

УДК 656.25

В. И. ШАМАНОВ, доктор технических наук, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

## АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ АППАРАТУРЫ АВТОМАТИКИ ПРИ ЭЛЕКТРОТЯГЕ

Приведены некоторые результаты исследований анализа состояния электромагнитной обстановки для рельсовых цепей и автоматической локомотивной сигнализации на участках железных дорог с электротягой переменного тока, а также возможностей прогнозирования того, как изменится эта обстановка при ухудшении или изменении условий эксплуатации тяговой рельсовой сети на участке пути. Такое прогнозирование осложняется тем, что основной источник помех на работу рассматриваемой аппаратуры – величина разности переменных тяговых токов в рельсовых нитях рельсовой линии – является функцией нескольких параметров: температуры рельсов, длины и времени эксплуатации рельсовой цепи, величины и гармонического состава тягового тока, взаимной индуктивности рельсовых нитей с другими токоведущими линиями.

На магистральных железных дорогах России, стран постсоветского пространства и развитых стран мира широко используются рельсовые цепи (РЦ) для контроля свободности от подвижного состава участков пути, излома рельсов и передачи контрольной информации по рельсовым линиям на соседние сигнальные точки и локомотивы с использованием систем автоматической локомотивной сигнализации (АЛС). Например, на железных дорогах Германии РЦ используются примерно в половине действующих систем железнодорожной автоматики и телемеханики [1]. Применяются они широко на железных дорогах США, Франции, Японии и в других странах.

Процесс возникновения электромагнитных помех на аппаратуру этих систем от тяговых токов многофакторный и может изменяться очень быстро. Причины появления высокого уровня помех многочисленны и часто взаимосвязаны.

Возникающие от действия помех кратковременные самовосстанавливающиеся отказы (сбои) в работе РЦ и аппаратуры АЛС приводят к переключениям огней светофоров на ложные показания, требующие снижения скорости движения поезда. Ложные перекрытия разрешающего показания светофора на красный огонь непосредственно перед движущимся поездом вызывают необходимость применения экстренного торможения.

Большой объем работ по обеспечению устойчивой работы РЦ и АЛС на участках железных дорог с разными видами тяги, в том числе в метрополитене, проводится в МИИТе [2, 3]. Уменьшение интенсивности сбоев этих устройств обеспечили результаты исследований, проведенных в ЛИИЖТе [4]. Обследование электромагнитной обстановки (ЭМО) и разработка мер по повышению надёжности рассматриваемых устройств на участках с электротягой постоянного тока выполнены в ОмГУПСе [5] и СамГУПСе [6]. Исследования по этой проблеме проведены в ИрГУПСе на равнинных и горных участках с электротягой переменного тока [7].

Уровень и частотный спектр помех на электрифицированных участках зависят от способов регулирования скорости вращения тяговых двигателей и от способов электрического торможения поездов. На уровень помех влияет плотность поездопотока, скорость движения поездов и их масса. Поэтому процесс выявления причин неустойчивой работы этих систем достаточно сложен и трудно формализуем, вследствие чего в вопросах исследования ЭМО и способов её прогнозирования остаётся много нерешённых вопросов.

Действие взаимной индуктивности между рельсовыми нитями рельсовой линии вызывает увеличение асимметрии тягового тока (разности тяговых токов) в рельсовых нитях под приёмными локомотивными катушками АЛС и в местах подключения к рельсам аппаратуры РЦ [7].

На рисунке 1 показан фрагмент осциллограммы, записанный на приёмных локомотивных катушках АЛС на одном из перегонов с кодовой автоблокировкой частотой 25 Гц Восточно-Сибирской железной дороги.

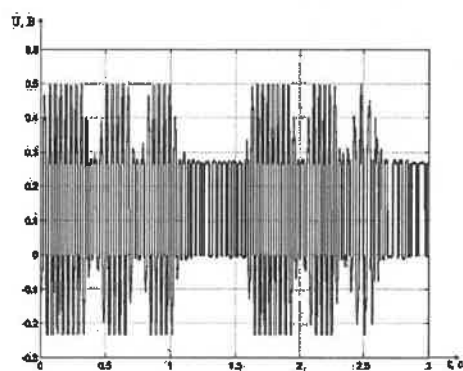


Рисунок 1 – Фрагмент записи сигнала на выходе локомотивного фильтра АЛС

Основной причиной появления помех от тягового тока в рельсовых линиях является возникновение асимметрии (разности) сопротивлений их рельсовых нитей из-за неодинакового и несимметричного выхода из поля допуска под действием деградиационных процессов величин электрических сопротивлений токопроводящих и/или изолирующих элементов в этих нитях.

Исследования показали, что сбои в работе локомотивной аппаратуры АЛС происходят чаще всего при достижении соотношения «сигнал – помеха» предела 1,3–1,4 на выходе локомотивного фильтра типа ФЛ-25/75М. Уровень помехи зависит не только от уровня и частотного спектра помех в рельсовой линии под приёмными локомотивными катушками, но и от серии электровоза. Следовательно, сами электровозы являются источником существенных помех на аппаратуру АЛС [7].

Типовые рельсовые медные приварные соединители типа РЭСФ-01/50 очень недолговечны из-за действия электрохимической коррозии, что вызывает необходимость их массовой замены. Требуемая долговечность рельсовых стыковых приварных соединителей при

электротяге переменного тока обеспечивается заменой в них медного гибкого провода стальными гибкими тросами с несколько увеличенным сечением. Эксплуатация таких стальных соединителей на ряде участков Восточно-Сибирской дороги показала, что они работают практически безотказно до следующего капитального ремонта пути [7].

На участках с электротягой переменного тока, оборудованных РЦ с частотой сигнального тока 25 Гц, в течение двух-трёх месяцев после капитального ремонта пути АЛС практически не работает из-за неравномерной намагниченности новых рельсов по их длине.

На рисунке 2 приведён частотный спектр напряжения на выходе приёмной локомотивной катушки АЛС на таком участке. Спектр частот помех, создаваемых неравномерной намагниченностью рельсов, находится в полосе пропускания локомотивных фильтров типа ФЛ-25/75М и не превышает 40 Гц при реальных скоростях движения поездов в России.

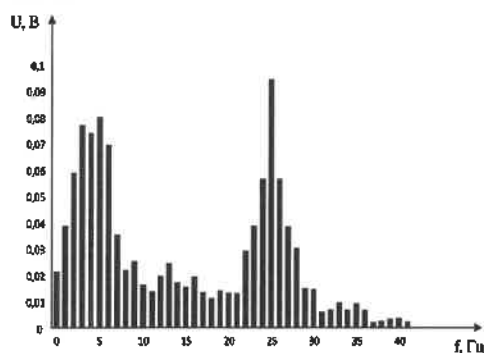


Рисунок 2 – Спектр напряжения на выходе приёмной локомотивной катушки АЛС

Было предложено переходить на несущую частоту сигнального тока 75 Гц, которая и использовалась сначала при внедрении электротяги переменного тока. Такой переход практически полностью исключил эти помехи [7].

Формулу для вычисления относительного значения асимметрии тягового тока в рельсовых нитях рельсовой линии, его коэффициента асимметрии, для наиболее простого варианта однопутного перегона при промёрзшем или сухом грунте можно представить в следующем виде

$$k_{AI} = \frac{|r_{n1} - r_{n2}|}{(r_{n1} + r_{n2}) + 2r_p + j\omega \left( 2L_p + \frac{L_{дт}}{l} \right) - 2z_m},$$

где  $r_{n1}; r_{n2}$  – сумма сопротивлений переходов между рельсами и накладками, а также между токопроводящими элементами в рельсовых стыковых соединителях и дроссельных переключках в разных рельсовых нитях;  $L_p$  – удельная индуктивность сплошных рельсов в рельсовой нити для соответствующей гармонике тягового тока и  $r_p$  – удельное их активное сопротивление;  $L_{дт}$  – индуктивность основной обмотки дроссель-трансформатора;  $n$  – количество учитываемых дроссель-трансформаторов;  $z_m$  – удельное сопротивление взаимной индуктивности рельсовых нитей;  $l$  – длина РЦ или расстояние от первой колесной пары головного электровоза поезда до источника кодовых сигналов АЛС.

Удельное сопротивление взаимной индуктивности рельсовых нитей  $z_m$  является функцией асимметрии тя-

гового тока в рельсовой линии. Учет того, что рельсовая линия – это двухпроводная электрическая линия, а рельсовые нити – это однопроводные электрические линии с распределёнными параметрами, существенно усложняет данную формулу.

Уровень помех зависит от температуры рельсов и растёт с увеличением тягового тока. На рисунке 3 показаны графики зависимостей от величины тягового тока коэффициентов асимметрии тягового тока и значений тока асимметрии в рассматриваемой рельсовой линии с рельсами типа 365 при неизменной температуре рельсов +20 °С.

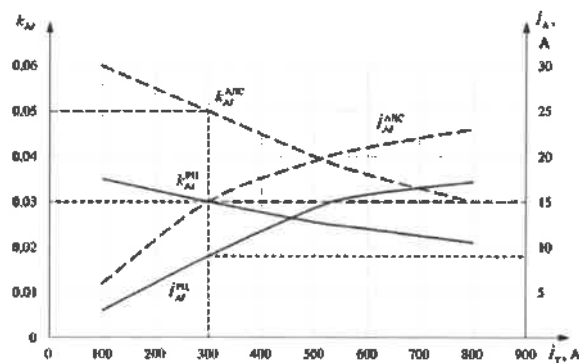


Рисунок 3 – Влияние величины тягового тока в рельсовой линии на значения коэффициентов и величин асимметрии тягового тока для РЦ и АЛС

Зависимости численных значений токов асимметрии под катушками АЛС или в местах подключения к рельсам аппаратуры РЦ от величины тягового тока в рельсовой линии нелинейны. Увеличение тягового тока в рельсовой линии, например, в 8 раз, со 100 до 800 А, приводит к увеличению асимметрии тягового тока для АЛС только в 4 раза, а для РЦ – в 5 раз. Уменьшение температуры рельсов не вызывает существенных изменений в этих соотношениях.

Разработанная с учетом этого методика расчетов [8] позволяет находить численные значения асимметрии тягового тока в требуемых точках рельсовой линии в зависимости от её длины, температуры рельсов, величины и частоты тягового тока в них, от степени деградации её токопроводящих и изолирующих элементов.

Проведённые исследования позволяют достоверно определять причины неустойчивой работы аппаратуры рельсовых цепей и автоматической локомотивной сигнализации на конкретных участках железной дороги. Они обеспечивают также возможность прогнозировать изменения электромагнитной обстановки при планировании перехода на тяжеловесное или высокоскоростное движение и разрабатывать действенные меры по подготовке тяговой сети и аппаратуры автоматики для работы в более сложных условиях эксплуатации.

#### Список литературы

- 1 Sauer, C. Gleisstromkreise – ein veraltetes oder aktuelles Mittel zur Gleisfreimeldung / C. Sauer // Eisenbahningenieur. – 2014. – В. 65. – No. 7. – S. 25–30.
- 2 Кравцов, Ю. А. Электромагнитная совместимость рельсовых цепей и электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом / Ю. А. Кравцов // Автоматика на транспорте. – 2015. – № 3. – С. 7–27.
- 3 Bestemyanov, P. F. On statistical models of the amplitude and the duration of pulsed electromagnetic interference in automatic-control and telemechanics channels of subway lines /

P. F. Bestemyanov, I. G. Gorlin // *Russian Electrical Engineering*. – 2016. – Vol. 87. – No. 9. – P. 493–497.

4 Бочков, К. А. Исследование электромагнитной совместимости устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : автореф. дис. ... канд. техн. наук / К. А. Бочков. – Л. : ЛПИЖТ, 1981. – 19 с.

5 Непрерывная оценка состояния обратной тяговой сети в условиях организации тяжеловесного движения / С. А. Лушев [и др.]. // *Известия ТрансСибя*. – 2017. – № 1. – С. 2–9.

6 Метод исследования параметров импульсных помех в каналах АЛСН / В. Б. Леушин [и др.] // *Исследование и разра-*

*ботка ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте : межвуз. сб. науч. тр.* – Вып. 21. – Самара : СамИИТ, 2001. – С. 139–141.

7 Shamanov, V. Formation of Interference from Power Circuits to Apparatus of Automation and Remote Control / V. Shamanov // *Proceedings of 16<sup>th</sup> IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018)*, Kazan, Russia, September 14–17. – 2018. – P. 140–146. – Doi: 10.1109/EWDTS, 2018.

8 Шаманов, В. И. Расчеты помех от тягового тока в неоднородных рельсовых линиях / В. И. Шаманов // *Автоматика на транспорте*, 2020. – Т. 6. – № 3. – С. 241–267.

Получено 14.10.2020.

**V. I. Shamanov. Analysis and forecasting of electromagnetic situation for automation equipment with electric power.**

Some results of studies of the analysis of the state of the electromagnetic environment for track circuits and automatic locomotive signaling on railway sections with AC electric traction, as well as the possibilities of forecasting how this situation will change when the operating conditions of the traction rail network deteriorate or change on the track section are presented. This forecasting is complicated by the fact that the main source of interference on the operation of the equipment under consideration is the value of the difference between the alternating traction currents in the rail threads of the rail line is a function of several parameters: the temperature of the rails, the length of the rail circuit, the size and harmonic composition of the traction current, the mutual inductance of the rail threads with other current carrying lines.