

Видно хорошее совпадение результатов расчётов, полученных решением дифференциальных уравнений (кривая 1) с результатами расчётов по разработанной методике (кривая 3). При расчётах, по результатам которых построена кривая 2, не учитывалось влияние взаимной индуктивности рельсовых нитей по длине рельсовой линии.

Проверена также достоверность получаемых по разработанной методике результатов того, как изменяется асимметрия обратного тягового тока при движении поезда по несимметричной рельсовой линии. Для сравнения взяты результаты измерения в кабине электровоза величины асимметрии переменного тягового тока под катушками АЛСН при движении поезда по одному из перегонов Красноярской железной дороги (рисунок 2, б).

На большей части перегона тяговый ток интенсивно стекал через цепи заземления, и, когда его асимметрия превышала 16 А, происходил сбой в работе АЛСН. Рост величины продольной асимметрии сопротивления рельсовой линии при приближении поезда к станции привёл ко второму сбою в работе АЛСН. Волнистый характер полученных кривых вызван наличием на этом участке отрезков рельсовых нитей с плохим состоянием токопроводящих соединений рельсовых звеньев. Сравнение результатов этих измерений с результатами расчётов по разработанной методике показало их хорошую сходимость.

Таким образом, получаемые с использованием разработанной методики результаты удовлетворительно согласовываются с результатами соответствующих измерений в условиях эксплуатации и с результатами расчётов, выполненных другими авторами по другим методикам. Это подтверждает корректность данной методики.

#### Список литературы

- 1 **Брылеев, А. М.** Электрические рельсовые цепи / А. М. Брылеев, Н. Ф. Котляренко. – М. : Транспорт, 1970. – 256 с.
- 2 Основы теории цепей / Е. Г. Зевеке [и др.]. – М. : Энергия, 1975. – 751 с.
- 3 **Шаманов, В. И.** Расчётные электрические схемы рельсовых линий / В. И. Шаманов, Д. В. Денежкин // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Белорусской железной дороги. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ. 2022. – С. 230–232.
- 4 **Шаманов, В. И.** Оценивание электромагнитной обстановки для аппаратуры автоматики и телемеханики на электрифицированных участках железных дорог / В. И. Шаманов // Автоматика на транспорте. – 2022. – Т. 8, № 3. – С. 234–252.
- 5 **Шаманов, В. И.** Помехи от гармоник тягового тока в рельсах на системы автоматической локомотивной сигнализации и рельсовые цепи / В. И. Шаманов, Д. В. Денежкин // Электротехника. – 2023. – № 9. – С. 51–54.

УДК 656.259.12

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШУНТОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ

*Д. В. ШВАЛОВ, Е. Р. ПЛЕЧИСТОВА, А. Д. МАМОНТОВА*

*Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону,  
Российская Федерация*

Отступления от норм содержания рельсовых цепей в части необеспечения шунтового эффекта приводят к крушениям поездов из-за перевода стрелки под составом или открытия светофора, ограждающего занятый участок пути (станция Ясиноватая в 1993 и 1996 гг., станция Колокша в 1997 г., перегон Гжель – Овражки в 2005 г., станция Кутан в 2012 г. и другие известные случаи). Известные средства технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики имеют возможность выявления ложной свободности путем контроля логической последовательности занятия рельсовых цепей, но не решают задачу автоматической идентификации причин, вызывающих ухудшение шунтового эффекта. В этой связи представляет интерес исследование возможности выявления факта и причин ухудшения (невыполнения) шунтового эффекта на основе использования данных о значениях параметров рельсовых цепей и фактическом местоположении подвижных единиц в пределах рельсовых цепей.

Принципы построения модели изменения параметров сигнального тока на входе путевого приемника в динамике движения подвижной единицы по рельсовой цепи от момента вступления до момента освобождения изложены в [1]. Рассмотрим экспериментальную методику расчета коэффициента чувствительности рельсовой цепи к фактическому поезвному шунту – исследование динамики изменения коэффициента в одних и тех же точках рельсовой линии при нормальных условиях

эксплуатации и при воздействиях различных дестабилизирующих факторов. В качестве таких факторов выбраны загрязнение поверхностей головок рельсов непроводящим материалом (например, песком) на протяжении участка конечной длины и загрязнение поверхностей колес одного вагона (последнего вагона в составе) непроводящим материалом (например, мазутом). Расчетная схема замещения рельсовой цепи показана на рисунке 1, где использованы следующие обозначения:

- $U, I$  – напряжение, ток источника питания рельсовой цепи;
- Н и К – четырехполосники, замещающие аппаратуру соответственно питающего и релейного конца рельсовой цепи, с коэффициентами соответственно  $A_n, B_n, C_n, D_n$  и  $A_k, B_k, C_k, D_k$ ;
- $A_{ш}, B_{ш}, C_{ш}, D_{ш}$  – коэффициенты общего четырехполосника, замещающего рельсовую линию с наложенным на нее поездным шунтом;
- $Z_{рл1}$  – свободная от подвижного состава часть рельсовой линии между поездным шунтом и питающим концом;
- $Z_{рл2}$  – свободная от подвижного состава часть рельсовой линии между поездным шунтом и релейным концом;
- $R_{ш}$  – сопротивление поездного шунта;
- $U_{шп}, I_{шп}$  – напряжение, ток на входе путевого приемника  $Z_{шп}$ .

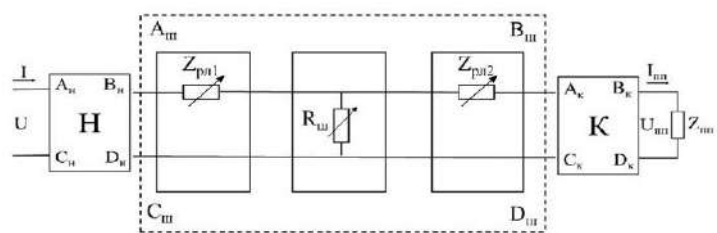


Рисунок 1

По выбранной схеме замещения выражение для расчета коэффициента шунтовой чувствительности рельсовой цепи в любой момент времени в процессе движения по ней подвижной единицы (поезда) можно получить, пользуясь типовой методикой расчета рельсовых цепей согласно [2]:

$$K_{ш} = \frac{I_{шп} \left| K'_{тн} K_{тк} \left( A_{ш} Z_{вх к} + B_{ш} + Z'_{вх н} \cdot (C_{ш} Z_{вх к} + D_{ш}) \right) \right|}{|U|},$$

где значения  $K'_{тн}, K_{тк}, Z_{вх к}, Z_{вх н}$  рассчитываются согласно [2] и являются постоянными для конкретного расчета величинами, а значения коэффициентов  $A_{ш}, B_{ш}, C_{ш}, D_{ш}$  рассчитываются в зависимости от местоположения поездного шунта и длины свободной части рельсовой линии [1] и являются переменными величинами.

Результаты расчета коэффициента чувствительности рельсовой цепи к фактическому поездному шунту при воздействиях указанных выше дестабилизирующих факторов показано на рисунке 2. Исследование динамики изменения искомого коэффициента в одних и тех же точках рельсовой линии при отсутствии влияний (график 1), при потере шунта всеми колесными парами последнего вагона в составе (2) и при загрязнении поверхностей головок рельсов непроводящим материалом (3) позволяет сделать вывод о причинах снижения фактической шунтовой чувствительности, а также выявить участки рельсовой линии, для которых фактический коэффициент шунтовой чувствительности ниже нормативного.

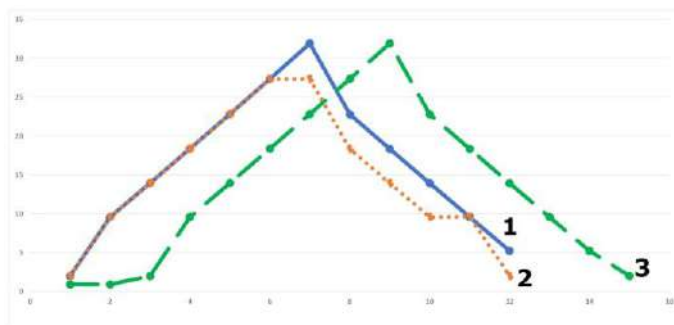


Рисунок 2

Динамика изменения значений фактического коэффициента шунтовой чувствительности может быть использована при реализации алгоритма логического распознавания характера занятия рельсовой цепи – фактического или ложного, что может быть использовано для организации технического обслуживания рельсовых цепей «по состоянию» (ситуационного управления) [3, 4]. Такой алгоритм при реализации в системе технического диагностирования и мониторинга может стать дополнительным каналом получения информации наряду с известными алгоритмами логического контроля последовательного занятия и освобождения рельсовых цепей, реализуемыми в системах централизации стрелок и светофоров.

#### Список литературы

1 Швалов, Д. В. Динамическая модель фазочувствительной рельсовой цепи в шунтовом режиме / Д. В. Швалов, Е. Р. Плечистова, А. Д. Мамонтова // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Белорусской железной дороги (Гомель, 24–25 ноября 2022 г.). В 2 ч. Ч. 1; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 234–236.

2 Брылеев, А. М. Устройство и работа рельсовых цепей / А. М. Брылеев, А. В. Шишляков, Ю. А. Кравцов. – М. : Транспорт, 1966. – 264 с.

3 Пультяков, А. В. Управление инцидентами в системе технической эксплуатации микропроцессорных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / А. В. Пультяков, В. А. Алексеенко, Р. В. Лихота // Транспорт Урала. – 2020. – № 1 (64). – С. 43–47.

4 Пультяков, А. В. Организация работы центров технической диагностики и мониторинга устройств автоматики и телемеханики на Восточном полигоне / А. В. Пультяков, В. А. Алексеенко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2023. – № 1. – С. 23–28.

УДК (681.584.7+656.259.9):681.518.5

## ПРОБЛЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕЛЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

*Д. В. ШВАЛОВ, В. В. ПОЛУКОШКО*

*Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону,  
Российская Федерация*

На сегодняшний день, несмотря на активное развитие микропроцессорной техники, в системах железнодорожной автоматики и телемеханики доминирующими приборами являются электромагнитные реле, часть которых имеет выработку установленного ресурса и находится в состоянии физического старения, что при влиянии различных дестабилизирующих факторов может привести к возникновению отказов, и, как следствие, к увеличению рисков нарушения условий безопасности движения поездов, снижения пропускной и провозной способности железных дорог.

Физическое старение реле, причинами которого являются как необратимые физико-химические процессы, так и процессы, вызванные воздействием различных дестабилизирующих факторов – электромагнитных сил, коммутационных явлений, вибрационных нагрузок и других механических воздействий, экстремальных температур, агрессивной по допустимым условиям эксплуатации окружающей среды. Разрушительное воздействие на элементы реле оказывают процессы эрозии и электрического изнашивания, возникающие вследствие воздействия электрических разрядов, искрения, дугообразования, сопровождающихся значительным выделением тепловой энергии [1]. Совокупное воздействие дестабилизирующих факторов приводит к циклической деформации материала и появлению микротрещин, рост которых может быть усилен механическими напряжениями в материале, что, в свою очередь, может вызвать необратимые процессы изменения структуры и химического состава изоляции и медных жил проводов, включая жилы обмоток реле. Так, повреждение нити обмотки реле увеличивает электрическое сопротивление участка, что приводит к увеличению температуры дефектного места, выгоранию и обрыву этого участка. Также следует отметить, что релейные схемы функционируют в условиях нестабильности питания, перегрузок по напряжению (току), атмосферных и коммутационных явлений в линиях внешнего электроснабжения, что в конечном итоге и приводит к термическим повреждениям их элементов.

Как показывает практика, последствиями рассмотренных процессов являются обрывы проводов обмоток, частичные или полные короткие замыкания витков обмоток, внутренние обрывы обмоток, увеличение сопротивления контактов, отклонение от норм времени притяжения и отпускания якоря