

основного аппарата моделирования алгебры логики в базе операций «И», «ИЛИ», «НЕ». Форма представления исходной структуры системы – схема функциональной целостности, позволяющая отображать практически все известные виды структурных моделей систем. Комплекс автоматически формирует расчетные аналитические модели надежности и безопасности систем и вычисляет вероятность безотказной работы, среднюю наработку до отказа, коэффициент готовности, среднюю наработку на отказ, среднее время восстановления, вероятность отказа восстанавливаемой системы, вероятность готовности смешанной системы, а также значимость и вклад элементов в различные показатели надежности системы в целом. ПК АСМ позволяет также автоматически определять кратчайшие пути успешного функционирования, минимальные сечения отказов и их комбинации.

Также на российском рынке представлена успешно развивающаяся подсистема АСНИКА-К – программное средство решения задач анализа и обеспечения надежности в рамках автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). По своим возможностям подсистема АСНИКА-К не уступает RBD-модулям зарубежных программных комплексов *A.L.D. Group (RAM Commander)*, *Relax*, *Isograph* и др. АСНИКА-К позволяет вести расчет надежности РЭА, производимой в России, на основе данных, приведенных в отечественных справочниках «Надежность электрорадиоизделий», «Надежность электрорадиоизделий зарубежных аналогов».

Следует отметить, что актуальной является проблема разработки отечественных программных комплексов для автоматизированного моделирования и расчета статических и динамических показателей надежности и безопасности сложных технических систем, что обусловлено объективными трудностями использования для этих целей программ зарубежной разработки – так как все вышеперечисленные программные продукты обладают высокой стоимостью, технологической зависимостью и проблемами подготовки кадров. Поэтому в «НИЛ БЭМС ТС» на базе БелГУТа ведется разработка собственного программного комплекса, который в будущем, как предполагается, сможет выполнять большинство пунктов FMECA-анализа в автоматическом режиме.

Программное обеспечение базируется на программе *ngSpice* [4], которая использует для моделирования ядро *SPICE* – общепризнанный эталон в области моделирования электронных схем. Используется открытое, свободно распространяемое программное обеспечение. В настоящее время решены задачи автоматизации для этапов определения видов отказов, их имитации и протоколирования результатов. Ведется работа над определением последствий и критичности отказов в соответствии с установленными критериями.

#### Список литературы

- 1 Failure Mode, Effects & Criticality Analysis (FMECA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://quality-one.com/fmea/>. – Дата доступа : 16.09.2023.
- 2 RAM Commander [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://s-labs.ru/index.php/73-areas-of-work/170-ramc>. – Дата доступа : 17.09.2023.
- 3 Обзор программных комплексов по расчету надежности сложных технических систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://kit-e.ru/obzor-programmnyh-kompleksov-po-raschetu-nadezhnosti-slozhnyh-tehnicheskikh-sistem/>. – Дата доступа : 18.09.2023.
- 4 Ngspice User's Manual Version 40 plus (ngspice release version) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ngspice.sourceforge.io/>. – Дата доступа : 19.09.2023.

УДК 656.25

## ОЦЕНКА КОРРЕКТНОСТИ МЕТОДИКИ РАСЧЁТОВ УРОВНЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ ПОМЕХ ОТ ТЯГОВОГО ТОКА

*В. И. ШАМАНОВ, Д. В. ДЕНЕЖКИН*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

На железных дорогах мира, в том числе в России и Беларуси, для контроля свободности участков пути и отсутствия на них излома рельсов широко используются рельсовые цепи (РЦ). На электрифицированных железных дорогах основным источником помех на работу РЦ и автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) являются гармоники тягового тока. Уровень этих помех зависит от разности тяговых токов в местах подключения к рельсам приемников РЦ или под катушками АЛС. Величина этой разности (асимметрия) является основной при оценке электромагнитной обстановки для систем интервального регулирования движения поездов.

При расчетах режимов работы РЦ рельсовые линии представляется пассивным четырёхполюсником [1]. Однако для расчётов характера распределения по рельсовым линиям тягового тока более удобно рассматривать их в виде сложных электрических цепей, в которых рельсовая линия представляется в виде каскадного соединения шестиполюсников. Требуемая точность такой замены обеспечивается за счёт разделения рельсовой линии на отдельные отрезки, по длине которых продольные и поперечные сопротивления рельсовых линий изменяются в допустимых пределах [2, 3].

Разработанная методика расчётов уровней помех от тягового тока при таком представлении неоднородной рельсовой линии по величине входных сопротивлений на её отдельных участках не обеспечивает достаточно простого определения характера распределения токов по продольным и поперечным элементам линии [4]. Этому недостатка лишена методика расчётов с использованием метода контурных токов [5]. Проведение расчётов упрощается при использовании ЭЦВМ.

Корректность (валидация) этой методики расчётов помех от тягового тока проверена сравнением результатов, полученных при её использовании, с результатами измерения уровней переменных тяговых токов в рельсовых линиях и его асимметрии в условиях эксплуатации на участках Транссибирской магистрали, электрифицированных на переменном токе. Измерения выполнены научными сотрудниками ИрГУПС. Проводились также сравнения с результатами, полученными по другим методикам расчётов разными авторами.

Сравнение результатов расчётов по разработанной методике изменения величины первой гармоники тягового тока в рельсовой линии при приближении поезда к РЦ (рисунок 1, а) с результатами измерений такой величины по мере приближения поезда к границе станции Подкаменная ВСЖД (рисунок 1, б) подтверждает достоверность данных, получаемых при использовании рассматриваемой методики.

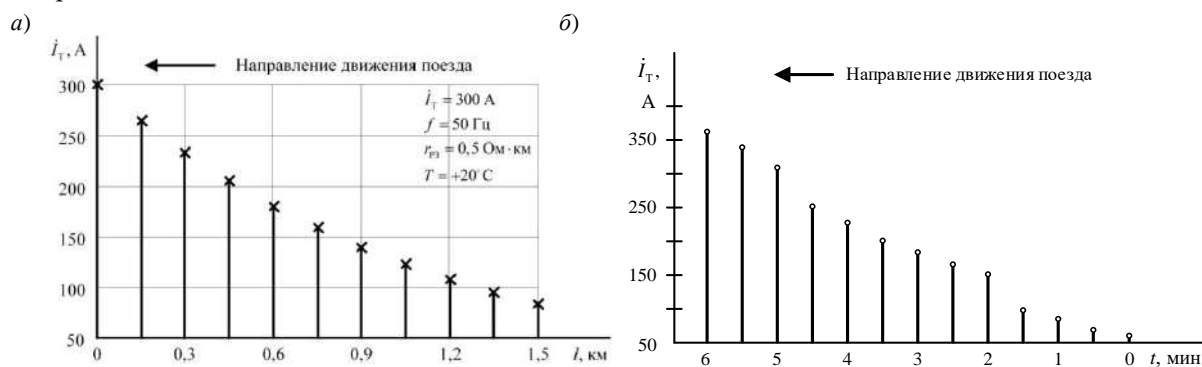


Рисунок 1 – Изменение величины первой гармоники тягового тока при приближении поезда к РЦ: а – результаты расчётов, б – результаты эксперимента

Корректность разработанной методики проверена также анализом результатов из других источников по определению изменения асимметрии первой гармоники тягового тока под приёмными локомотивными катушками АЛС. На рисунке 2, а представлены графики изменения коэффициента асимметрии тягового тока. Кривая 1 получена решением дифференциальных уравнений распределения тока и напряжения по длине однородной линии, кривая 2 – вычислением входных сопротивлений рельсовых нитей [4], кривая 3 – с использованием разработанной методики.

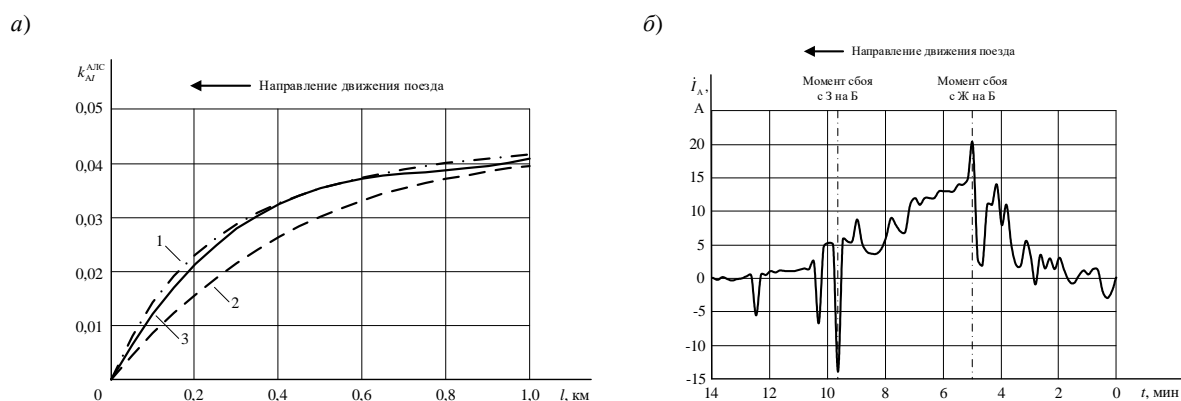


Рисунок 2 – Изменения коэффициента асимметрии первой гармоники тягового тока по длине однородной рельсовой линии: а – результаты расчётов; б – экспериментальные данные

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