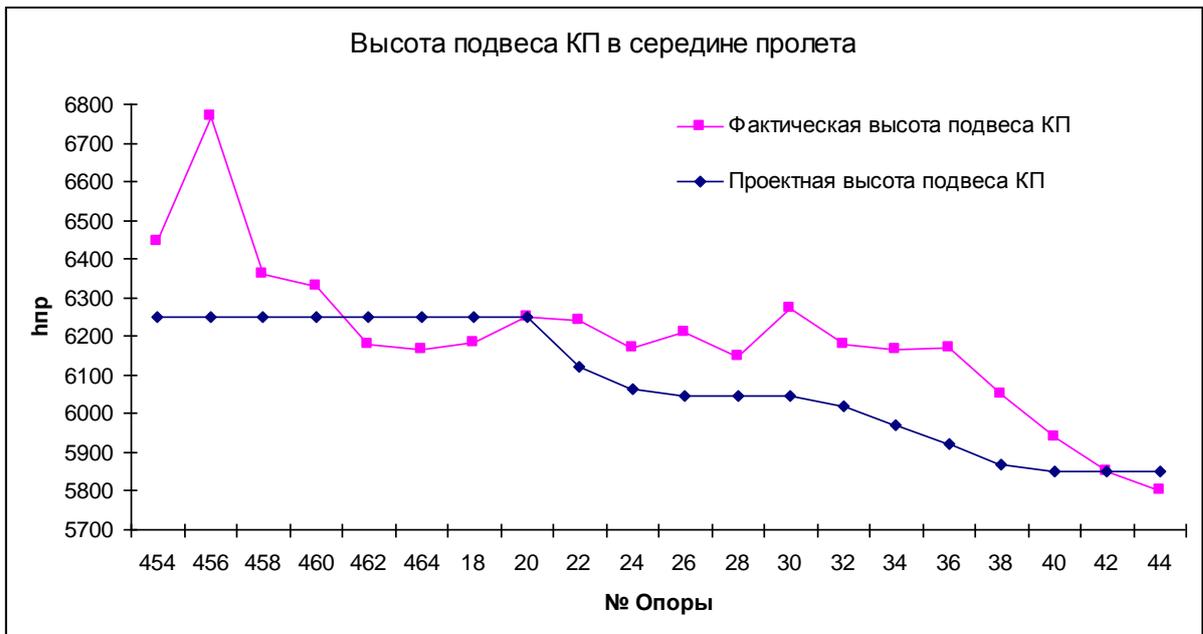


Рисунок 4.6. Диаграмма отклонения фактической высоты подвеса контактного провода в середине пролета от проектной.

Также данная математическая модель дает возможность построить диаграммы средних значений штрафных баллов отклонений КП от норм ПУТЭКС по всему участку (рис.4.7-4.11).

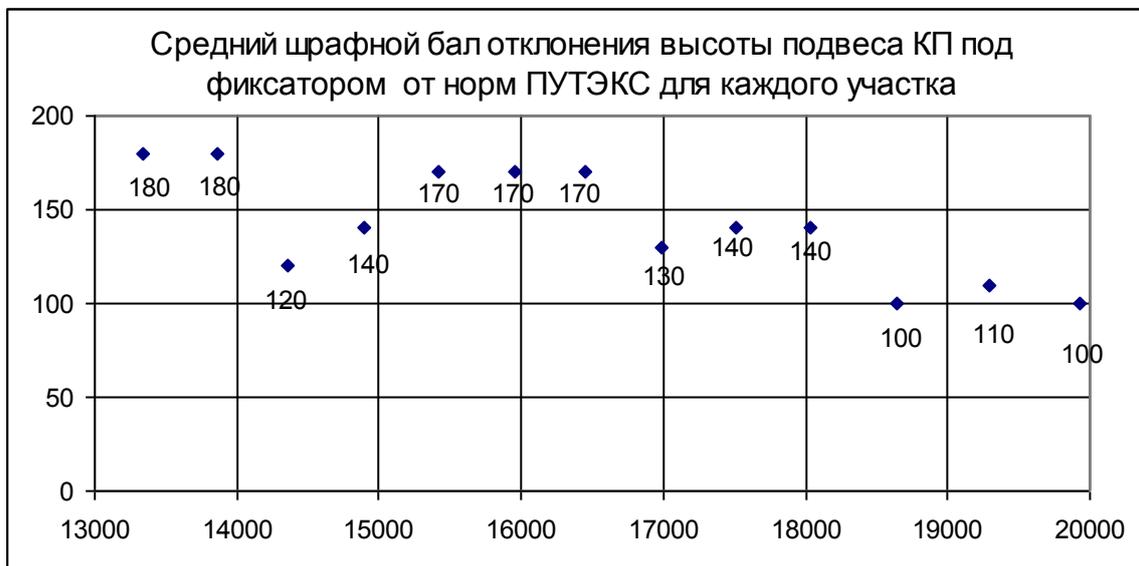


Рисунок 4.7. Диаграмма средних штрафных баллов для отклонения высоты подвеса контактного провода под фиксатором опор от норм ПУТЭКС.

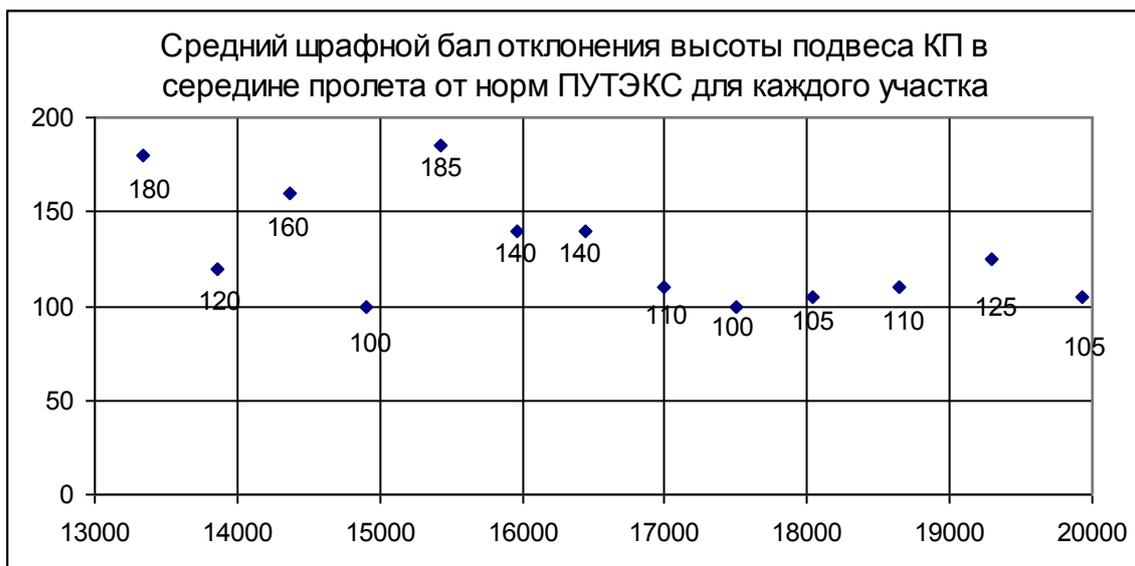


Рисунок 4.8. Диаграмма средних штрафных баллов для отклонения высоты подвеса контактного провода в середине пролета от норм ПУТЭКС.



Рисунок 4.10. Диаграмма средних штрафных баллов для стрелы провеса контактного провода.

Далее рассмотрены и проанализированы отклонения значения зигзагов на этом же участке, что дает возможность наглядно увидеть расхождения фактического состояния контактной подвески от нормативного. Выявив эти отклонения рассчитаем по ним полагающиеся штрафные баллы и все это представим в виде аналогичной математической модели.

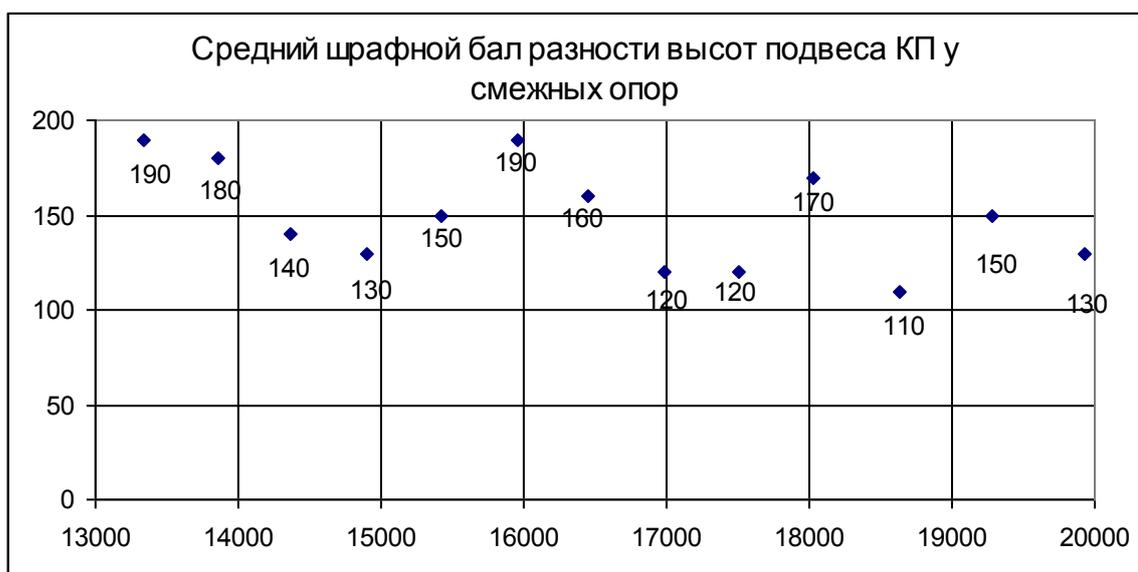


Рисунок 4.11. Диаграмма средних штрафных баллов для разности подвеса контактного провода у смежных опор.

Отклонение от нормируемого в ПУТЭКС зигзага КП в точках фиксации.

На прямых участках пути контактные провода располагаются зигзагообразно относительно оси токоприемника с чередованием направления зигзага у смежных опор. Зигзаг контактного провода от оси токоприемника у опор при его бес провесном положении на прямых участках пути должен быть $\pm 300\text{мм}$. Отклонения от установленных значений зигзагов КП при расчетном бес провесном их положении не должны превышать $\pm 30\text{мм}$.

Отклонение зигзага контактного провода в точке фиксации от нормируемого в ПУТЭКС представим как ΔY :

$$\Delta Y = Y_n - Y_f$$

где Y_f - величина фактического зигзага в точке подвеса КП;

Y_n - величина нормативного зигзага.

Выявив отклонения от норм рассчитаем полагающиеся для них штрафные баллы.

Штрафные баллы

$160 < \Delta Y < 200$ – 50 штрафных баллов;

$\Delta Y > 200$ – 100 штрафных баллов.

Абсолютные значение зигзагов являются следующими рассматриваемыми отклонениями. Наибольший зигзаг контактного провода от оси токоприемника у опор с учетом горизонтальных и вертикальных перемещений фиксатора не должно превышать в кривых 500мм, а на прямых - 400мм. Возьмем $|Y_f|$ как абсолютное значение зигзага и при помощи оператора функции «ЕСЛИ» в Microsoft Excel зададим условие для расчета штрафных баллов.

Штрафные баллы

$|Y_f| > 500$ – 400 штрафных баллов.

Полученная таблица Microsoft Excel для расчета отклонений значений зигзагов контактного провода от нормируемых показателей ПУТЭКС и расчета штрафных баллов для перегона Блок Пост 3505КМ-Разъезд №3 будет выглядеть следующим образом (таблица 4.2).

Таблица 4.2

Перегон Блок Пост 3505-Разъезд №3								
Результаты диагностирования зигзага контактного провода						Расчет штрафных баллов		
Опора	X (координаты опоры)	L (длина пролета)	Y _f (факти- ческий зигзаг)	Y _n (номина- льный зигзаг)	ΔY	BDY	BY _f	
№	км	м	1	2	3	4	5	
					КРИВАЯ*			
1	454	13089	55	50	210	160	0	0
2	456	13144	55	400	210	190	50	0
3	458	13199	55	510	190	320	100	400
4	460	13254	55	500	190	310	100	0
5	462	13309	55	500	175	325	100	0
6	464	13365	56	480	175	305	100	0
7	18	13420	55	450	190	260	100	0
8	20	13475	55	480	190	290	100	0
9	22	13530	55	370	190	180	50	0
10	24	13585	55	500	190	310	100	0

Полученная таблица при помощи диаграмм позволит наблюдать за состоянием зигзагов контактного провода на данном перегоне (рис.4.12).

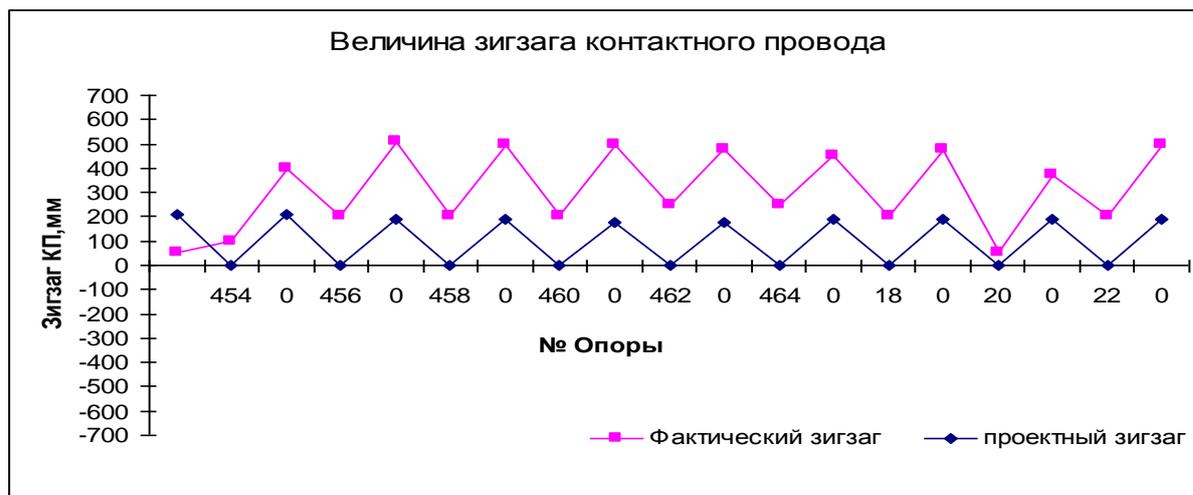


Рисунок 4.12. Диаграмма величины зигзагов контактного провода данного участка.

Данный математическая модель приведена для участка перегона Блок Пост 3505КМ-Разъезд №3 и полезна тем, что позволяет вести наблюдение за состоянием контактной сети путем построенных диаграмм. Накопленная информация по следующим объездам вагоном лабораторией этого участка будет сохраняться и анализироваться в программе, наглядно показывая какие были произведены изменения и насколько они уменьшили количество отклонений и штрафных баллов. Данный анализ можно использовать и на других участках скоростного движения, что позволит вести наглядное наблюдение за состоянием контактной сети и количеством штрафных баллов на определенном интересующем участке.

4.3. Оценка достоверности и эффективности компьютерной диагностики системы на базе ВИКС

В работе изложены основные функциональные особенности вагона, условия его эксплуатации. Показано что главным отличием от старых вагонов диагностирования контактной сети, является бесконтактное измерение параметров контактной сети.

Полученные результаты диагностирования контактной сети на участке скоростного движения пассажирских поездов перегон Блок Пост 3505км-Разъезд №3 позволяют наглядно ознакомиться и рассмотреть некоторые диагностируемые параметры, а в частности высоту подвеса контактного провода и значение зигзага. Стоит отметить, что с развитием высокоскоростного движения в Узбекистане важной задачей является поднять уровень диагностики. Это будет возможно путем модернизации существующего вагона лаборатории, основываясь на последних модификациях ВИКС.

Функциональные возможности последних модификаций ВИКС значительно расширены.

В настоящее время производится модернизация аппаратных и технических средств ВИКС направленная на повышение надежности и точности измерений, а также с целью создания автоматизированных рабочих мест ЭЧК, что позволило бы наиболее эффективно организовать эксплуатацию контактной сети.

Поскольку оборудование ВИКС образца 1991 года выпуска функционирующего на нашей дороге морально устарело, возникла необходимость в модернизации ВИКС, которая будет основываться на базе современных технологий микропроцессорной и вычислительной техники нового поколения.

При модернизации ВИКС большое внимание следует уделить перспективным на сегодняшний день тепловизионным измерениям.

Этот метод находит такое широкое применение благодаря экономичности, универсальности и достоверности результатов измерения.

Тепловизионные измерения в электрических распределительных устройствах всех классов напряжения энергетические компании применяют уже много лет как классический метод технической диагностики [25].

Тепловидение, или термография, представляет собой удобный и точный метод измерений и делает возможным исследование и оценку состояния электротехнических установок, что нельзя было реализовать традиционными средствами. Термография относится к разряду методов обеспечения безопасности и согласно стандарту DIN VDE 0105 должна использоваться для регулярно проводимых ревизий с целью:

- документирования состояния установок и оценки потенциальных рисков;
- ранней локализации слабых мест и повреждений;
- повышения эксплуатационной готовности и надежности установок;
- исключения возможности сопутствующих отказов при аварийных ситуациях;
- снижения возможности пожара и несчастных случаев с людьми.

Подробное описание термографических приборов для контроля электротехнических установок приведено в проекте стандарта VdS 2858.

Термография не заменяет обязательных испытаний, проводимых другими методами, а также осмотров, проверки работоспособности и измерения токовой нагрузки, которые должны проводиться в рамках регулярных профилактических испытаний [26].

С помощью современной инфракрасной камеры возможно также получение изображений движущихся объектов. Как и в фотоаппарате, камера обеспечивает возможность увеличения отдельных фрагментов изображения. Однако здесь не используется объектив с изменяемым фокусным расстоянием. Применяемые в термографической камере объективы с постоянным фокусным расстоянием калибруются по температуре.

Под достоверностью принято понимать вероятность соответствия результатов диагностики истинному (фактическому) техническому состоянию объекта [27].

В 2002 г. на мировом рынке диагностического оборудования появилась двухспектральная (со встроенными УФ- и видеоканалами) камера DayCorII (OFIL Ltd., производство Израиль) последнего поколения (далее по тексту УФ-камера). Камера получает питание от аккумулятора напряжением 12 В, продолжительность работы которого составляет 3 ч.

Основные технические характеристики УФ-камеры DayCorII

Технические характеристики	DayCorII
Подавление солнечного света в УФ-канале	Полное
Поле зрения Н·V, град	5·3,75
Разнесение УФ и видимого изображения, мм, при расстоянии от камеры до объекта 50 м	50
Фокусное расстояние, м	от 3 до бесконечности
Минимальная интенсивность УФ-излучения, Вт/см ²	3·10 ⁻¹⁸
Минимальный разряд, пКл, фиксируемый камерой на расстоянии 8 м	1,5 – 2
Рекомендуемое напряжение объекта, кВ	более 15
Видеостандарты	PAL или NTSC
Возможное увеличение видимого изображения: оптическое программное	двукратное восьмикратное
Рабочая освещенность в сумерки, лк	1
Размер ПЗС матрицы видеокамеры, мм	752·582
Дисплей LCD: разрешение, пиксель яркость, Кд/м ²	320·234 320
Число градаций усиления УФ-канала (ручное регулирование)	25
Объем памяти съемной карты для записи изображений, Гб	1
Потребляемая энергия, Вт	16
Габариты L·W·H, мм	250·170·150
Рабочая температура, °С	от -20 до +55

Камера DayCorII комплектуется универсальным адаптером AC/12V DC, двумя аккумуляторными батареями NiMH мощностью 50 Вт, интенсивным зарядным устройством для четырех аккумуляторов; в комплект входят также жилет для переноски с сумкой для батарей и специальный чемодан для камеры

Предусмотрены автоматическая и ручная фокусировка видимого и УФ-каналов, автоматическая и ручная экспозиция.

По техническим и эксплуатационным характеристикам УФ-камера (рис. 4.13) является наиболее современной и чувствительной к УФ-излучениям короны при дневном свете. За рубежом ее успешно используют для диагностирования изоляторов ЛЭП с вертолета, при осмотрах трансформаторов, обмоток электромашин на напряжение от 6 кВ и выше; она находит применение и в других отраслях промышленности. УФ-камера позволяет производить диагностирование как при полном дневном, так и при ночном освещении, а также в условиях плохой погоды: туман, слабый дождь.



Рис. 4.13 Вид сбоку и сзади тепловизионной камеры ТН7102

Следует отметить, что УФ-дефектоскоп «Филин 6» не обеспечивает получения четкого изображения объекта и разрядов в условиях дневного освещения и при атмосферных осадках даже при напряжении 100 кВ. Это объясняется тем, что его чувствительность в 700 – 1000 раз меньше, чем камеры DayCorII.

Камера DayCorII является биспектральной: она содержит УФ- и видеокамеры, каждая из которых работает в своем оптимальном диапазоне. Для УФ-камеры выбран оптимальный диапазон 0,24 – 0,28 мкм, поскольку ему соответствует максимальная интенсивность излучения ПЧ-разрядов и короны. Обеспечение высокой чувствительности датчика камеры в этом диапазоне достигается применением высокоэффективных

оптических фильтров. Диапазон работы встроенной видеокамеры составляет 0,45 – 0,75 мкм. Отличное качество изображения обеспечивается совмещением (наложением) УФ- и видимого изображений изолятора в цвете. Наличие видеовыхода PAL (NTSC) позволяет после оцифровки сигнала в АЦП компьютера получить диагностическую информацию в реальном масштабе времени в виде цифрового видеофильма. Наглядность, быстродействие (частота работы УФ-камеры — 24 Гц), отстройка (фильтрация) от световых шумов, широкий диапазон изменения экспозиции, пространственное разрешение и высокая чувствительность обеспечивают достоверность диагностической информации и надежное распознавание дефектных изоляторов.

Основной характеристикой, определяющей качество УФ системы диагностики, является ее чувствительность. Она характеризуется минимальной плотностью энергии УФ излучения E_{\min} ПЧР или короны, которую улавливает детектор камеры. Для DayCorII $E_{\min} = 3 \cdot 10^{-18}$ Вт/см при наблюдении изоляции с дистанции 8 метров. Оценка технического состояния изоляции и принятие решения о ТО и P производится исходя из наличия или отсутствия ПЧР или короны. Чем выше плотность энергии излучения и чем на большую величину она превышает минимальный порог E_{\min} , тем выше вероятность принятия правильного решения по ТО и P изоляции и тем выше достоверность УФ диагностики. Покажем влияние чувствительности УФ системы E_{\min} на достоверность УФ диагностики- D .

Определим достоверность контроля D как вероятность принятия правильного решения о техническом состоянии изоляции по результатам контроля.

Достоверность контроля лежит в пределах: $0 \leq D \leq 1$ и определяется суммой ошибок первого и второго рода:

$$D \cong 1 - (\alpha + \beta) \quad (4.1)$$

С другой стороны, достоверность зависит от вероятности нахождения диагностического параметра E в поле допустимых значений:

$$D \cong P(E > E_{\min}) \quad (4.2)$$

где $P(E > E_{\min})$ – вероятность нахождения диагностического параметра E в поле допуска;

E, E_{\min} - текущее значение плотности потока УФ излучения и чувствительность детектора камеры, соответственно.

Причем E_{\min} , чувствительность детектора, должна быть меньше порогового значения, при котором возникают ПЧР или корона. Так для фарфоровой изоляции, пороговое значение E_{\min} определяется минимальной напряженностью электрического поля, составляющей 25-30 кВ/см. Диагностический параметр E является случайной величиной вследствие случайного характера внешних воздействий и внутренних факторов. Следуя центральной предельной теореме теории вероятности, Φ выражением (4.1):

$$P(E > E_{\min}) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{Z_H}^{+\infty} \exp(-z^2) dz \quad (4.3)$$

или

$$P(E > E_{\min}) = 0,5[1 - \Phi(Z_H)] \quad (4.4)$$

где Φ – функция Лапласа.

Приведенное значение диагностического параметра Z_H для нижней границы поля допуска определяется с помощью выражения:

$$Z_H = (E_{\min} - E_{cp}) / (\sqrt{2} \cdot \sigma E), \quad (4.5)$$

Где $E_{cp}, \sigma E$ - текущее среднее значение и оценка среднеквадратического отклонения (флуктуация) энергии излучения E , соответственно. Значение функции Лапласа табулировано и увеличивается

от 0 до 1 при изменении Z , от 0 до $+\infty$. Однако, уже при $Z = 0,050$, $\Phi(Z) \cong 0,52$; при $Z = 1$, $\Phi(Z) \cong 0,84$

При $Z = 2$, $\Phi(Z) \cong 0,995$, а при $Z = 3$, $\Phi(Z) \cong 1,000$.

Анализ функции Лапласа и выражения (4.5) показывает, что вероятность нахождения случайной величины E в поле допуска тем выше, чем шире граница интервала $(E_{cp} - E_{min})$ и меньше дисперсия σE . На практике мощность энергии излучения E , характеризуется косвенной величиной - площадью пятна S_{yf} от УФ излучения на экране дисплея УФ камеры. Практика УФ диагностики изоляции КС показывает, что среднеквадратические отклонения S_{yf} примерно постоянны и составляют 30-35%. При фиксированном значении σE , вероятность попадания в односторонний интервал $(E_{cp} - E_{min})$ случайной величины E тем выше, чем меньше E_{min} (выше чувствительность УФ камеры) и чем мощнее текущая средняя энергия излучения E_{cp} . Иными словами достоверность УФ диагностики D тем больше, чем больше разность $(E_{cp} - E_{min})$.

Проведенные исследования, стендовые, натурные эксперименты и многолетний опыт эксплуатации системы УФ диагностики изоляции КС показал [28, 29], что средняя мощность излучения ПЧР и короны E_{cp} зависит от большого числа факторов. При прочих равных условиях она значительно увеличивается с ростом напряжения и частоты в КС, температуры, влажности воздуха, при небольших атмосферных осадках, загрязнении изоляции. Мощность энергии излучения уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния от УФ камеры до изолятора и при увеличении атмосферного давления воздуха. Перечисленные выше факторы, в основном, не поддаются практическому управлению. При УФ диагностике КС приходится, главным образом, подстраиваться под внешние условия и обследования проводить преимущественно во влажную

и жаркую погоду при небольших атмосферных осадках. Что касается дистанции, с которой ведется наблюдение изоляции, то ее минимальная величина ограничивается необходимостью более полного одновременного наблюдения всех видов изоляции (подвесной, фиксаторной, консольной, ДПР) при одном проходе ВИКС. При этом как показали расчеты (4.5), эффективная дистанция составляет 8-10 м при использовании оптики с оптимальными углами поля зрения 7,5-10 градусов.

Важнейшей характеристикой, определяющей величину интервала ($E_{cp} - E_{min}$), а, следовательно, и достоверность УФ диагностики D , является чувствительность детектора камеры E_{min} . Рассмотрим эту характеристику более подробно.

УФ диапазон спектра электромагнитного излучения лежит левее видимого диапазона и составляет, примерно, от 400 до 200 нм. На рис.4.1 представлены фрагмент спектрограммы солнечного излучения и спектр излучения короны [14]. Последний показан с увеличением масштаба в 1000 раз и выделен, синим цветом. Спектр излучения короны соответствует электромагнитному излучению атмосферного азота при его ионизации. Механизм данного процесса показан в (4.4) и, в частности, может возникать вследствие наличия дефекта или загрязнения изоляции. Как следует из рисунка, спектр короны имеет два ярко выраженных максимума, приходящихся на 340 и 360 нм. Вместе с тем, в этих диапазонах мощность излучения солнца также велика.

Для того чтобы иметь возможность диагностировать изолятор при дневном свете, в современных УФ электронно-оптических дефектоскопах используется диапазон 240-280 нм, соответствующий так называемому диапазону UVc . В этом диапазоне солнечная радиация практически полностью поглощается молекулами атмосферного озона и наблюдение изоляции возможно практически без помех. Для выделения указанного спектрального диапазона, на практике в УФ канал камеры перед

детектором устанавливается специальный оптический фильтр (рис. 4.15). В свою очередь УФ детектор рассчитывается и изготавливается таким образом, чтобы обеспечить наибольшую спектральную чувствительность именно в диапазоне 240-280 нм. При этом максимальная чувствительность соответствует 260 нм. На рис. 4.16 представлен примерный график спектральной плотности распределения энергии, воспринимаемой УФ детектором двухспектральной УФ камеры [30]. Величина энергии показана в относительном виде от 0 до 1.

Совместный анализ графиков на рис. 4.14 и 4.16 показывает следующее. В рабочем диапазоне камеры 240-280 нм влияние солнечной радиации минимально, однако, и мощность УФ излучения короны достаточно мала. Особенно по сравнению с диапазоном от 320 до 360 нм, где мощность излучения короны в несколько раз выше, чем при 240-280 нм. Вместе с тем, график на рис. 4.16 показывает, что детектор камеры при длине волны от 280 до 320 нм (так называемый расширенный УФ диапазон спектра *UVb*) имеет хотя и низкую, но все же, вполне определенную чувствительность. Оценки показывают, что с учетом многократного увеличения мощности короны в этом диапазоне, полезный сигнал с УФ детектора камеры может быть увеличен примерно в 2-3 раза по сравнению с сигналом, при наблюдении изоляции в принятом «рабочем» диапазоне 240-280 нм [28]. При этом для исключения влияния солнечной радиации, УФ диагностику следует проводить в условиях вечерних и утренних сумерек, а также ночью, с использованием прожектора подсветки, работающего в видимом диапазоне, при длине волны более 400 нм. Для практической реализации предлагаемого метода повышения чувствительности УФ канала, необходимо в камере конструктивно предусмотреть автоматическое отключение (вывод из УФ канала) солнечного фильтра (см. рис.4.15).

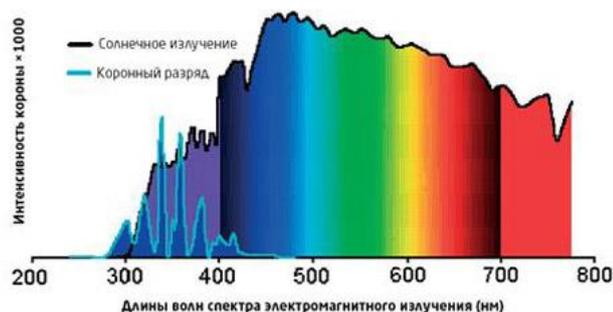


Рис. 4.14 Фрагмент спектрограммы солнечного излучения и спектр излучения короны.

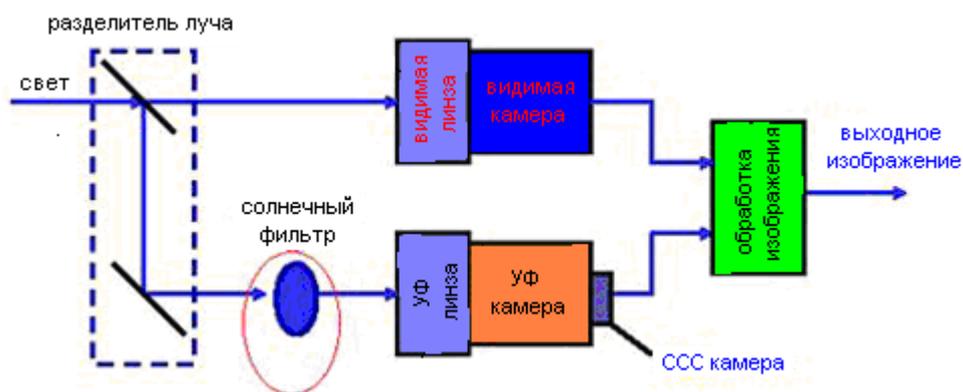


Рис. 4.15 Упрощенная блок-схема двухспектральной УФ камеры: верхний канал – видео; нижний – УФ; красным обозначен оптический фильтр.

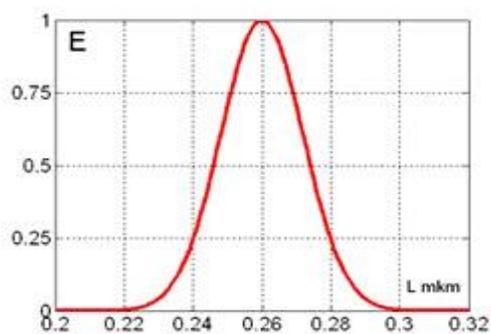


Рис. 4.16 Спектральная плотность распределения энергии E , воспринимаемая детектором УФ камеры в зависимости от длины волны L , мкм

Поскольку диагностика КС с ВИКС, включая тепловизионные обследования арматуры КС, оценку положения контактного провода,

величины зигзага и т.п., производится как днем, так и ночью, то расширение суточных временных рамок применения метода УФ диагностики изоляции КС вполне логично и целесообразно.

Проиллюстрируем взаимосвязь чувствительности E_{\min} и достоверности УФ диагностики D на числовом примере. Примем исходные условия для расчета D , применительно к дефекту изоляции на самой ранней стадии его развития. Зададим чувствительность УФ детектора $E_{\min} = 3 \cdot 10^{-18} \text{ Вм} / \text{см}^2$, что соответствует параметрам камеры DayCorII фирмы Ofil (Израиль) при наблюдении изоляции с расстояния 8 м [10]. Среднюю энергию излучения E_{cp} примем на 10% выше E_{\min} , что соответствует работе камеры на пределе ее чувствительности. Среднеквадратическое отклонение энергии примем по статистическим данным и опыту эксплуатации $\sigma E = 35\%$. Используя выражения (4.4) и (4.5) получим:

$$D = 0,5\{1 - \Phi[(3 - 3,3)/(3,3 \cdot 0,35\sqrt{2})]\} = 0,5\{1 - \Phi[-0,184]\} = 0,605$$

На практике это означает, что из 100 дефектных изоляторов попадающих в поле зрения УФ системы диагностики, наиболее вероятно будет выявлено лишь 60. Естественно, для практики эксплуатации изоляции КС этого явно недостаточно.

Предположим, что при всех прочих равных условиях, чувствительность камеры $E_{\min} = 1,5 \cdot 10^{-18} \text{ Вм} / \text{см}^2$, т.е. увеличилась в 2 раза. Будем иметь:

$$D = 0,5\{1 - \Phi[-1.105]\} = 0,945$$

Таким образом, при заданных начальных условиях, увеличение чувствительности детектора в 2 раза с $E_{\min} = 3 \cdot 10^{-18}$ до $E_{\min} = 1,5 \cdot 10^{-18} \text{ Вм} / \text{см}^2$, повышает достоверность УФ диагностики изоляции с 60,5 до 94,5%. Иными словами из 100 дефектов будет выявлено 94, т.е. подавляющее большинство. Из выражения (4.1) следует, что с

ростом достоверности D уменьшаются суммарные ошибки диагностики, в т.ч. наиболее опасные для эксплуатации изоляции КС ошибки второго рода β - пропуски отказов, связанные, в конечном итоге, с перекрытием изоляции.

Используя формулы (4.4) и (4.5) можно получить выражение в общем виде для оценки необходимой чувствительности детектора E_{\min} , обеспечивающей заданную достоверность D при фиксированных значениях E_{cp} и σE :

$$1 - E_{\min} / E_{cp} > \Phi(Z_H D) > \sqrt{2\sigma E}, \quad (4.6)$$

где $\Phi(Z_H D)$ – функция Лапласа, соответствующая заданной достоверности D и определяемая выражением (4.4).

Предложенный подход к оценке достоверности и увеличению чувствительности УФ метода, способствует повышению эффективности мобильной диагностики изоляции КС и выравниванию количественного дисбаланса выявляемых дефектов с ВИКС и путем пеших обходов.

Анализ, показывает, что появление неисправностей КС, включая дефекты изоляторов, в значительной степени объясняется недостаточностью предупредительных мер, принимаемых работниками дистанций электроснабжения, низкой эффективностью и недостаточным использованием технических средств диагностирования [27].

Разработка диагностической системы

Создаваемая на базе камеры DayCorII быстродействующая компьютеризированная система диагностирования изоляторов КС будет установлена в вагоне-лаборатории для испытаний контактной сети. При ее разработке был использован опыт создания компьютеризированной тепловизионной системы диагностирования арматуры КС на базе ВИКС ЦЭ. Предусматривается решение следующих исследовательских и организационно-технических задач:

1. Формирование аппаратной части высокоскоростного измерительно-информационного УФ-комплекса, состоящего из биспектральной камеры DayCorII, интерфейса для ее сопряжения с бортовым компьютером и измерительно-вычислительным комплексом (ИВК) вагона-лаборатории, кварцевого иллюминатора и кронштейна для установки камеры;

2. Разработка алгоритмов компьютерной обработки (первичной и вторичной) совмещенных видео и УФ-изображений изоляторов, оценки технического состояния изоляторов, прогнозирование сроков службы, определения вида и содержания осмотров и ремонтов, корректировки графиков осмотров и ремонтов контактной сети, оценки возможности продления ресурса изоляторов;

3. Формирование специальных и прикладных программ ввода и обработки измерительной информации по данным УФ-аппаратуры, создание системы мониторинга технического состояния изоляторов с учетом информационных потоков, получаемых от бортового измерительно-вычислительного комплекса ВИКСа;

4. Разработка организации и методики контроля и диагностических обследований изоляторов, создание регламента и сценария проведения УФ-съемки с учетом внешних условий (время суток, состояние атмосферы, скорость электроподвижного состава, номенклатура, характеристики, условия эксплуатации изоляторов и др.) и обработки измерительной информации; разработка методических рекомендаций по оценке технического состояния изоляторов, определению причин, вызвавших неисправности (загрязнение, увлажнение, повреждение покрытия, трещины и др.), а также по мерам устранения дефектов, восстановления эксплуатационных свойств или замене изоляторов.

УФ-камера устанавливается на вышке ВИКС аналогично тепловизионной камере. Наблюдения производятся через специальный иллюминатор, выполненный из кварцевого стекла КУ-1, пропускающего

УФ- и видимый спектральный диапазоны (0,20– 0,75 мкм) с коэффициентом пропускания 0,95 - 0,99. Предусматривается расположение в двух секторах, по ходу и против движения поезда (в зависимости от внешних световых шумов), с ориентацией в направлении опор контактной сети и под углом 15 – 25° к горизонту.

УФ-система обеспечивает возможность диагностирования следующих изоляторов контактной сети переменного тока напряжением 27,5 кВ: фарфоровых тарельчатых подвесных и фиксаторных; фарфоровых секционных стержневых и фиксаторных стержневых; стеклянных тарельчатых подвесных.

Комплекс программного обеспечения

Программный комплекс системы диагностирования должен обеспечивать следующее:

- первичную обработку информации с частотой сканирования, задаваемой оператором в зависимости от скорости движения ВИКСа в составе поезда;

- статистическую обработку УФ-изображения с оценкой достоверности измерительной информации;

- получение совмещенных УФ и видимых изображений изоляторов в реальном масштабе времени в виде полноцветного цифрового фильма с последующей записью на жесткий диск бортового компьютера;

- управление с компьютера по интерфейсу RS232 фокусом и экспозицией камеры;

- количественную оценку относительной яркости ПЧ-разрядов и короны с указанием места их нахождения на поверхности изолятора;

- определение места дефектных изоляторов в гирлянде, оценку степени развития дефекта и выдачу рекомендаций по принятию решений о дальнейшей эксплуатации дефектного изолятора;

- внесение дефектных изоляторов в память компьютера с привязкой к номеру опоры и участку КС, выделение необходимых фрагментов, их масштабирование и редактирование;

- распечатку цифровых цветных диагностических изображений изоляторов на принтере;

- обмен данными по интерфейсу бортового ИВК вагона-лаборатории;

- цветное представление совмещенных УФ и видеоизображений изоляторов на экранах дисплея компьютера и монитора, возможность просмотра цифровых фильмов, их редактирование, выделение и запись необходимых фрагментов с дефектными изоляторами;

- возможность записи УФ и видеоизображений изоляторов на видеомаягнитофон;

- архивация данных УФ-обследований изоляторов, составление электронной документации и получение твердой копии с диагностической информацией в виде отчета;

- возможность записи фрагментов цифровых фильмов с изображениями дефектных изоляторов в УФ и видеодиапазонах с привязкой к номерам опор на компакт-диск и съемный жесткий диск компьютера и последующую передачу в записи в дорожную электротехническую лабораторию и в службу электроснабжения железной дороги;

- обеспечение работы на IBM совместимых компьютерах в среде Windows;

- использование удобных графических диалоговых моделей, обеспечивающих пользователю максимальный сервис и простоту работы [29,30].

Перспективы создания компьютеризированной системы диагностирования изоляторов контактной сети по ультрафиолетовому излучению

Примеры диагностирования изоляторов УФ-системой

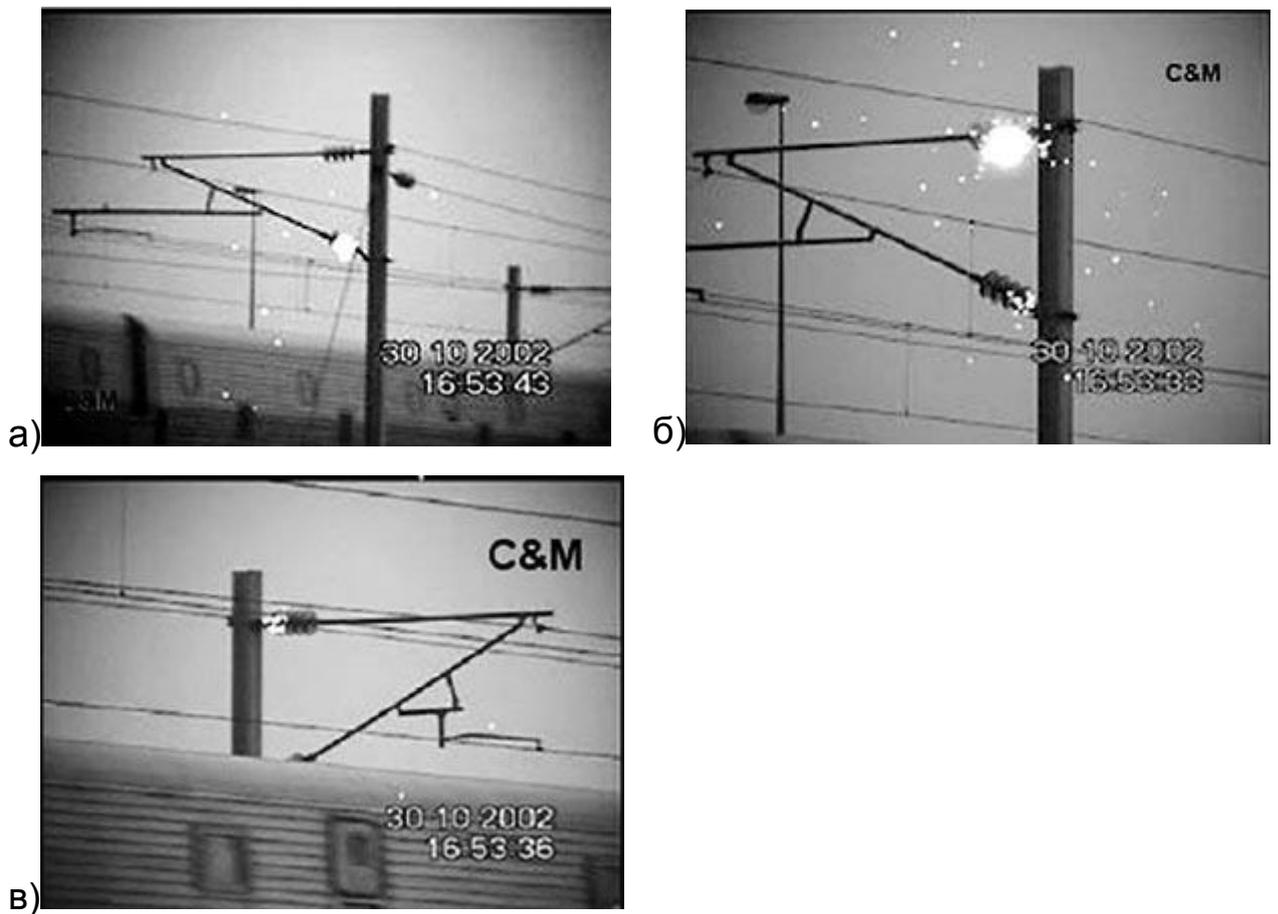


Рис. 4.17 Совмещенные видео и УФ-изображения дефектов гирлянд изоляторов:
 а — в кронштейне консоли; б — в тяге консоли и части изоляторов в кронштейне;
 в — части изоляторов в тяге консоли

На рис. 4.17 представлены совмещенные УФ- и видеоизображения трех опор КС переменного тока на участке скоростной железной дороги, соединяющей Англию и Францию через Евротоннель. Пробные обследования изоляторов контактной сети проводились специалистами фирмы OFIL (Израиль) с помощью камеры DayCorII путем обхода в дневное время. На рис. 4.17а четко просматривается корона на гирлянде из четырех изоляторов в кронштейне консоли. На рис. 4.17б зафиксирована большая корона на гирлянде изоляторов в тяге консоли; кроме того, на гирлянде изоляторов кронштейна консоли наблюдаются сильные ПЧ-разряды. На рис. 4.17, в видны сильные ПЧ-разряды на первом и втором изоляторах (со стороны опоры) гирлянды в тяге консоли. Все упомянутые

изоляторы после фактической проверки контактными методами были признаны дефектными и впоследствии заменены.

Необходимо отметить, что на всех трех изображениях в УФ-диапазоне просматриваются белые точки, что объясняется наличием световых шумов и ионизацией воздуха под действием напряжения в контактной сети (рассматриваются как помехи). На рис. 4.17, а и в видны изображения вагонов скоростного поезда; это свидетельствует о высоком быстродействии УФ-камеры.

Необходимо отметить, что наряду с УФ-методом диагностирования изоляторов КС целесообразно использовать тепловизионный метод с помощью инфракрасной системы диагностирования КС, установленной ООО «НИИЭФА-Энерго» на большинстве ВИКС ЦЭ. При этом осуществляется комплексное диагностирование изоляторов с использованием широкого диапазона оптического спектра электромагнитного излучения: от 0,21 до 8,3 мкм. Это обеспечивает высокую достоверность результатов диагностирования и устойчивость системы к внешним условиям (время суток, состояние атмосферы, перепад температур воздух и т. д.), большую наглядность и простоту восприятия диагностической информации [28].

Калибровка оптической системы

Для точной работы устройства необходимо знать расстояние S с точностью до пикселя. Так как выставить камеру в точно заданных параметрах очень сложно, то проводят калибровку каждого устройства в отдельности. Для каждой камеры каждому котангенсу угла присваивают номер пикселя и создают таблицу возможных положений провода.

Рассмотрим левую и правую камеры, геометрические расчеты для которых будут дуальны из-за симметричного расположения относительно оси движения вагона (рис.4.18).

Методика калибровки системы предполагает расположение имитаторов контактных проводов с известными заранее координатами в

пределах наблюдаемой области. Калибровка системы проводится по четырем имитаторам для учета возможной нелинейности поля зрения оптической системы прибора с зарядовой связью камеры (ПЗС). Конечным результатом калибровки является таблица котангенсов углов визирования каждой камеры, где каждому углу визирования ставится в соответствие определенный номер пикселя ПЗС камеры. По заданным координатам, решая треугольники, вычислим углы визирования имитаторов:

$$C_0 = \operatorname{arctg} \frac{h}{L+b} \quad C_1 = \operatorname{arctg} \frac{H}{L+b} \quad C_2 = \operatorname{arctg} \frac{h}{L} \quad C_3 = \operatorname{arctg} \frac{H}{L}$$

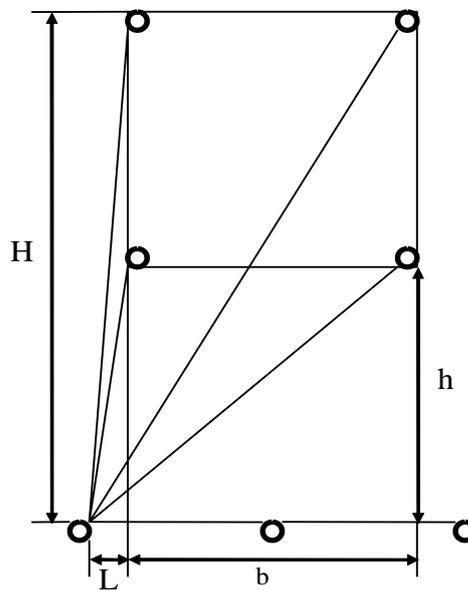


Рис. 4.18 - Лучи визирования при тарировке боковых ПЗС камер

Аппроксимируем функцию зависимости углов лучей C визирования от номеров пикселей S линейки ПЗС $C = F(S)$ кривой третьего порядка:

$$C = A_0 + A_1 \cdot S + A_2 \cdot S^2 + A_3 \cdot S^3$$

С помощью полученных отсчетов от ПЗС камеры найдем коэффициенты уравнения, подставив номера пикселей в систему уравнений:

$$C_0 = A_0 + A_1 \cdot S_0 + A_2 \cdot S_0^2 + A_3 \cdot S_0^3$$

$$C_1 = A_0 + A_1 \cdot S_1 + A_2 \cdot S_1^2 + A_3 \cdot S_1^3$$

$$C_2 = A_0 + A_1 \cdot S_2 + A_2 \cdot S_{22} + A_3 \cdot S_{23}$$

$$C_3 = A_0 + A_1 \cdot S_3 + A_2 \cdot S_{32} + A_3 \cdot S_{33}.$$

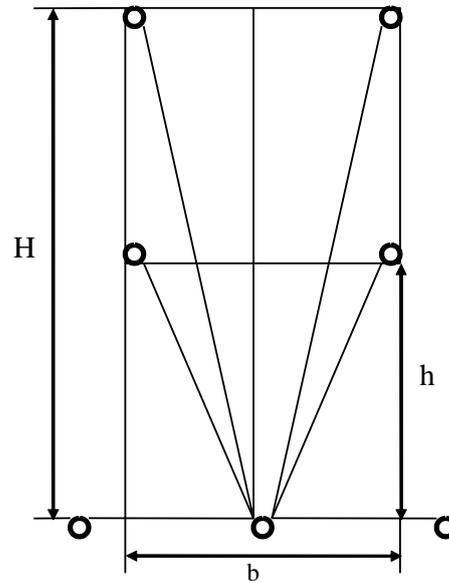


Рис. 4.19 - Лучи визирования при тарировке средней ПЗС камеры

В качестве примера найдем коэффициент $A_0 = D/D_0$, используя правило Крамера. Где D определитель матрицы четвертого порядка:

$$\begin{vmatrix} 1 & S_0 & S_0^2 & S_0^3 \\ 1 & S_1 & S_1^2 & S_1^3 \\ 1 & S_2 & S_2^2 & S_2^3 \\ 1 & S_3 & S_3^2 & S_3^3 \end{vmatrix}.$$

А D_0 определитель матрицы четвертого порядка:

$$\begin{vmatrix} C_0 & S_0 & S_0^2 & S_0^3 \\ C_1 & S_1 & S_1^2 & S_1^3 \\ C_2 & S_2 & S_2^2 & S_2^3 \\ C_3 & S_3 & S_3^2 & S_3^3 \end{vmatrix}.$$

В реальных условиях для заполнения таблицы используется не сам угол, а его котангенс, который и используется для вычисления декартовых координат КП (смотри выше):

$$M[S] = \text{ctg}(A_0 + A_1 * S + A_2 * S^2 + A_3 * S^3) S \in (0 \dots 2047).$$

Выполним аналогичные расчеты для средней камеры (рис. 4.18).

Вычисляя углы подвеса имитаторов, решим симметричные треугольники:

$$C_0 = \operatorname{arctg} \frac{-b}{2 * h} C_1 = \operatorname{arctg} \frac{-b}{2 * H} C_2 = \operatorname{arctg} \frac{b}{2 * H} C_3 = \operatorname{arctg} \frac{b}{2 * h}.$$

Все остальные расчеты аналогичны боковым ПЗС камерам. Результатом является таблица, где каждому отсчету ставится в соответствие тангенс угла подвеса КП:

$$M[S] = \operatorname{tg}(A_0 + A_1 * S + A_2 * S^2 + A_3 * S^3) S \in (0 \dots 2047) [33].$$

Из проведенного анализа наглядно видны преимущество представленной камеры перед другими камерами применяемыми ранее. Внедрение этой камеры поможет существенно увеличить уровень технической диагностики контактной подвески на скоростных участках движения.

Выводы по четвертой главе

1. Проанализированы результаты диагностирования полученные вагоном-лабораторией на реальном участке перегона Блок Пост 3505км-Разъезд №3, что дает возможность наглядно рассмотреть все отклонения допущенные при монтаже контактного провода. По этим данным выявлены участки с характерными отклонениями и рассмотрены возможные их причины.

2. По результатам исследования и анализа технического состояния контактной подвески на скоростном участке движения поездов на основе данных полученных вагоном – лабораторией для испытания контактной сети ВИКС составлена математическая модель оценки состояния контактной сети. Разработанные формулы реализованные на Microsoft Excel в виде электронных таблиц и диаграмм, позволят наблюдать состояние контактной сети реального участка ж. д. Узбекистана.

3. Для увеличения надежности и безопасности электрифицированных железных дорог Узбекистана необходимо

существенно повысить качество диагностики контактной сети. Необходима модернизация и замена функционирующего оборудования, которое устарело. Это является важным шагом в качестве диагностики, учитывая развитие скоростного движения в стране.

4. Одним из путей повышения достоверности и эффективности УФ-системы диагностики на базе ВИКС и снижения количества пропущенных дефектов является расширение спектрального диапазона наблюдения с 240-280 до 240-320 нм. Техническая реализация данного подхода заключается в автоматическом выключении солнечного фильтра из оптического тракта УФ камеры. Диагностические обследования при этом следует проводить в утренние и вечерние сумерки, а также ночью, с использованием прожектора подсветки, работающего в видимом диапазоне при длине волны более 400 нм.

5. Практическая аппаратно-программная и организационно-техническая реализация представленных методов и средств УФ диагностики, будет способствовать дальнейшему повышению надежности и эффективности эксплуатации электроизоляции оборудования и систем в хозяйстве электроснабжения.

6. Мобильная система диагностики арматуры и изоляции контактной сети по инфро-красному и ультра-фиолетовому излучениям конструктивно и информационно может быть введена в состав диагностического оборудования ВИКС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проделаны теоретические и экспериментальные исследования в области совершенствования методов и средств повышения надежности работы контактной сети электрических железных дорог.

В результате изучения современных устройств слежения за параметрами контактного провода было описано назначение и принцип

работы основных блоков устройств, обоснована необходимость внедрения конкретных устройств на железных дорогах Узбекистана.

Проведен анализ причин отказа и сбоев в работе контактной сети, приведены и рассмотрены основные меры по их устранению.

Проанализировано состояния контактной сети на участке перегона Блок Пост 3505-Разезд №3 на основании реальных данных полученных в результате объезда участка вагоном-лабораторией ВИКС, функционирующего в нашей республике.

По полученным результатам диагностирования построена математическая модель в виде формул, а затем в виде программы в сфере Microsoft Excel для выявления нарушений в работе системы и расчету штрафных баллов и построения диаграмм сравнения фактического состояния контактной сети с нормативным.

В результате изучения оснащения и принципа работы ВИКС, а также действующих средств диагностики показали несомненные преимущества новой совмещенной УФ-камеры DayCorII предназначенной для диагностики изоляции контактной сети.

Предложен новый подход к оценке состояния контактной сети посредством перехода к стратегии технического обслуживания и ремонта по ее фактическому состоянию, что является важным и необходимым шагом к повышению надежности и эффективности эксплуатации электрифицированных железных дорог.

Рекомендуем использовать построенную математическую модель на других участках скоростного движения и в учебном процессе, а так же использовать предложенную камеру DayCorII при модернизации ВИКС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энциклопедия железной дороги. www.jd-enciklopedia.ru.
2. Михеев В.П. Скоростное движение на железных дорогах России // Железнодорожный транспорт. 2002. № 4. С. 73-74
3. А. Claire. Локомотивы нового поколения. // Железные дороги мира.- 2010.-№12.-С.6-16
4. Михеев В.П. Контактные сети и линии электропередач. М.: Маршрут, 2003. 21с.
5. В. И. Сопов. Контактная сеть.: - Новосибирск: НГТУ, 2004г, 3с
6. Беляев И.А. Эластичность высокоскоростных контактных подвесок // Локомотив. 2002. № 4. С. 42-43.
7. Борц Ю.В., Чекулаев В.Е. Контактная сеть. М.: Транспорт, 2001. 247 с.
8. Контактная сеть и воздушные линии. Нормативно-периодическая документация по эксплуатации контактной сети и высоковольтным линиям: Справочник. М., 2001.512 с.
9. Ведомственные технические указания по проектированию контактной сети высокоскоростных железных дорог: ВСН 447-Н., - Ташкент: ТашиИТ, 2010.
10. Котельников А.В. Электрификация железных дорог: Мировые тенденции и перспективы. М.: Интекст, 2002. 104 с.
11. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог. Учебник для вузов ж.-д транспорта / А.В. Ефимов, А.Г. Галкин. М.: УМК МПС России, 2000 - 512 с.
12. Сафарбаков А.М., Лукьянов А.В.. Основы технической диагностики. Электроснабжение железных дорог.: - Иркутск: ИрГУПС, 2006. с 7-10.
13. Ведомственные технические указания по производству и приемке строительных и монтажных работ при электрификации высокоскоростных

железных дорог(устройства контактной сети): ВСН 446-Н.: - Ташкент:ТашИИТ, 2010.

14. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог. – Ташкент. ГАЖК «Узбекстон темир йуллари»,2001г.

15. Галкин А.Г. Анализ научных и инженерных разработок в области технического обслуживания и ремонта контактной сети. Уральский государственный университет путей сообщения. — Екатеринбург, 2002.

16. Галкин А.Г. Анализ износа контактных проводов в пределах пролета контактной сети // Повышение надежности работы устройств электроснабжения железных дорог: Сб. науч. тр. Екатеринбург: УрГУПС, 2000. С. 43-48.

17. Вильде Ю., Руквид А., Бекер К., Цвайг Б, Реш У. Оптимизация выбора параметров контактной сети // Ж.-д. трансп. за рубежом. Сер. Электрификация. Автоматика и связь. АСУ: ЭИ/ЦНИИТЭИ МПС. 2000. - Вып. 2.

18. Бекер К. Износ элементов системы «контактный провод — токоприемник» на высокоскоростных линиях // Ж.д. мира. 2000.

19. Митрофанов А.Н., Митрофанов С.А. Анализ и проблемы использования методики возникновения и предупреждения происшествий и событий на контактной сети // Актуальные проблемы проектирования и эксплуатации контактных подвесок и токоприемников электрического транспорта: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. ОМГУПС, 25, 26 мая 2011. Омск, 2011.-с 101-109.

20. Многомерный статистический анализ в экономике: учеб. пособие для вузов / Л.А. Сошникова и др.; под ред. проф. В.Н. Тамашевича. М.: Юнити-Дана, 2001. 598 с.

21. Митрофанов С.А., Митрофанов А.Н., Волгушев Д.В. Математическая модель оценки качества состояния объектов системы

электрообеспечения ОАО «РЖД» // Вестник Самарского муниципального института управления: теоретический и научно-методический журнал. Самара: Изд-во «Самарский муниципальный институт управления», 2011. № 1(16). –с. 122–128.

22. Указания по техническому обслуживанию и ремонту опорных конструкций контактной сети. (К-146-2002) Департамент электрификации и электрообеспечения Министерства путей сообщения Российской Федерации. – М., "Трансиздат", 2003 г.-180с.

23. Инструкция по эксплуатации металлических несущих конструкций устройств электрообеспечения железных дорог, ЦЭТ-39. Управление электрификации и электрообеспечения Министерства путей сообщения Российской Федерации. – М., "Транспорт", 1993 г.-115с

24. Балльная оценка состояния контактной сети.– М., "Трансиздат", 2002 г.-150с.

25. Ефимов А.В., Галкин А.Г. Надёжность и диагностика систем электрообеспечения железных дорог: Учебник для вузов ж/д транспорта / М : УМК МПС России, 2000 г.-280с

26. Володарский А. В. Опыт тепловизионного контроля устройств электрообеспечения ж. д. в кн. Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: В 2 т./ Отв. ред. В. П. Суров. Красноярск: Изд-во "Гротеск", 2005 г.-300с.

27. Точность и достоверность контроля при тепловизионном диагностировании оборудования электрифицированных линий / Ю.И. Плотников // Железные дороги мира. 2006. №3. С. 38-46.

28. Мобильная система диагностики изоляторов контактной сети по ультрафиолетовому излучению /В.В. Хананов, А.В. Мизинцев, Ю.И. Плотников [и др.] // Железные дороги мира. 2006. №9. С. 54-62.

29. Ультрафиолетовая диагностика изоляции контактной сети: модернизация мобильной системы / Ю.И. Плотников, Ю.М. Федоришин, С.В. Демидов // Железные дороги мира. 2009. №5. С.53-60.

30. The design and evaluation of a Multi-Spectral Imaging Camera for the inspection of transmission lines and substation equipment // R. Stolper, J. Hart, N. Mahatho // Applied Optics 11, 2006. CSIR, South Africa.

31. Моисеев, В. А. Инфракрасная термография в диагностике высоковольтного электрооборудования Текст. /В.А. Моисеев // Энергетик.-2003.-№10.

32. Поляков В. Тепловизионная диагностика высоковольтного оборудования энергосистем и энергопредприятий Текст. / В. Поляков, Л. Петров // Новости электротехники.-2001 .-№5.

33. Плотников Ю.И. Испытания системы ультрафиолетовой дефектоскопии контактной электросети железных дорог Текст. / Ю.И. Плотников, Ю.М. Федоришин, В.Ф. Грачев, В.А. Головичер, М.А. Вихров // Энергетик.-2006.- №4.-с.45.-№5.-с.45.-№6.-с.47.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение А

ОСНОВНЫЕ ДЕФЕКТЫ И ХАРАКТЕРНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ

А.1 Результаты входного контроля железобетонных стоек



Рис. А.1-Отсутствие установленных закладных деталей и гидроизоляционного покрытия фундаментной части стоек

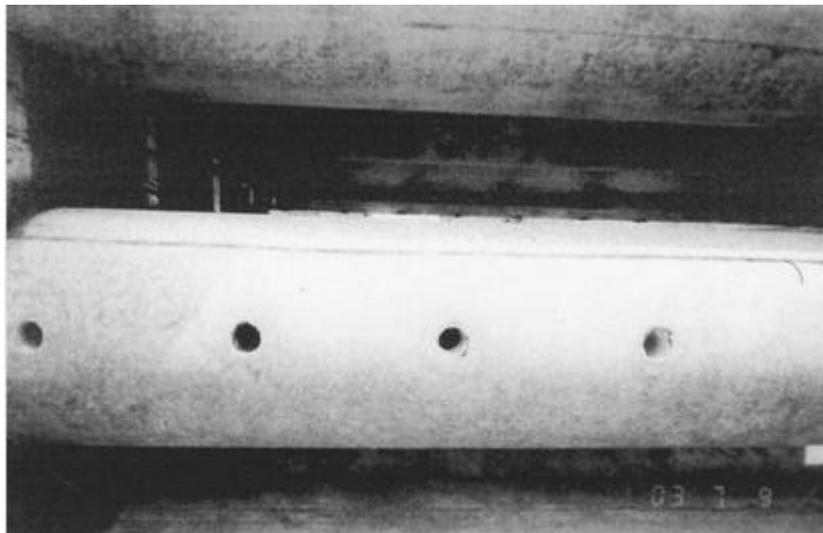


Рис. А.2- Отклонения действительных значений геометрических размеров расположения отверстий



Рис. А.3 - Низкая прочность бетона

А.2 Примеры дефектов опор

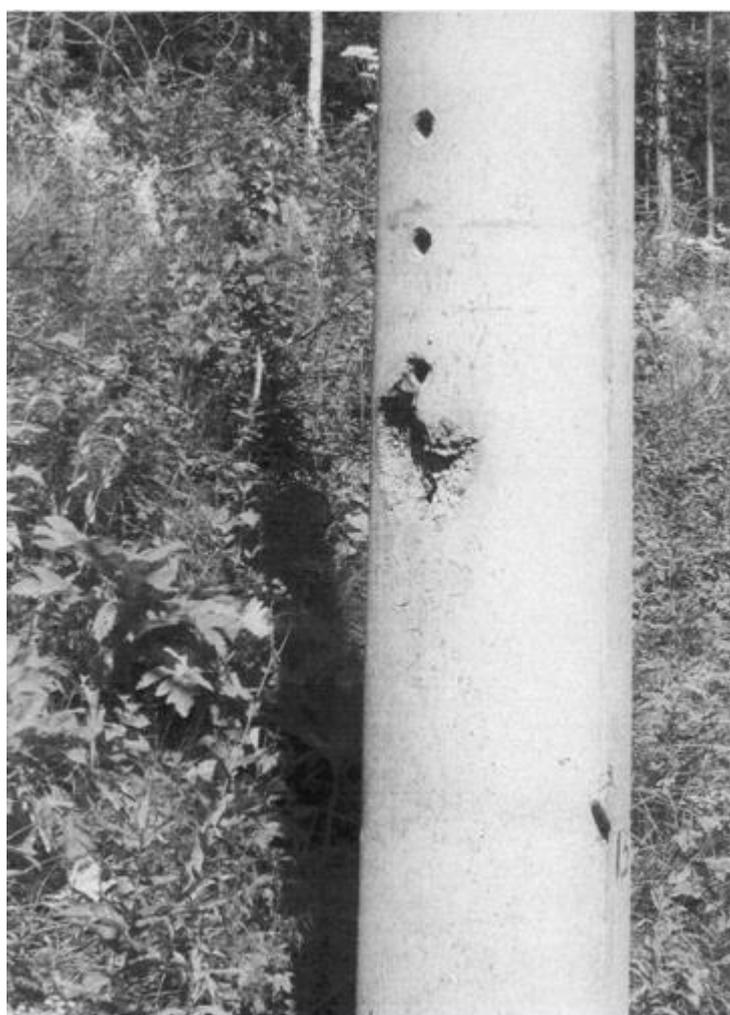


Рис. А.4-Выкол бетона, причина – постороннее воздействие



Рис. А.5-Продольные трещины, причина – неравномерное увлажнение бетона, температурные воздействия



Рис. А.6-Поперечные трещины, причина – временная перегрузка опоры в процессе монтажа

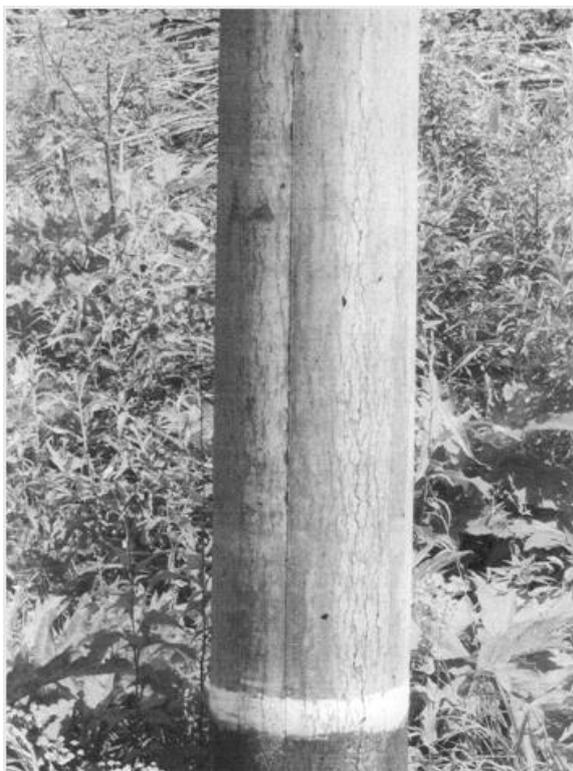


Рис. А.7-Сетка мелких трещин, причина – воздействие внутренних напряжений при замораживании и оттаивании бетона

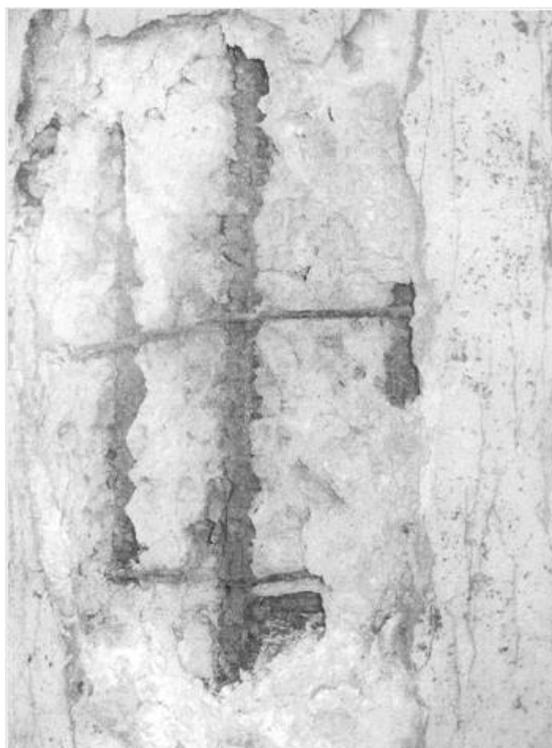


Рис. А.8 - Комплексные повреждения: местный выкол с обнажением арматуры, коррозионные разрушения арматуры, трещины

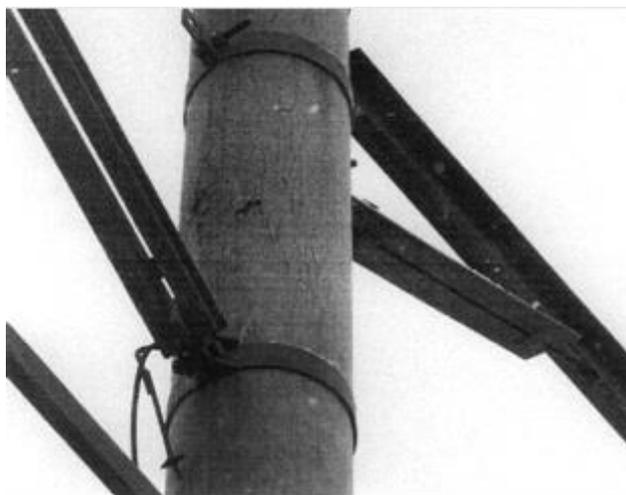


Рис. А.9 - Сетка мелких трещин в зоне крепления консоли



Рис. А.10 - Повреждение фундамента железобетонной опоры

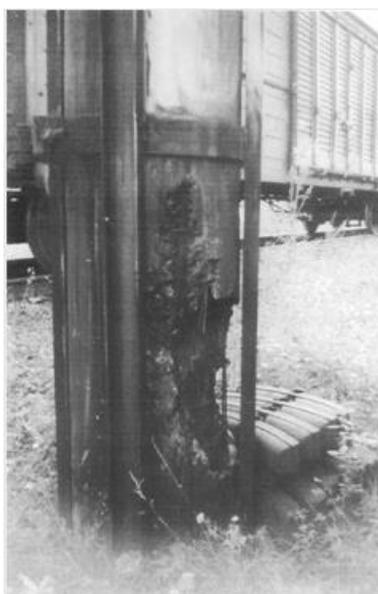


Рис. А.11 - Железобетонная опора, поврежденная путевой техникой



Рис. А.12 - Металлическая опора, поврежденная путевой техникой



Рис. А.13-Коррозия арматуры нижней надземной части железобетонной опоры, из-за выполнения декоративного покрытия влагонепроницаемой краской (масляной эмалью ПФ)

Средства диагностики контактной сети



Рис. Б.1-Ультразвуковой прибор «ДАЛЬ - 2



Рис. Б.2-Ультразвуковой
толщиномер ТТ-300



Рис. Б.3- Ультразвуковой
толщиномер ТТ-100

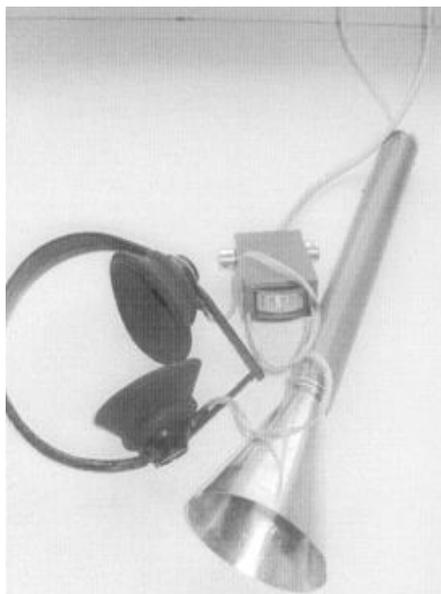


Рис. Б.4- Ультразвуковой дефектоскоп УД-8



Рис. Б.5- Прибор "Ультраскан-2004"

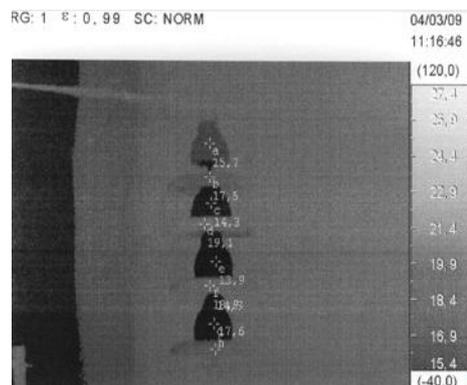


Рис. Б.6-Термограмма гирлянды фарфоровых изоляторов



Рис. Б.7- Термограмма опорного изолятора разъединителя с трещиной в фарфоре

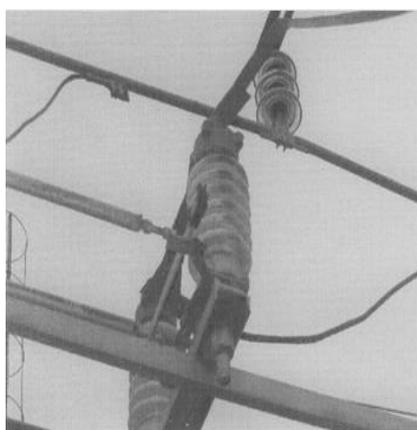


Рис. Б.8-Фотография опорного изолятора

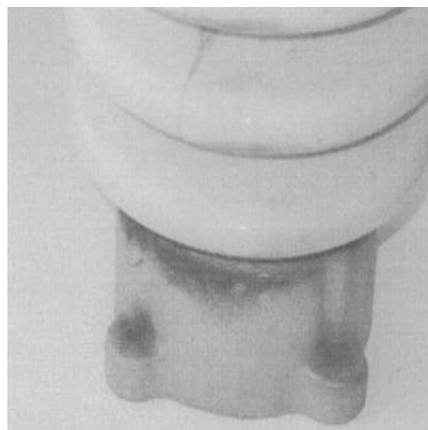


Рис. Б.9- Фотография опорного изолятора со следами утечки тока .

Устройство вагона-лаборатории ВИКС



Рис. В.1-Вагон для исследования контактной сети (ВИКС)



Рис. В.2-Стойка аппаратуры ИВК и рабочее место оператора

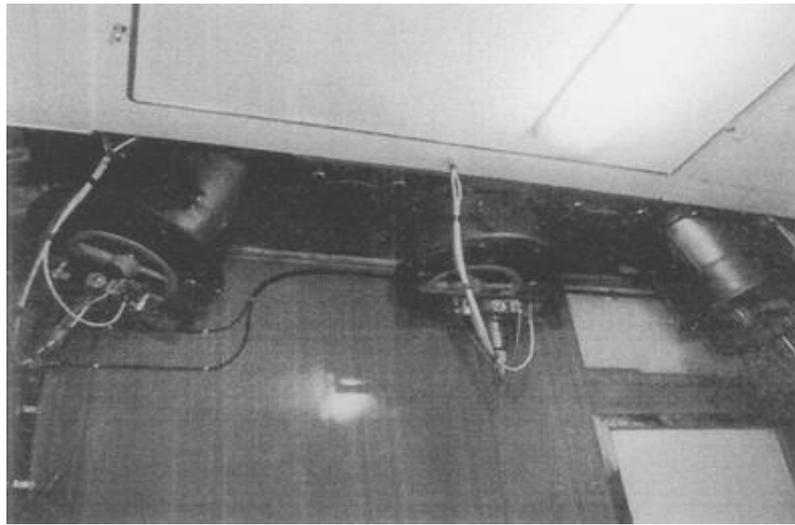


Рис. В.3-Цифровые линейные телекамеры стереотелевизионной системы



Рис. В.4-Электромеханический датчик высоты контактного провода

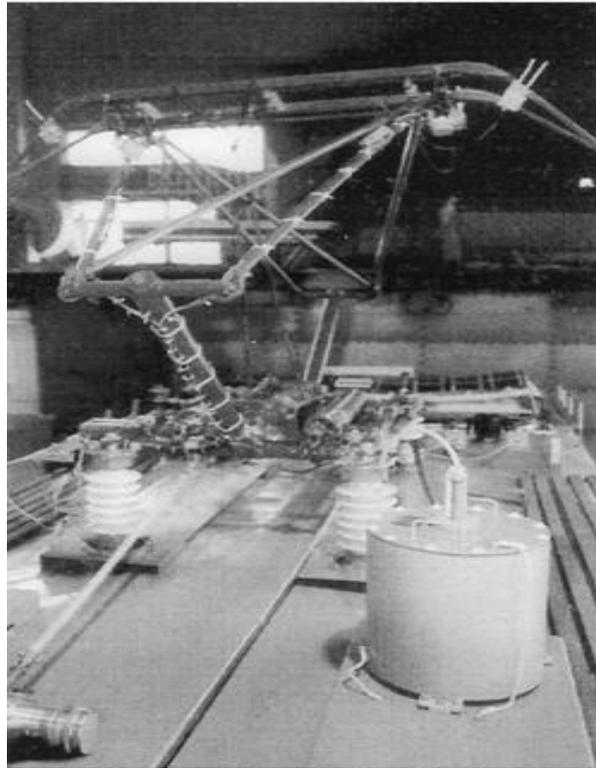


Рис. В.5-Измерительный преобразователь (передний план, справа)



Рис В.6-Смотровая вышка

Штрафные баллы (регистрируемые показатели)

Таблица В.1

Нормируемый показатель	Значение	Ш. балл
Отклонение от нормируемого в ПУТЭКС зигзага КП в точках фиксации и в точках наибольшего отклонения на стрелках и сопряжениях, мм	160-200 >200	50 100
Зигзаг контактного провода, абсолютное значение, мм	>500	400
Вынос контактного провода, абсолютное значение, мм	>450	400
Ненагруженный фиксатор на прямом участке пути	наличие	50
Абсолютное значение разности величины зигзага при одностороннем зигзаге на прямом участке пути у смежных опор, мм	менее 150	50
Превышение уклона контактного провода, указанного ПУТЭКС, %	0-25 >25	50 150
Отклонение высоты контактного провода в любой точке пролёта от нормируемого ПУТЭКС, мм	0-50 >50	100 200
Высота контактного провода над УРГ менее 6000 мм на переезде	пролёт	400
Абсолютное значение стрелы провеса контактного провода, штрафуется однократно на пролёте, мм	150-250 >250	100 150
Отклонение от высоты контактного провода на воздушных стрелках главного и бокового пути в зоне подхвата по главному пути, мм	±(40- 80) >± 80	100 200
Удар по полозу токоприёмника или отрыв токоприёмника	Регистр.	100

Штрафные баллы (учитываемые показатели)

Таблица В.2

Нормируемый показатель	Значение	Ш. балл
Падение опоры или жёсткой поперечины контактной сети	Падение	800
Случай брака в работе эксплуатационного персонала ЭЧ, приведший к задержке поездов, кроме учтенного в п. 3.1	Брак	600
Повреждения контактной сети по вине персонала ЭЧ, приведшие к задержке поездов, кроме учтённого в п. 3.1	Повреждение	200

Штрафные баллы (визуальные показатели)

Таблица В.3

Нормируемый показатель	Значение	Ш. ба лл
Наличие зажимов в зоне подхвата воздушной стрелки	Стрелка	150
Несоответствие расстояния грузов компенсаторов от земли до ролика температуре воздуха	Грузы	100
Наличие оборванных жил в многожильных тросах компенсации и анкеровки	Обрыв	200
Разбитый изолятор	Изолятор	50
Наклон опоры контактной сети, не соответствующий нормативу	Опора	50
Отсутствие заземления опоры	Заземление	50
Регулировка и отсутствие разрядника	Разрядник	50
Отсутствие или неудовлетворённое состояние нумерации опор	Перегон	100
Отсутствие специальных указателей и отличительной окраски опор на изолирующем воздушном и нейтральной вставке	Сопряжение	200
Провисание ветви средней анкеровки ниже уровня КП	Анкеровка	400
Оборванная струна	Струна	20
Не соответствие требованиям или отсутствие электрического соединителя на сопряжении воздушной стрелке	Пролёт	50
Приближение проводов контактной сети к заземлённым частям менее 300 мм	Приближен ие	150
Несоответствие техническим нормам стыковки несущего троса, усиливающего, питающего провода	Стыковка	150
Наличие птичьих гнёзд	Гнёзда	50
Наличие нагретого узла (элемента) контактной сети	Нагрев	*

Штрафные баллы (учитываемые показатели)

Таблица В.4

Нормируемый показатель	Значение	Ш. балл
Падение опоры или жёсткой поперечины контактной сети	Падение	800
Случай брака в работе эксплуатационного персонала ЭЧ, приведший к задержке поездов, кроме учтенного в п. 3.1	Брак	600
Повреждения контактной сети по вине персонала ЭЧ, приведшие к задержке поездов, кроме учтённого в п. 3.1	Поврежден ие	200

**Статьи доложенные на научно-практической конференции и
научном семинаре**

Методы диагностики контактной сети

Студент магистратуры: А. И. Кожарин, группа МЕТ-27 (ТашИИТ)
Научный руководитель: З. Г. Назирова, к.т.н. доц. (ТашИИТ)

Электрический железнодорожный транспорт является сложной технической системой, а контактная сеть является важнейшей ее подсистемой. Контактная сеть выполняет функцию распределения и подвода электрической энергии к электроподвижному составу посредством контакта с токоприемником. Обеспечение качественного токосъема является важной задачей для устойчивой работы железнодорожного транспорта [1,2].

В настоящий период растет протяженность электрифицированных железных дорог и происходит интенсификация перевозочного процесса, учреждаются перевозки поездами большой массы и повышенной скорости, что в значительной степени увеличивает нагрузку на контактной сети. И в связи с этим особенно актуальной становится проблема повышение надежности и эффективности работы электрооборудования системы электроснабжения железных дорог, в том числе и контактной сети, в значительной степени зависит от научно обоснованного перехода к стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования по его фактическому состоянию. При этом наряду с новыми участками электрифицированных железных дорог сохраняются и такие, на которых часть электрооборудования выработала свой ресурс на 60—70% и более [1,3].

Появление неисправностей контактной сети, в значительной степени объясняется недостаточностью предупредительных мер со стороны работников дистанций электроснабжения, низкой эффективностью использования современных технических средств диагностирования.

Анализ ранее проведенных исследований и опыт эксплуатации показывает, что нарушение технического состояния контактной сети (КС) электрифицированных железных дорог (число отказов) представляется следующим образом: провода и тросы - 22,8%, изоляторы - 24,5%, зажимы и детали - 16,3%, воздушные стрелки — 10,4%, поддерживающие конструкции - 9,5%, струны — 5,1%.

Надежное взаимодействие токоприемника и контактного провода является непременным условием для безаварийной эксплуатации электрифицированных железных дорог, особенно при высокой скорости движения.

Для обеспечения этого условия необходимы регулярные осмотры и диагностика контактной подвески, чтобы возможные дефекты можно было обнаружить и своевременно устранить еще в начальной стадии.

В настоящее время считают целесообразным контролировать следующие параметры системы «контактная сеть - токоприемник»: износ контактных проводов; нагрев проводов и токоведущих зажимов; высота контактных проводов над уровнем головки рельса; зигзаги и выносы контактных проводов; отрывы токоприемников; подбои (удары); углы наклона фиксаторов; разница в высотах подхватываемых проводов на сопряжениях и стрелках; статистическое и динамическое нажатия полоза токоприемника; наличие местного отжига контактного провода; состояние изоляторов; состояние искровых промежутков и диодных заземлений [1,2,3].

Для диагностирования контактной сети применяют комплекс специализированных устройств и приборов, которые можно разделить на внешние и встроенные. К внешним средствам относятся, например, вагон-лаборатория для испытания контактной сети (ВИКС) и различные переносные приборы для дистанционного контроля изоляции, нагревания токопроводящих элементов, состояния опор и фундаментов. Встроенные устройства используются для контроля определенных параметров, например температуры тепловой защиты проводов. Обработка и анализ выходных данных от датчиков осуществляются по специальным программам, разработанным для каждого из них, а также по программе, объединяющей эту информацию. Обработка полученной информации осуществляется как бортовыми, так и стационарными ЭВМ. Другая информация, не требующая обработки в реальном масштабе времени, обрабатывается стационарными ЭВМ для выдачи диагноза персоналу, занятому планированием ремонта, модернизацией и повышением надежности контактной сети. Статистическая обработка получаемой информации и сопоставление ее результатов за определенный промежуток времени позволяют с высокой вероятностью оценить тенденцию изменения показателей сети в целом и ее отдельных элементов, прогнозировать время достижения предельных нормируемых значений. Такая система анализа состояния контактной сети, дополненная современными структурами передачи информации и

соответствующим программным обеспечением, позволяет решать технико-экономические вопросы, оценивать необходимость и целесообразность проведения тех или иных работ «по состоянию» оборудования с последующим обеспечением требуемого уровня надежности сети при минимальных приведенных расходах [3].

Говоря о существующей технологии диагностики контактной сети, можно сказать, что она в основном ориентирована на ручных измерениях, трудоемких, малоэффективных и не удовлетворяющих потребностей железных дорог в надежной и безаварийной работе оборудования контактной сети. Опыт диагностики энергетического и электротехнического оборудования ведущих стран свидетельствует о том, что наиболее перспективными для задач дистанционной диагностики контактной сети являются цифровые приборы и системы, обеспечивающие мобильную оперативную регистрацию и обработку объектов диагностирования с одновременным получением их видеоизображений.

Подводя итог выше сказанному можно сказать, что существующая плано-предупредительная система эксплуатации контактной сети приводит к недоиспользованию потенциального срока службы устройств. Это негативно сказывается на ресурсосбережении и ведет как завышению объемов ремонта так и к повышению текущих затрат на эксплуатацию. Комплексная диагностика параметров позволяет оценить состояние элементов КС по показателям безотказности, надежности, долговечности, ремонтпригодности и проводить выборочную замену экстремально нагруженных элементов до наступления сроков их отказа. Переход на обслуживание контактной сети по состоянию позволит существенно снизить эксплуатационные затраты на обслуживание контактной сети.

Из вышерассмотренного следует, что обеспечение перехода к стратегии технического обслуживания и ремонта контактной сети по ее фактическому состоянию является важным и необходимым шагом к повышению надежности и эффективности эксплуатации электрифицированных железных дорог Узбекистана.

Литература

1. Сафарбеков А.М., Лукьянов А.В.. Основы технической диагностики. Электроснабжение железных дорог.: - Иркутск: ИрГУПС, 2006.
2. Энциклопедия железной дороги. www.jd-enciklopedia.ru

Контактная сеть как объект диагностирования

Студент магистратуры: А. И. Кожарин, группа МЕТ-27 (ТашИИТ)
Научный руководитель: З. Г. Назирова, к.т.н. доц. (ТашИИТ)

Железнодорожный транспорт представляет собой сложную техническую систему. Важнейшую роль в техническом перевооружении железнодорожного транспорта играет электрификация железных дорог, позволяющая повысить скорость движения поездов, а, следовательно, сократить время доставки грузов и пассажиров.

В настоящий период растет протяженность электрифицированных железных дорог и происходит интенсификация процесса перевозок, учреждаются перевозки поездами большой массы и повышенной скорости, что в значительной степени увеличивает нагрузку на контактную сеть. И в связи с этим особенно актуальной становится проблема повышения надежности и эффективности работы электрооборудования системы электроснабжения железных дорог, в том числе и контактной сети

Наиболее слабым звеном системы электроснабжения является контактная сеть. Согласно статистике, здесь наиболее характерными повреждениями являются, пережоги и обрывы контактного провода – 18,5%, пробой и перекрытия изоляторов – 19,3%; повреждения фиксаторных узлов – 4,8%; повреждения опор, консолей, кронштейнов – 12,2%; прочие повреждения – 44,2%. Удельная повреждаемость устройств ЭС по сети составляет в среднем: по контактной сети – 2,16 повреждений на 100 км развернутой длины; устройств защиты, телеуправления и сигнализации с задержкой поездов – 2,75 повреждений на 100 км развернутой длины; тяговых подстанций – 0,25 повреждений на одну подстанцию. Эти показатели подчеркивают важную роль ЭС в обеспечении безопасности и бесперебойности движения поездов.

Кроме того, интенсивная эксплуатация устройств железнодорожного транспорта является причиной их ускоренного износа, старения и возрастания числа отказов. Поэтому чем выше степень использования пропускной способности, тем более эффективными будут меры, повышающие надежность.

Диагностика систем электроснабжения высокоскоростных железных дорог необходима для достижения устойчивости и бесперебойности всей энергосистемы, в которую также входит предупреждение отказов работы электрооборудования в процессе его

эксплуатации. Насколько эффективно функционирует энергосистема, зависит от безотказности каждого элемента.

Для обеспечения этого условия необходимы регулярные осмотры и диагностика контактной подвески для скоростного движения поездов, чтобы возможные дефекты можно было обнаружить и своевременно устранить еще в начальной стадии.

Поэтому контролю подлежат следующие параметры контактной сети: габариты устройств контактной сети (высота подвески, уклон контактного провода (КП), расстояния КП до различных устройств (расстояния от оси пути до внутреннего края опор и их фундаментов); площадь сечения проводов и тросов контактной сети; качество токосъема и износ контактного провода; натяжения и стрелы провеса проводов и тросов контактной сети; расположение проводов в плане; сопряжения анкерных участков; воздушные стрелки; изоляторы, изолирующие вставки; секционные изоляторы; струны; фиксирующие устройства; электрические соединители; анкеровка проводов и компенсирующие устройства, арматура; тяговые рельсовые цепи; опорные устройства и поддерживающие конструкции; заземления [1].

Возникающая сложная задача – поддержание объектов системы электроснабжения в процессе их эксплуатации в работоспособном состоянии в условиях ограниченных ресурсов может быть решена только с использованием теории надежности и ее основной части – теории технического обслуживания. Значительный эффект способен дать переход от обслуживания по нормам к техническому обслуживанию по состоянию. Этот метод можно применить при использовании теории технической диагностики и широком внедрении средств диагностирования.

На этапе эксплуатации надежность объекта поддерживается своевременным проведением регулировок, заменами отдельных элементов. На данной стадии надежность объекта формируется за счет качественного технического обслуживания.

Эксплуатация контактной сети осуществляется своевременным проведением работ по техническому обслуживанию, капитальному ремонту, обновлению и реконструкции. При техническом обслуживании устройств контактной сети осуществляются: ежедневное наблюдение за их состоянием, регулярное проведение осмотров (объездов и обходов), диагностические испытания и измерения и технические обследования.

С учетом особенностей контактных подвесок для скоростного движения поездов важной задачей становится подбор метода для их диагностирования. Одним из перспективных методов диагностирования считается тепловизионный.

Тепловизионный метод диагностирования электрооборудования контактной сети последнее время находит все большее применение в мире вследствие ряда его преимуществ. Метод дистанционный, бесконтактный и высокопроизводительный, позволяет получать наглядную диагностическую информацию в реальном масштабе времени при штатных режимах функционирования оборудования как в статических, так и в динамических режимах тепловизионной съемки. Постоянное совершенствование аппаратных и программных средств получения и обработки тепловизионной информации о состоянии элементов контактной сети способствует дальнейшему росту мобильности, степени автоматизации и производительности процесса диагностирования. Однако основные работы по тепловизионным обследованиям связаны либо с аналоговыми приборами, не имеющими мощной компьютерной поддержки, либо с отсутствием соответствующего программного обеспечения по распознаванию образов (объектов диагностирования) в процессе мобильной диагностики в реальном масштабе времени с одновременной оценкой их технического состояния [2].

Актуальность тепловизионного контроля устройств тягового электроснабжения существенно возрастает в связи с повышением веса грузовых поездов и интенсивности движения.

Особенностью тепловизионного контроля устройств контактной сети, затрудняющей определение степени развития дефектов, является отсутствие возможности измерения тока нагрузки в контролируемых узлах. Наличие нагрузки в этом случае определяется визуально по отправлению и проходу поездов.

Учитывая возможные последствия, все выявленные дефекты признаются опасными, подлежащими незамедлительному устранению.

Литература

1. Сафарбеков А.М., Лукьянов А.В.. Основы технической диагностики. Электроснабжение железных дорог.: - Иркутск: ИрГУПС, 2006.
2. Объем и нормы испытаний электрооборудования/ Под общ. Ред. Б. А. Алексеева, Ф.Л Когана, Л. Г. Мамиконянца. –М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001 г.-180с.