

АНАЛИЗ ОТКАЗОВ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

В роботі проведено аналіз відмов і існуючих методів контролю стану рейкових кіл для подальшої розробки на цій основі методів та засобів автоматизованого контролю параметрів рейкових кіл.

В работе проведен анализ отказов и существующих методов контроля состояния рельсовых цепей для разработки на этой основе методов и средств автоматизированного контроля параметров РЦ.

In this article the analysis of refusal and existing methods of control of condition of track circuits of tonal frequency is conducted for development (on this base) of methods and devices of automated control of the track circuits' parameters.

Введение

Рельсовые цепи являются основным путевым датчиком систем железнодорожной автоматики на станциях и перегонах, от правильности работы которых зависит безопасность движения поездов (БДП). В связи с постоянно ужесточающимися требованиями к БДП возрастает важность технологического обслуживания рельсовых цепей (РЦ), в частности ТРЦ, которые применяются на участках с ускоренным движением поездов.

Дальнейшее повышение безопасности рельсовых цепей связано с улучшением технического обслуживания на качественно новом уровне с использованием автоматизированных методов контроля. Для разработки таких методов и систем необходимо предварительно провести анализ статистики отказов рельсовых цепей с выявлением наиболее часто встречающихся отказов и проанализировать методы контроля состояния РЦ.

Цель работы

В связи с вышеизложенным, в работе поставлена цель провести анализ отказов рельсовых цепей и существующих методов контроля состояния РЦ для разработки на этой основе методов и средств автоматизированного контроля параметров РЦ.

Анализ отказов рельсовых цепей

На железных дорогах Украины идет интенсивное внедрение рельсовых цепей тональной частоты (ТРЦ) на участках со скоростным движением поездов. Эти рельсовые цепи отличаются от эксплуатируемых практически следующими положительными особенностями: полным отсутствием изолирующих стыков на

перегоне, применением аппаратуры на современной элементной базе и амплитудно-модулированного сигнала вместо синусоидального, а также возможностью работы при низком сопротивлении изоляции балласта. Перечисленные отличия, в свою очередь, вызывают сложности при анализе работы ТРЦ обслуживающим персоналом, т.к. изменяется структура отказов и методы контроля этих рельсовых цепей (тип измерительных приборов). Данное обстоятельство сказывается на безопасности движения поездов (БДП). Поэтому с целью повышения безопасности ТРЦ в данной работе проведен анализ отказов и методов контроля.

Анализ структуры отказов ТРЦ заключался в следующем: распределение отказов рельсовых цепей с изолирующими стыками (далее РЦ с ИС) по элементам; сравнительный анализ РЦ с ИС и ТРЦ по удельным показателям на 1000 рельсовых цепей. Следует отметить, что анализ проводился за 2005 г. на основании данных [1] для железных дорог России, где эксплуатация ТРЦ ведется более 10 лет и ними оборудовано больше участков, что увеличивает выборку и объективность результатов, в отличие от железных дорог Украины.

Всего отказов РЦ с ИС за 2005 г. на всей сети железных дорог России зафиксировано 1966, при этом эти отказы составляют около 20 % от всех отказов хозяйства сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ). На первом этапе анализа выявлено наиболее встречающиеся причины отказов, которые представлены на рис. 1. При этом чаще всего отказ приходился на изолирующий стык – всего 570; на стыки соединения – 356; на закорачивание рельсовых цепей – 315; на тяговые, межпутные соединители, нарушение регулировочного режима, влияние посторонних источников, излом рельса – 235; на неисправность аппаратуры – 196; на остальные причины отказов – 294.

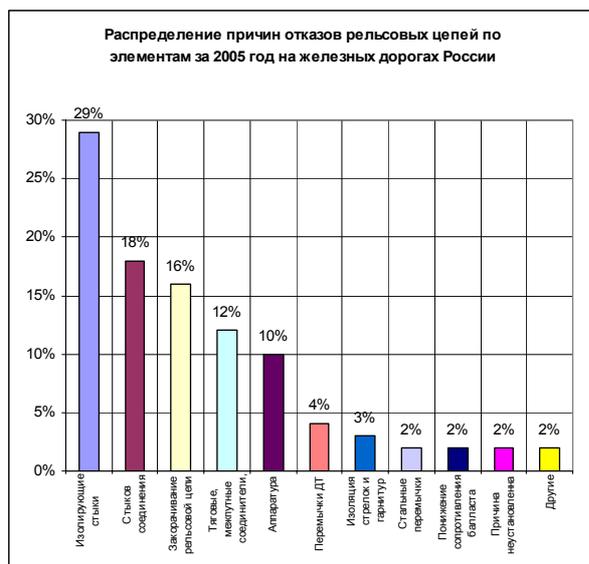


Рис. 1. Распределение причин отказов в рельсовых цепях по элементам

На железных дорогах Украины отказов рельсовых цепей с ИС за 2005 г. зафиксировано 246 согласно [2], при этом данные отказы составляют 13 % от всех отказов СЦБ. Несмотря на различия в количестве отказов рельсовых цепей и их удельном весе по хозяйствам СЦБ в России и Украине, именно данные отказы непосредственно влияют на БДП. Однако практически около четверти от общего количества отказов рельсовых цепей связано с нарушениями технологии обслуживания (ТО).

Весь предыдущий анализ применим к РЦ с ИС, но не к ТРЦ. Представленные результаты сравнительного анализа работы РЦ с ИС и ТРЦ для железных дорог России свидетельствуют, что, по количеству отказов на 1000, рельсовые цепи тональной частоты работают в 3 раза надежнее. Такое увеличение надежности работы объяснить только практически полным отсутствием изолирующих ее стыков невозможно, поэтому требуются детальные пояснения. Во-первых, влияние посторонних источников практически исключается, т.к. обеспечивается подавление какого-либо сигнала. Во-вторых, уменьшается количество ДТ, которые ставятся через каждые 5...6 км. В-третьих, выполнение аппаратуры с учетом современных требований и на современной элементной базе приводит к сокращению количества отказов. В-четвертых, коэффициент возврата путевого приемника повышается до 0,8, что улучшает основные режимы работы ТРЦ.

Такое преимущество по надежности работы увеличивается при внедрении ТРЦ с централизованным размещением аппаратуры. На железных дорогах Украины в ТРЦ, как и в РЦ с ИС,

около четверти от всех отказов связано с нарушением технического обслуживания (ТО), а в 11 % отказов причина не выявлена, что можно объяснить сложностью в эксплуатации и диагностировании отказов.

Приведем пример диагностирования неполадки электромехаником ТРЦ на перегоне в нормальном режиме.

Неисправность изолирующих стыков (короткое замыкание). Возможна такая ситуация, когда путевого приемник смежной рельсовой цепи станет под ток, и на занятый участок пути вступит подвижная единица, что приведет к крушению. В этом случае необходимо проверять отсутствие сигнала контролируемой рельсовой цепи на путевого приемнике смежной ТРЦ (напряжение на выводах 11-43 блока ПП). Для короткого замыкания изолирующих стыков характерно достаточно резкое увеличение контролируемого напряжения.

Неисправность стыкового соединителя (разрыв). В результате через него прекращает протекать сигнальный ток рельсовой цепи аналогично, как и при обрыве рельса. Рельсовая цепь (РЦ) начинает работать в контрольном режиме. На ПП резко уменьшается напряжение сигнала, в том числе и от соседних ТРЦ при отсутствии ИС на границе контролируемого участка. Ток источника ТРЦ резко уменьшается.

Результатом короткого замыкания является резкое увеличение тока (и соответственно мощности) генератора РЦ. На путевого приемнике напряжение скачком уменьшается ниже величины надежного отпуская, фиксируя занятость контролируемого участка.

Неисправность межпутного соединителя по характеру воздействия аналогична описанной ситуации для неисправности стыков соединения.

Неисправность тяговых перемычек, которые организуют электрическое соединение рельс-ДТ, подразумевает перегорание данного проводника тока. В этом случае обратный тяговый ток протекает только по одному рельсу, увеличивается асимметрия тока, и на приемном конце ТРЦ возникает ток частотой 50 Гц и происходит размыкание АВМ-2 15А (при электротяге переменного тока). Либо же увеличивается намагниченность сердечника ДТ, что приводит к изменению параметров ДТ питающего (или релейного) конца и форме сигнала на приемном конце ТРЦ (при электротяге постоянного тока).

Уменьшение напряжения на путевого приемнике ниже указанного в регулировочной таблице. В этом случае причин может быть несколько: утечка тока, влияние посторонних ис-

точников, уменьшение сопротивления изоляции балласта и т.д. Поэтому электромеханику в данном случае наиболее сложно определить причину неисправности. Только после определения причины уменьшения напряжения на путевом приемнике электромеханик может осуществить санкционированно подрегулировку рельсовой цепи согласно [3, 4]. Напряжение на питающем конце ТРЦ должно быть не более указанного в регулировочной таблице, а на путевом приемнике – в пределах между минимальным и максимальным согласно регулировочной таблице. Контролируемые параметры – напряжения на выходе генератора и фильтра, напряжение на путевом приемнике.

Влияние посторонних помех наиболее сказывается на путевом приемнике, который принимает сигнал. Напряжение на нем должно быть при минимальном напряжении питания и минимальном сопротивлении изоляции рельсовой линии не менее и при максимальном напряжении питания и максимальном сопротивлении изоляции рельсовой линии не более указанного в регулировочной таблице [5].

При изломе рельса характерна ситуация, описанная для неисправности стыков соединения.

Рассмотрены не все возможные ситуации, однако даже такое количество неисправностей свидетельствует об усложнении диагностики отказов в ТРЦ

Анализ существующих методов контроля состояния РЦ

Рассмотрим ТО для рельсовых цепей, которое предусматривается согласно «Инструкции по техническому обслуживанию устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) ЦШЕОТ/0012» (далее ЦШЕОТ/0012) [5], «Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування ЦШ/0042» [3].

Техническое обслуживание ТРЦ базируется на технологических картах № 32...№ 41 [3] и в соответствии с пунктами 10.1...10.9. ЦШЕОТ/0012 [5]. В нормальном режиме измеряется напряжение на каждом элементе рельсовой цепи по технологической карте (ТК) № 36 и пункту 10.4. ЦШЕОТ/0012, а также проводится проверка стояния балласта по ТК № 40 и пункту 10.8. ЦШЕОТ/0012 и стояния рельсовой цепи в соответствии с ТК № 32 и пунктом 10.1. ЦШЕОТ/0012. Кроме того, отдельно измеряется напряжение на путевых реле по ТК № 34 и пункту 10.3. ЦШЕОТ/0012. В шунтовом режиме опре-

деляется по ТК № 33 и пункту 10.2. ЦШЕОТ/0012 шунтовая чувствительность относительно релейного и питающего концов к нормативному шунту 0,06 Ом (остаточное напряжение). В режиме АЛС измеряется величина кодированного тока АЛС по ТК № 37 и пункту 10.4. ЦШЕОТ/0012, а также выполняется ее регулирование по ТК № 36 и пункту 10.4. ЦШЕОТ/0012, временные параметры кодов АЛС по ТК № 35 и пункту 10.4. ЦШЕОТ/0012. Другие сопутствующие работы выполняются по ТК № 37, 38, 39, 41 в соответствии с пунктами 10.6., 10.7. ЦШЕОТ/0012.

Перечисленные выше технологические карты рекомендуют применение следующих измерительных приборов: прибор комбинированный Ц4380 (ампервольтметр ЭК-2346, мультиметр В7-63), мультиметр цифровой В7-63, преобразователь тока селективный А9-1, индикатор тока рельсовых цепей ИРЦ – 25/50 (МРЦ – 75), шунт для испытания рельсовых цепей типа ШУ-01м сопротивлением 0,06 Ом, измеритель временных параметров ИВП – АЛСН, измеритель сопротивления заземления М416 (ЭС0201), мегаомметр М4100/5 (ЭС0202/2), искровой промежуток ИПМ.

ТО выполняется, в основном, электромехаником и электромонтером с периодичностью работ от 1 раза в четыре недели до 1 раза в квартал, однако работы по технологическим картам № 33, 34, 36 могут выполняться каждый день. Они должны измерять электрические параметры, которые зависят от первичных параметров рельсовой линии (сопротивления изоляции балласта R_{iz} и рельс Z_p), на большом количестве рельсовых цепей. Поэтому рассмотрим методы измерения R_{iz} и Z_p .

Известны следующие методы измерения R_{iz} и Z_p [6]: холостого хода и короткого замыкания (х.х. и к.з.), двух коротких замыканий, двух известных нагрузок, электрически длинной линии, модифицированный электрически длинной линии, одного короткого замыкания с графоаналитическим расчетом, двух измерений при одном коротком замыкании. Последние два метода в эксплуатации рельсовых цепей не нашли широкого применения, т.к. предполагают построение графиков на основании измеренных величин и не дают сразу искомые величины непосредственно. Метод модифицированный электрически длинной линии предполагает, что при наложении шунта напряжение и ток не изменятся ни в начале линии около источника питания, ни на расстоянии 0,5 км от начала рельсовой линии. При этом вычисление вели-

чины R_{iz} производится по громоздкой формуле с использованием логарифмической функции. Данный метод тоже не нашел широкого применения из-за специфики требований. Рассмотрим более подробно первые три метода, которые нашли широкое применение в эксплуатации рельсовых цепей ввиду простоты их реализации.

Метод х.х. и к.з. наиболее прост, но имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что ток холостого хода измерить очень сложно ввиду его малого значения. Таким образом, измерения полностью зависят от правильности значения тока холостого хода. Кроме того, чем длиннее рельсовая линия, тем меньше разность величин сопротивлений холостого хода и короткого замыкания, что приводит к значительным погрешностям. Рассмотренные измерения требуют отключения от рельсовых цепей путевых трансформаторов (дрессель-трансформаторов). Поэтому для исключения данного недостатка используют остальные методы.

Рассмотрим метод двух коротких замыканий более подробно. В соответствии с методом производятся два коротких замыкания на расстояниях l и $2l$ от источника питания. В результате получаем соответствующие расстояниям l , $2l$ сопротивления Z_l , Z_{2l} . Затем вычисляем величины волнового сопротивления Z_B и гиперболического тангенса от γl :

$$\operatorname{th}\gamma l = \sqrt{\frac{2Z_l - Z_{2l}}{Z_{2l}}} = T e^{j\varphi_l}; \quad (1)$$

$$Z_B = \frac{Z_l}{\operatorname{th}\gamma l}, \quad (2)$$

где γ – коэффициент распространения.

После чего определяем километрические коэффициенты затухания амплитуды α и β фазы:

$$\operatorname{th}2\beta \cdot l = \frac{2T \cos\varphi_l}{1 + T^2}; \quad (3)$$

$$\operatorname{th}2\alpha \cdot l = \frac{2T \sin\varphi_l}{1 - T^2}. \quad (4)$$

Модуль коэффициента распространения $|\gamma| = \sqrt{\beta^2 + \alpha^2}$, а угол $\varphi_\gamma = \operatorname{arctg}(\alpha/\beta)$.

Тогда при активном сопротивлении изоляции балласта (СИБ)

$$Z_p = Z_B \cdot \gamma; \quad (5)$$

$$R_{iz} = \frac{Z_B}{\gamma}. \quad (6)$$

При наличии в СИБ реактивной (емкостной) составляющей модули Z_p и R_{iz} выражаются:

$$|Z_p| = |Z_B| \cdot \sqrt{\beta^2 + \alpha^2}; \quad (7)$$

$$R_{iz} = \frac{Z_B}{\sqrt{\beta^2 + \alpha^2}}; \quad (8)$$

$$\varphi = \varphi_B + \varphi_\gamma \quad \text{или} \quad \varphi = \varphi_B - \varphi_\gamma, \quad (9)$$

где φ_B и φ – углы волнового сопротивления и сопротивления рельсов.

Данный метод дает хорошие результаты при линейном СИБ или небольшой его нелинейности. При этом важно помнить, что полученные результаты могут быть применены для длины $2l$, поэтому данную длину необходимо выбирать равной длине рельсовой линии.

Рассмотрим метод двух известных нагрузок более подробно. В соответствии с методом производятся измерения в нормальном режиме рельсовой цепи, нагружаемой на заранее известные нагрузки R_{H1} и R_{H2} . Отсюда можем записать две системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} U_1' &= U_2' \operatorname{ch}\gamma l + I_2' Z_B \operatorname{sh}\gamma l \\ I_1' &= I_2' \operatorname{ch}\gamma l + \frac{U_2'}{Z_B} \operatorname{sh}\gamma l \end{aligned} \right\}; \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} U_1'' &= U_2'' \operatorname{ch}\gamma l + I_2'' Z_B \operatorname{sh}\gamma l \\ I_1'' &= I_2'' \operatorname{ch}\gamma l + \frac{U_2''}{Z_B} \operatorname{sh}\gamma l \end{aligned} \right\}, \quad (11)$$

где величины I_1' , I_2' , U_1' , U_2' измерены при R_{H1} , а величины I_1'' , I_2'' , U_1'' , U_2'' – при R_{H2} .

Отсюда имеем, что входное сопротивление равняется

$$Z_1' = \frac{U_1'}{I_1'} = \frac{R_{H1} + Z_B \operatorname{th}\gamma l}{1 + \frac{R_{H1}}{Z_B} \operatorname{th}\gamma l}; \quad (12)$$

$$Z_1'' = \frac{U_1''}{I_1''} = \frac{R_{H2} + Z_B \operatorname{th}\gamma l}{1 + \frac{R_{H2}}{Z_B} \operatorname{th}\gamma l}, \quad (13)$$

где Z_1' и Z_1'' – входное сопротивление при R_{H1} и R_{H2} , соответственно.

Решая уравнения (12) и (13) относительно неизвестных волнового сопротивления Z_B и гиперболического тангенса от γl , получим:

$$Z_B = \pm \sqrt{\frac{Z_1'' Z_1' \Delta R_H - R_{H2} R_{H1} (Z_1'' - Z_1')}{(R_{H2} - R_{H1}) - (Z_1'' - Z_1')}}; \quad (14)$$

$$\operatorname{th} \gamma l = \frac{Z_B (R_{H1} - Z_1')}{R_{H1} Z_1' - Z_B^2} = T e^{j\varphi_l}, \quad (15)$$

где $\Delta R_H = (R_{H2} - R_{H1})$.

На основании формул (3)–(6) или (3), (4), (7)–(10) находим R_{iz} и Z_p .

Данный метод имеет преимущество в том, что его точность измерений практически не зависит от нелинейности балласта. Недостатком его является громоздкость вычислений.

Метод электрически длинной линии предполагает, что сопротивления холостого хода и короткого замыкания равны, а значит ее входное сопротивление равно волновому. Измерив Z_B и входное сопротивление рельсовой линии, при коротком замыкании на расстоянии l от места измерения, можно определить

$$T e^{j\varphi_l} = \operatorname{th} \gamma l = \frac{Z_l}{Z_B}. \quad (16)$$

На основании формул (3)–(6) или (3), (4), (7)–(10) находим R_{iz} и Z_p .

Данный метод наилучшим образом применим в ТРЦ, однако обладает недостатками метода х.х. и к.з.

Все вышерассмотренные методы измерений сопротивлений изоляции балласта R_{iz} и рельс Z_p предполагали наличие у электромеханика амперметра и вольтметра, но согласно ТК № 40 для измерения величины СИБ можно использовать измеритель сопротивления балласта типа ИСБ-1.

Принцип измерения прибором основан на том, что при высокой частоте тока (несколько килогерц) физическая длина электрически длинной линии весьма незначительна. В этом случае может оказаться, что с обеих сторон от места измерений будут электрически длинные линии. Тогда входное сопротивление в месте измерений будет равно половине волнового сопротивления:

$$Z_{BX} = 0,5 \cdot Z_B.$$

В приборе содержится генератор, который вырабатывает ток частотой 5000 Гц, и резистор, включенный последовательно с генератором.

Внутреннее сопротивление генератора вместе с сопротивлением резистора значительно выше входного сопротивления рельсового цепи, поэтому при подключении прибора ИСБ-1 даже при наиболее низком сопротивлении изоляции ток на выходе генератора остается постоянным. При этом между точками подключения прибора к рельсам появляется напряжение, пропорциональное напряжению на нагрузке $0,5R$. Через защитный фильтр и трансформатор это напряжение подается на индикатор И. По показаниям индикатора, пользуясь градуировочной таблицей, определяют удельное сопротивление изоляции рельсовой цепи.

Прибор измеряет сопротивление изоляции на участке длиной от 250 до 300 м в пределах полной длины рельсовой цепи. По полученным значениям этих измерений находят участок рельсовой цепи с пониженным сопротивлением изоляции.

После всех измерений определяют среднее значение сопротивления изоляции рельсовой цепи R_{iz} в Ом·км:

$$R_{iz} = \frac{n}{\frac{1}{R_{H1}} + \frac{1}{R_{H2}} + \dots + \frac{1}{R_{Hn}}},$$

где n – число измерений; R_{Hn} – показания прибора в точках измерения, Ом·км.

Данный метод измерения дает сопротивления изоляции рельсовой цепи R_{iz} с точностью $\pm 10\%$, что для близких к нормативному значению СИБ 1 Ом·км может сильно повлиять на регулировку данной рельсовой цепи. При этом предполагается, что сопротивление рельс неизменно (нормативная величина), а на практике это может оказаться далеко не так. Точность измерений зависит от количества измерений.

Однако при эксплуатации рельсовых цепей сопротивление изоляции балласта R_{iz} принимают активной величиной, а сопротивление рельс – нормативным, как в последнем методе измерений. Таким образом, ни один из рассмотренных методов измерения сопротивлений изоляции балласта R_{iz} и рельс Z_p полностью не удовлетворяют требованиям по простоте применения и вычисления искомых величин, т.к. в расчетных выражениях разности величин близки друг к другу, что приводит к значительным погрешностям (вычисление гиперболического тангенса от γl может оказаться невозможным, если $\gamma l \geq 1$). Поэтому предлагается использовать метод, позволяющий измерить сопротивление рельс, а затем рассчитать вели-

чину СИБ. Для этого можно произвести короткое замыкание на расстоянии 50 м от источника питания рельсовой цепи и измерить напряжение U и ток I , при этом частью тока, ответвляющегося через балласт и шпалы, можно пренебречь, тогда

$$|Z_p| = \frac{|U|}{|I| \cdot 0,05}.$$

По одному из трех первых методов определения R_{iz} и Z_p находим волновое сопротивление. После получаем величину СИБ по формуле (6) с учетом выражения (5). Предложенный метод измерения позволит с достаточной степенью точности измерений получить R_{iz} и Z_p , но требует экспериментальной проверки.

Выводы

В работе проведен анализ отказов рельсовых цепей и существующих методов контроля состояния РЦ для разработки на этой основе методов и средств автоматизированного контроля параметров РЦ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казиев, Г. Д. Повышать надежность рельсовых цепей [Текст] / Г. Д. Казиев, В. М. Адаскин // Автоматика, телемеханика и связь. – 2006. – № 4. – С. 2-5.
2. Мороз, В. П. Аналіз відмов пристроїв залізничної автоматики [Текст] / В. П. Мороз, А. О. Лапко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – № 2 (64). – С. 10-15.
3. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування ЦШ/0042 [Текст]. – К., 2006. – 462 с.
4. Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних кіл [Текст]. – ЦШ/0041. – К., 2006. – 236 с.
5. Інструкції з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) ЦШЕОТ/0012 [Текст]. – К., 1998. – 72 с.
6. Дмитренко, И. Е. Измерения и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст] : учебник для вузов ж.-д. трансп. / И. Е. Дмитренко, В. В. Сапожников, Д. В. Дьяков. – М.: Транспорт, 1994. – 263 с.

Поступила в редколлегию 18.12.2009.

Принята к печати 22.04.2010.