

УДК 625.12:620.179

*В.В. ЗАМОРИН, М.Г. ПЕРСОВА (Сибирский государственный
университет путей сообщения, Новосибирский
государственный технический университет)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЛЬСОВ НА СТАНОВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Представлены результаты и дан анализ математического моделирования нестационарного электромагнитного поля модели земляного полотна без верхнего строения пути и при его наличии. Доказана необходимость теоретических и экспериментальных данных.

Введение

Известно, что при диагностике земляного полотна железных дорог методом электромагнитного сканирования [1, 2] возникает необходимость учета влияния рельсов на вторичное поле вихревых токов. Решение этой задачи может быть осуществлено с привлечением математического моделирования нестационарного электромагнитного поля модели земляного полотна в присутствии и отсутствии рельсов при различных геометрических параметрах источника электромагнитного поля, его положения относительно рельсов и значений удельного электрического сопротивления грунтов земляного полотна.

Методика исследования

С целью исследования влияния рельсов на характер становления электромагнитного поля при диагностике земляного полотна методом электромагнитного сканирования было выполнено математическое моделирование процесса становления электромагнитного поля полупространства в присутствии рельсов и без них. Моделирование проводилось с использованием метода конечных элементов [3] для двух вариантов положения источника электромагнитного поля относительно модели рельсов. В первом варианте источник поля расположен над рельсами, во втором — смещен влево на расстояние 1,5 м. В обоих вариантах источник поднят на высоту 0,5 м от уровня головки рельсов. В качестве источника электромагнитного поля в первом варианте был принят прямоугольный генераторный контур с размерами $1,5 \times 2 \text{ м}^2$, во втором варианте расчет производился для двух электромагнитных контуров — $1,5 \times 2 \text{ м}^2$ и $2,5 \times 4 \text{ м}^2$. Значения удельного электрического сопротивления ρ полупространства приняты 1, 10, 100 Ом·м.

Для исследования возможности выявления структурных неоднородностей земляного полотна методом электромагнитного сканирования в присутствии рельсов были проведены дополнительные расчеты становления поля над однородным полупространством и с включенным в него слоем толщиной 1 м на глубине 2 м. Размеры генераторного контура при его установке над рельсами были приняты $1,5 \times 2 \text{ м}^2$, а на расстоянии 1,5 м от рельсов — $2,5 \times 4 \text{ м}^2$. Расчеты выполнены для модели полупространства при двух значениях его удельного электрического сопротивления ρ — 100 и 10 Ом·м, и сопротивлений включенного в него слоя — соответственно 10 и 1 Ом·м. Геометрические параметры принятой модели рельсов типа Р65 представлены на рис. 1.

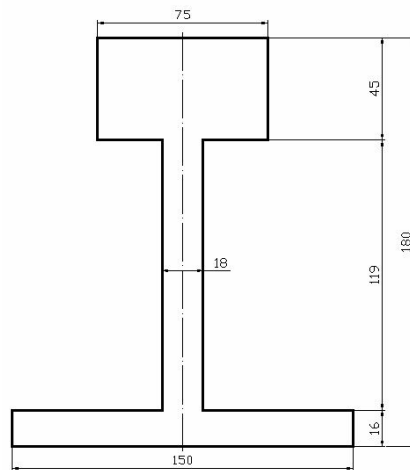


Рис. 1. Модель рельса типа Р65 принятая для расчета электромагнитного отклика

Магнитная проницаемость μ и удельное электрическое сопротивление рельсовой стали ρ приняты соответственно 100 и $0,21 \cdot 10^{-6}$ Ом·м [4].

Анализ результатов математического моделирования нестационарного электромагнитного поля

На рис. 2, 3 представлены результаты математического моделирования в виде графиков зависимостей ЭДС электромагнитного отклика от времени становления поля для полупространства в присутствии рельсов и без них. На рис. 2 представлены результаты моделирования при расположении петлевого источника электромагнитного поля с размерами $1,5 \times 2$ м² над рельсами, на рис. 3 источники поля $1,5 \times 2$ м² (рис. 3, а) и $2,5 \times 4$ м² (рис. 3, б) расположены сбоку от рельсов.

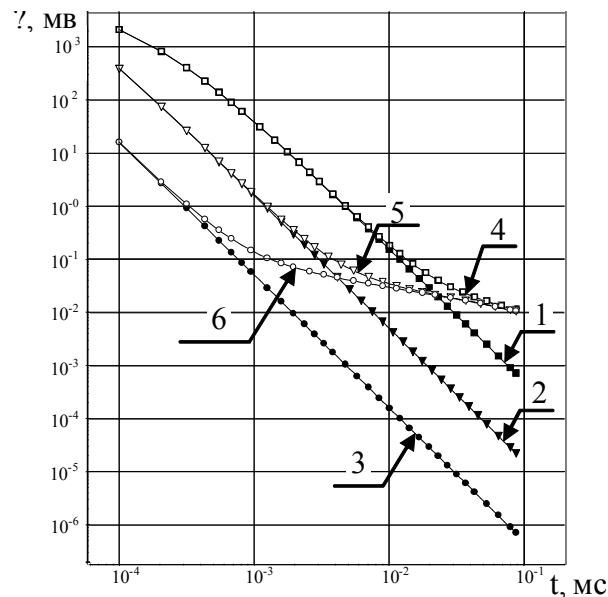


Рис. 2. Зависимости ЭДС электромагнитного отклика от полупространства при размещении источника электромагнитного поля $1,5 \times 2$ м² над рельсами:

1, 2, 3 — зависимости ЭДС электромагнитного отклика от полупространства с удельным электрическим сопротивлением ρ соответственно 1, 10, 100 Ом·м; 4, 5, 6 — зависимости ЭДС электромагнитного отклика полупространства с удельным электрическим сопротивлением ρ соответственно 1, 10, 100 Ом·м в присутствии рельсов

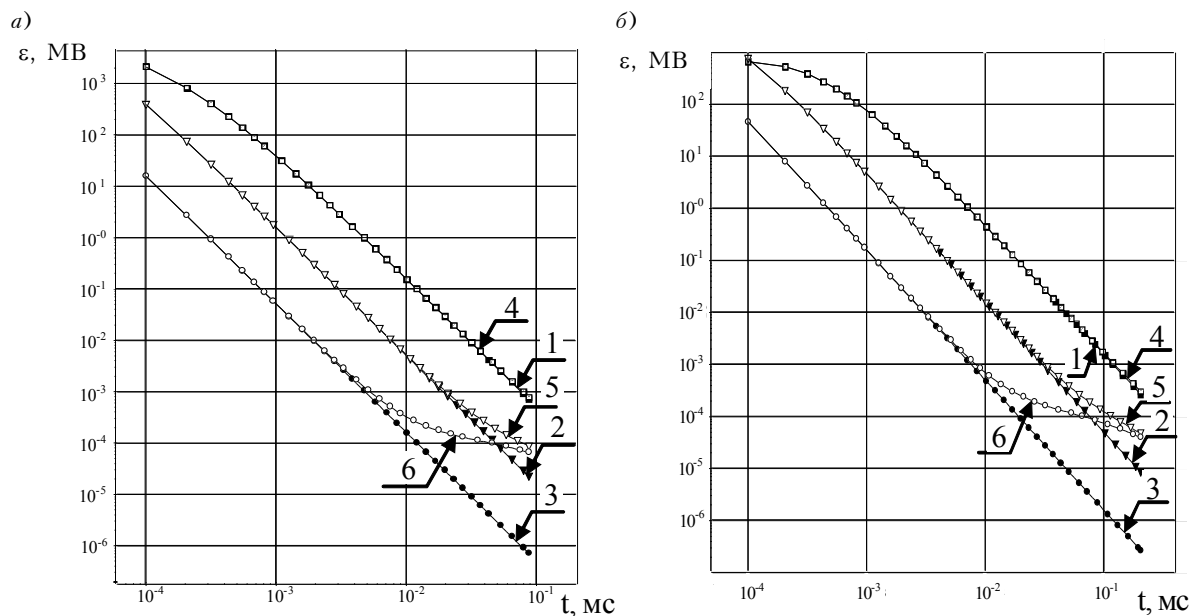


Рис. 3. Зависимости ЭДС электромагнитного отклика от полупространства со смещенным источником поля на расстояние 1,5 м от рельсов:

1, 2, 3 — зависимости ЭДС электромагнитного отклика от полупространства с удельным электрическим сопротивлением ρ соответственно 1, 10, 100 Ом·м; 4, 5, 6 — то же в присутствии рельсов; а — источник поля с размерами $1,5 \times 2$ м²; б — источник поля с размерами $2,5 \times 4$ м²

Из графиков, представленных на рис. 2 и 3 видно, что на ранней стадии становления поля кривые зависимости ЭДС электромагнитного отклика от полупространства в присутствии и отсутствии рельсов имеют близкие значения. В этом интервале времен становления поля возможна интерпретация электромагнитного отклика исследуемой среды без учета влияния на него рельсов. На более поздних временах становления поля отмечается расхождение амплитуды сигналов электромагнитного отклика от полупространства в присутствии рельсов и без них, указывающее на необходимость учета влияния рельсов в процессе обработки и интерпретации результатов измерений.

На рис. 4, 5 представлены результаты математического моделирования процесса становления поля для полупространства с включенным в него слоем толщиной 1 м на глубине 2 м в присутствии рельсов при различных геометрических параметрах петлевого источника поля и его вариантах расположения относительно рельсов. На рис. 4 представлены графики зависимости ЭДС от времени становления поля для полупространства с удельным электрическим сопротивлением $\rho = 100$ Ом·м и полупространства с включенным в него слоем $\rho = 10$ Ом·м.

На рис. 5 представлены результаты расчета для полупространства с удельным электрическим сопротивлением $\rho = 10$ Ом·м и полупространства с включенным в него слоем $\rho = 1$ Ом·м.

Из анализа рис. 4 и 5 следует, что выявление приповерхностного проводящего слоя полупространства в присутствии рельсов возможно в интервале становления поля, где значения ЭДС электромагнитного отклика от полупространства с включенным в него слоем существенно превышают значения ЭДС электромагнитного отклика от однородного полупространства.

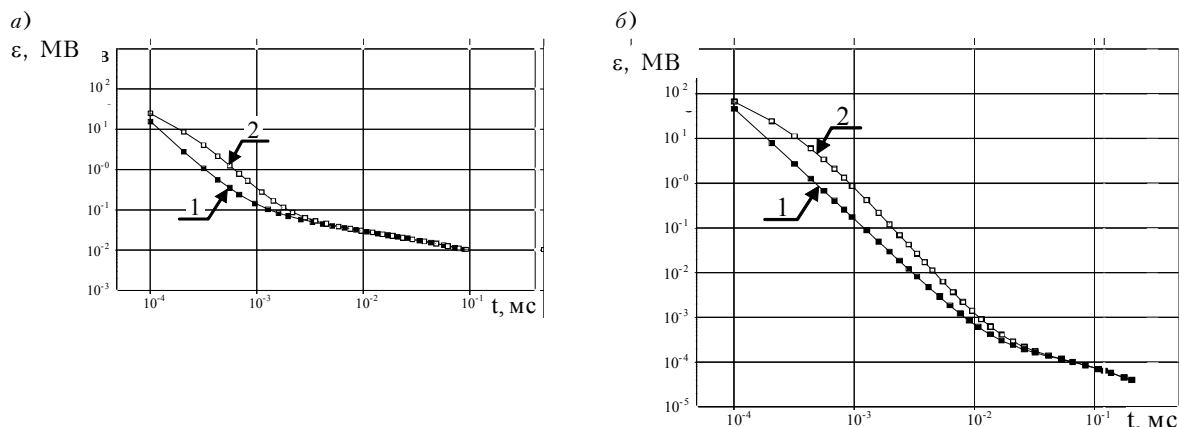


Рис. 4. Зависимости ЭДС электромагнитного отклика от полупространства с удельным электрическим сопротивлением $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и от полупространства с включенным в него слоем с удельным электрическим сопротивлением $10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ в присутствии рельсов: 1 — без слоя; 2 — в присутствии слоя; а — источник поля с размерами $1,5 \times 2 \text{ м}^2$ расположен над рельсами; б — источник поля с размерами $2,5 \times 4 \text{ м}^2$ смещен на расстояние $1,5 \text{ м}$ от рельсов

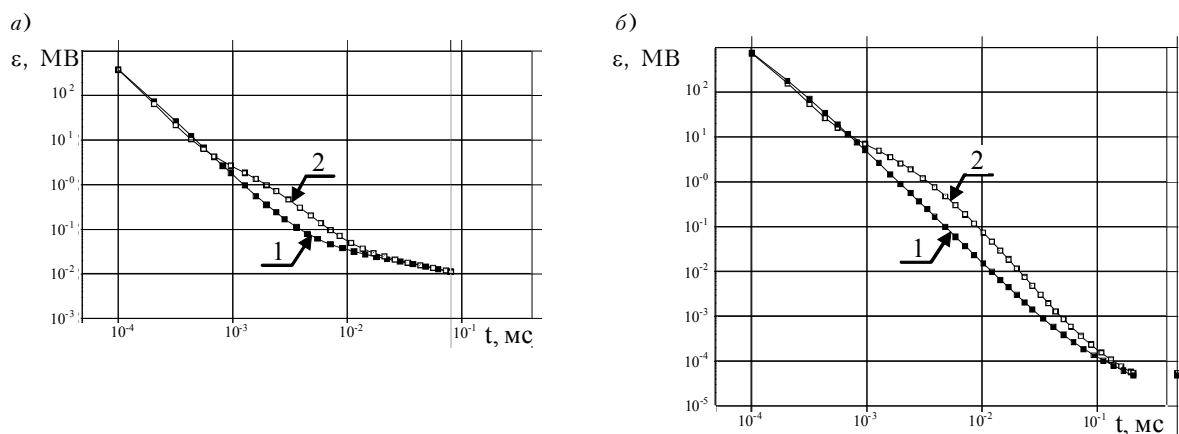


Рис. 5. Зависимости ЭДС электромагнитного отклика от полупространства с удельным электрическим сопротивлением $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и от полупространства с включенным в него слоем с удельным электрическим сопротивлением $1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ в присутствии рельсов: 1 — без слоя; 2 — в присутствии слоя; а — источник поля с размерами $1,5 \times 2 \text{ м}^2$ расположен над рельсами; б — источник поля с размерами $2,5 \times 4 \text{ м}^2$ смещен на расстояние $1,5 \text{ м}$ от рельсов

На рис. 6 представлены результаты математического моделирования для полупространства $\rho = 15 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ в присутствии рельсов и без них, и практическая кривая при расположении петлевого источника электромагнитного поля с размерами $2,5 \times 4 \text{ м}^2$ сбоку от рельсов.

На рис. 6 отчетливо видно, что результаты математического моделирования ЭДС электромагнитного отклика от полупространства в присутствии рельсов и экспериментальные данные, полученные на Красноярской железной дороге совпадают на интервале времени становления поля до 1 мс . Отличие кривых на более поздних временах вызвано влиянием внешних электромагнитных помех.

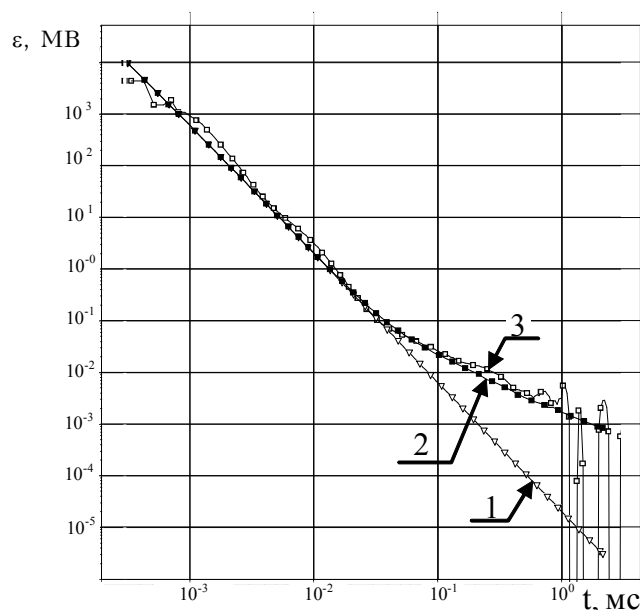


Рис. 6. Зависимости ЭДС электромагнитного отклика от полупространства с удельным электрическим сопротивлением $\rho = 15 \text{ Ом}\cdot\text{м}$:
 1 — расчетная зависимость ЭДС электромагнитного отклика от полупространства в отсутствии рельсов; 2 — расчетная зависимость ЭДС электромагнитного отклика от полупространства в присутствии рельсов; 3 — результат измерений ЭДС электромагнитного отклика железнодорожного пути

Выводы

Результаты математического моделирования нестационарного электромагнитного поля при различных вариантах размещения источника электромагнитного поля, его геометрических параметрах и удельного электрического сопротивления земляного полотна позволяют оценить временной интервал становления поля, где возможна интерпретация результатов электромагнитного сканирования земляного полотна без учета рельсов. Установлено, что при размещении источника поля над рельсами и полупространством с удельным электрическим сопротивлением $100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, рабочий диапазон составляет от $0,1$ до 1 мкс (см. рис. 2). При этом проводящий приповерхностный слой с удельным электрическим сопротивлением $10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ может быть определен (см. рис. 4). При смещении источника на расстояние $1,5 \text{ м}$ от рельсов рабочий диапазон времен становления поля может быть продлен до 10 мкс (см. рис. 3, а, б и 4, б). При размещении источника поля над рельсами и полупространством с пониженным значением удельного электрического сопротивления полупространства до $10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ рабочий диапазон времен составляет примерно 5 мкс (см. рис. 2), а в присутствии приповерхностного проводящего слоя — до 10 мкс (см. рис. 5, а). При смещении источника, рабочий диапазон может быть продлен до $20\text{--}30 \text{ мкс}$ (см. рис. 3, а, б и 4, б).

Если удельное электрическое сопротивление однородного полупространства составляет единицы $\text{Ом}\cdot\text{м}$, то рабочий диапазон становления поля при размещении источника над рельсами и в стороне составляет соответственно 20 и 100 мкс (см. рис. 2 и 3, а, б).

Кроме того, рабочий диапазон может быть увеличен при увеличении размеров петлевого источника электромагнитного поля.

Полученные результаты моделирования хорошо согласуются с практически-ми результатами электромагнитного сканирования железнодорожного земляного полотна.

Библиографический список

1. *Технология* электромагнитного сканирования приповерхностного слоя для решения инженерно-геологических задач / Г.М. Тригубович, М.И. Эпов, В.В. Воевода и др. // Тез. докл. междунар. геофиз. конф. и выставки EAGE. 15–18 сентября 1997. М., 1997.
2. *Заморин В.В.* Исследование возможности и целесообразности применения метода электромагнитного сканирования для обследования железнодорожного земляного полотна // Железные и автомобильные дороги в условиях Сибири: Сб. науч. тр. СГУПС. Новосибирск, 2005. С. 124–126.
3. *Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Персова М.Г.* Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач // Сер. «Учебники НГТУ». Новосибирск, 2007. 896 с.
4. *Марквардт К.Г.* Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1982. 528 с.