

- 3) модели, которая определяет принципы анализа и обработки данных;
- 4) пользовательского интерфейса, который позволяет человеку взаимодействовать с программой.

С технической точки зрения основной задачей системы поддержки принятия решений является взаимодействие пользователя с информацией, хранящейся в базе данных. В связи с этим важным звеном при построении базы данных является выбор эффективной логической структуры для хранения информации. Неоднозначность выбора структуры хранения информации для системы поддержки принятия решений заключается в том, что методы обработки информации зависят от выбранной модели и могут значительно отличаться в зависимости от выполняемых задач. Для железнодорожного транспорта характерны повышенные требования к безопасности и надежности устройств, из-за чего применение уже существующих технологических решений, используемых в других сферах, не представляется возможным. С учетом данной специфики можно сформулировать следующие принципы реализации баз данных и баз знаний:

- 1) модульное построение – для разделения информации по предметным областям и отдельным компонентам системы;
- 2) быстрое внесение изменений при необходимости – для адаптации базы данных под изменения системы;
- 3) чтение файлов в общепринятых форматах – для упрощения процесса внесения новой информации;
- 4) хранение исторических данных – для анализа работы системы;
- 5) резервное копирование – для восстановления данных в случае их повреждения или разрушения.

Предлагаемая структура и принципы построения баз данных и баз знаний позволят повысить безопасность движения поездов при возникновении нештатных ситуаций и необходимости реагирования на них оперативного персонала с системой поддержки принятия решений.

УДК 656.25

ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

В. И. ШАМАНОВ

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Одной из основных целей проведения работ по оценке электромагнитной обстановки (ЭМО) на электрифицированных железных дорогах является определение причин неустойчивой работы на конкретном участке рельсовых цепей (РЦ) и/или автоматической локомотивной сигнализации (АЛС). Процесс возникновения электромагнитных помех в РЦ и АЛС многофакторный, а причины возникновения многочисленны и часто взаимосвязаны. Поэтому процесс выявления причин повышенной интенсивности отказов АЛС и/или РЦ относительно сложен и трудно формализуем [1].

Наиболее сложна ЭМО на участках с электротягой переменного тока, где уровни гармонических помех от тягового тока на аппаратуру РЦ и АЛС значительно выше, чем на участках с электротягой постоянного тока. Полное описание ЭМО в условиях эксплуатации технического средства невозможно и не требуется, поэтому описание ограничивается некоторыми характеристиками этой обстановки [2, 3]. Часть аспектов окружающей ЭМО при этом игнорируется, если информация о них отсутствует или потому, что принятие их во внимание сделало бы описание слишком сложным для практического использования.

Основной причиной появления асимметрии тягового тока является возникновение асимметрии сопротивлений рельсовых нитей рельсовых линий из-за неодинакового и несимметричного выхода из поля допуска под действием деградиационных процессов величин электрических сопротивлений токопроводящих и/или изолирующих элементов в этих нитях [3].

Величина сопротивления токопроводящих элементов рельсовой линии зависит от величин \dot{I}_T , \dot{I}_B и частот ω_T , ω_B гармоник соответственно тягового тока или тока во влияющих высоковольтных линиях электроснабжения, а также от температуры элементов T . На величину сопротивления электро-

изолирующих элементов действуют температура T и абсолютная влажность f_b . Сопротивления элементов меняются из-за действия деградиционных процессов по мере увеличения времени эксплуатации рельсовой линии после капитального ремонта пути t_3 .

Часть продольного сопротивления элементов рельсовых нитей не зависит от времени её эксплуатации. Например, для однопутной автоблокировки, когда на 1 км рельсовой линии уложено 40 рельсовых звеньев, это сопротивление с учетом влияющих факторов

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{\text{рн}}(T, \dot{I}_T, \omega_T) = z_p(T, \dot{I}_T, \omega_T) l_{\text{рц}} + [Z_{\text{н}}(T, \dot{I}_T, \omega_T) + Z_{\text{сц}}(T, \omega)] l_{\text{рц}} / 25 + \\ + [2Z_{\text{дп}}(T, \omega_T) + 0,5Z_{\text{дт}}(T, \omega_T) / l_{\text{рц}}], \end{aligned} \quad (1)$$

где $z_p(T, \dot{I}_T, \omega_T)$ – удельное сопротивление сплошных рельсов, Ом/км; $l_{\text{рц}}$ – длина РЦ, км; $Z_{\text{н}}(T, \dot{I}_T, \omega_T)$, $Z_{\text{сц}}(T, \omega)$ – сопротивления соответственно рельсовых накладок и проводов рельсовых стыковых соединителей, Ом; $Z_{\text{дп}}(T, \omega_T)$ – сопротивления тросов у дроссельных перемычек, Ом; $Z_{\text{дт}}(T, \omega_T)$ – сопротивление основной обмотки ДТ, Ом.

Асимметрия сопротивлений рельсовых нитей k_{AZ} рельсовой линии, приводящая к появлению асимметрии тягового тока k_{AI} и помех в аппаратуре РЦ, в случаях, когда утечками тягового тока из рельсов в землю можно пренебречь, может быть найдена по формуле

$$k_{AZ} = k_{AI} = |Z_{\text{рн1}} - Z_{\text{рн2}}| / (Z_{\text{рн1}} + Z_{\text{рн2}}). \quad (2)$$

При расчетах асимметрии сопротивлений рельсовых нитей необходимо учитывать их взаимную индуктивность [4] и то, что неодинаковость изменения сопротивлений элементов по длине рельсовых нитей может в определенной степени приводить к взаимной компенсации влияния этих изменений на асимметрию сопротивлений рельсовых нитей. Числитель формулы (2) с учетом взаимных индуктивностей и действующих факторов

$$|Z_{\text{рн1}} - Z_{\text{рн2}}| = \left| \frac{\Delta R_{\text{пн}}(f_b, t_3) \pm \Delta R_{\text{псц}}(t_3) \pm \Delta R_{\text{пдп}}(t_3) \pm \Delta R_{\text{ис}}(f_b, t_3) +}{+ \left(\frac{\dot{I}_{1T}}{\dot{I}_{2T}} - \frac{\dot{I}_{2T}}{\dot{I}_{1T}} \right) z_{\text{M12}}(\omega_T) l_{\text{рц}} + \frac{\dot{I}_B z_{\text{M2B}}(\omega_B)}{\dot{I}_{2T}} - \frac{\dot{I}_B z_{\text{M1B}}(\omega_B)}{\dot{I}_{1T}}} \right|, \quad (3)$$

где $\Delta R_{\text{пн}}(f_b, t_3)$, $\Delta R_{\text{псц}}(t_3)$, $\Delta R_{\text{пдп}}(t_3)$, $\Delta R_{\text{ис}}(f_b, t_3)$ – разности переходных сопротивлений соответственно в накладках, в дроссельных перемычках, в рельсовых стыковых соединителях и разность сопротивлений изолирующих стыков, величины которых растут по мере увеличения времени эксплуатации рельсовых нитей t_3 ; $z_{\text{M12}}(\omega_T)$ – удельное сопротивление взаимной индуктивности между рельсовыми нитями; $z_{\text{M1B}}(\omega_B)$, $z_{\text{M2B}}(\omega_B)$ – удельные сопротивления взаимной индуктивности первой и второй рельсовых нитей с высоковольтной линией электроснабжения (ЛЭП); \dot{I}_{1T} , \dot{I}_{2T} – тяговые токи в первой и второй рельсовых нитях; \dot{I}_B – эквивалентный ток в многопроводной ЛЭП.

Знаменатель формулы (2)

$$Z_{\text{рн1}} + Z_{\text{рн2}} = \left| \bar{Z}_{\text{рн1}}(T, \dot{I}_{T1}, \omega_T) + \bar{Z}_{\text{рн2}}(T, \dot{I}_{T2}, \omega_T) + \Delta R_{\text{пн}}(f_b, t_3) + \Delta R_{\text{псц}}(t_3) + \Delta R_{\text{пдп}}(t_3) + \right. \\ \left. + \Delta R_{\text{ис}}(f_b, t_3) + \left(\frac{\dot{I}_{1T}}{\dot{I}_{2T}} + \frac{\dot{I}_{2T}}{\dot{I}_{1T}} \right) z_{\text{M12}}(\omega_T) l_{\text{рц}} + \frac{\dot{I}_B z_{\text{M2B}}(\omega_B)}{\dot{I}_{2T}} + \frac{\dot{I}_B z_{\text{M1B}}(\omega_B)}{\dot{I}_{1T}} \right|. \quad (4)$$

Из формулы (3) видно, что разность сопротивлений рельсовых нитей зависит не только от времени эксплуатации, но и от влажности изолирующих стыков и переходов в рельсовых накладках, а также от соотношения токов в каждой рельсовой нити с токами в другой рельсовой нити и с током во влияющей ЛЭП.

Из формулы (4) видно, что при неизменной разности сопротивлений рельсовых нитей их асимметрия может заметно меняться при изменении температуры рельсов, величины или частоты тягового тока. Их увеличение приводит к уменьшению асимметрии сопротивлений рельсовых нитей и асимметрии тягового тока в них. Поэтому рост тяговых токов при движении тяжеловесных поездов

или в зонах возле тяговых подстанций не приводит к пропорциональному росту интенсивности сбоев в работе РЦ или АЛС. Уменьшение температуры окружающей среды вызывает рост интенсивности этих сбоев. Колебания этой температуры приводят к сезонным изменениям ЭМО.

На двухпутных или многопутных перегонах, а также на станциях величина асимметрии тяговых токов в рельсовых линиях зависит ещё и от величины токов во влияющих электрических линиях – в рельсовых нитях соседних рельсовых линий и их контактных проводах. Этим объясняются перекрытия светофоров на запрещающие показания перед поездом при движении тяжеловесного поезда по соседнему пути или при разгоне грузового поезда на нём [5].

В летнее время переменный тяговый ток интенсивно стекает из рельсов в землю, отчего величина переменного тягового тока по длине рельсовой нити изменяется в зависимости от соотношения продольного и поперечного сопротивлений рельсовой нити в конкретной её точке. В результате меняется влияние взаимной индуктивности на сопротивление рельсовых нитей по их длине.

Деградационные процессы в токопроводящих и изолирующих элементах рельсовых нитей вызывают увеличение интенсивности сбоев РЦ и АЛС по мере роста сроков эксплуатации пути после капитального ремонта. Повышение интенсивности сбоев РЦ и АЛС в летний период может быть связано с ухудшением электроизолирующих свойств искровых промежутков в цепях заземления различных конструкций, подключаемых к рельсам, а также ухудшением состояния электроизолирующих элементов железобетонных шпал.

Таким образом, при электротяге переменного тока ЭМО может быстро и существенно меняться при изменениях величины и частотного состава тяговых токов в своей и в соседних рельсовых линиях, а также при резком изменении температуры окружающей среды. Медленные изменения ЭМО вызываются изменениями влажности окружающей среды и сезонными изменениями её температуры. Постепенное ухудшение ЭМО после капитального ремонта пути вызывается деградационными процессами в токопроводящих и изолирующих элементах рельсовых линий.

Список литературы

- 1 **Шаманов, В. И.** Электромагнитная совместимость систем железнодорожной автоматики и телемеханики / В. И. Шаманов. – М. : УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2013. – 244 с.
- 2 **Bestem'yanov, 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. Bestem'yanov, I. G. Gorlin // Russian Electrical Engineering. – 2016. – Vol. 87. – No. 9. – P. 493–497.
- 3 **Шаманов, В. И.** Процесс формирования асимметрии тягового тока в рельсовой линии / В. И. Шаманов // Электротехника. – 2014. – № 8. – С. 34–37.
- 4 **Shamanov, V. I.** Magnetic properties of rails and the noise level in the hardware of railway automation and remote control / V. I. Shamanov // Russian Electrical Engineering. – 2015. – Vol. 86. – No. 8. – P. 509–512.
- 5 **Shamanov, V. I.** Alternating Traction Current Dynamics in Track Lines on Double-Track Hauls / V. I. Shamanov // Russian Electrical Engineering. – 2016. – Vol. 87. – No. 10. – P. 566–571.

УДК 656.21

РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МЕТОДИКИ ОПТИМИЗАЦИИ ЗИП

Д. Н. ШЕВЧЕНКО, Е. В. БУЁНОК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время при эксплуатации СЖАТ намечается переход к управлению надежностью и безопасностью на всех этапах жизненного цикла. На Российских железных дорогах с 2010 года активно внедряется методология управления ресурсами и рисками на основе анализа надежности (УРРАН), которая наряду с традиционным подходом RAMS (безотказность, готовность, ремонтоспригодность, безопасность) учитывает долговечность СЖАТ и экономические факторы. Вместе с тем этап жизненного цикла, связанный с эксплуатацией существующих СЖАТ и расчетом ЗИП, по соотношению «надежность/стоимость» до сих пор не оптимизирован.

Эксплуатационный запас предназначен для обеспечения бесперебойной работы станционных СЖАТ в случае отказа их элементов. Объем эксплуатационного запаса регламентируется двумя отраслевыми стандартами и в основном предусматривает декларативное задание с учетом интуиции и