

**Крюков Андрей Васильевич,**  
д.т.н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения,  
Иркутский национальный исследовательский университет,  
e-mail: and\_kryukov@mail.ru

**Нгуен Куок Хиеу,**  
магистр техники и технологии, аспирант, Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
e-mail: hieu12829@mail.ru

**Чан Зюй Хынг,**  
к.т.н., декан факультета электротехники и электроники, подполковник,  
Военно-промышленный колледж, г. Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам,  
e-mail: tranduyhung86@mail.ru

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ТЯГОВЫХ СЕТЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Kryukov A.V., Nguen Quoc Hieu, Tran Duy Hung

## MODELING OF ELECTROMAGNETIC FIELDS IN DC TRACTION NETWORKS

**Аннотация.** Разработаны компьютерные модели, позволяющие определять электромагнитные поля (ЭМП) в тяговых сетях постоянного тока (DC) на основе результатов моделирования режимов с учетом высших гармоник (ВГ) в фазных координатах. Вычисление напряженностей ЭМП позволяет наиболее корректно анализировать воздействия смеси полей разных частот на персонал, электронное оборудование и окружающую среду.

**Ключевые слова:** системы тягового электроснабжения постоянного тока, электромагнитные поля.

**Abstract.** Computer models have been developed that allow determining electromagnetic fields (EMF) in direct current (DC) traction networks based on the results of mode modeling taking into account higher harmonics (HH) in phase coordinates. Calculating EMF strengths allows for the most accurate analysis of the effects of a mixture of fields of different frequencies on personnel, electronic equipment, and the environment.

**Keywords:** DC traction power supply systems, electromagnetic fields.

Комплексный подход, позволяющий определять ЭМП тяговых сетей (ТС) DC на основе совместного моделирования режимов сегментов переменного и постоянного токов с учетом движения поездов по реальным участкам, предложен в [1]. Определение режимов и ЭМП ТС DC с напряжением 3 кВ проводилось в промышленном ПК Fazonord, версия. 5.3.6.0–2024. Результаты вычисления ЭМП в системе электроснабжения участка дороги постоянного тока представлены на рис. 1 и 2. Расчеты выполнялись с учетом высших гармоник (ВГ), генерируемых преобразователями тяговых подстанций. ЭМП определялись на высоте 1,8 м.

На рис. 1 показаны зависимости амплитуд напряженностей  $E_{\max} = E_{\max}(t)$ ;  $H_{\max} = H_{\max}(t)$  от времени. Относительно небольшие потенциалы ТС ПТ 3 кВ не вызывает значительных уровней  $E$ ; однако аналогичные параметры для магнитного поля, состоящего из смеси, создаваемой токами разного рода, могут

достигать 250 А/м, рис. 1б. Зависимости максимальных значений амплитуд, ЭМП ТС DC от координаты  $x$  оси, направленной перпендикулярно трассе дороги, приведены на рис. 2. Из него видно, что ВГ заметно влияют на электрическое поле, но практически не изменяют зависимость  $H_{\max} = H_{\max}(x)$ .

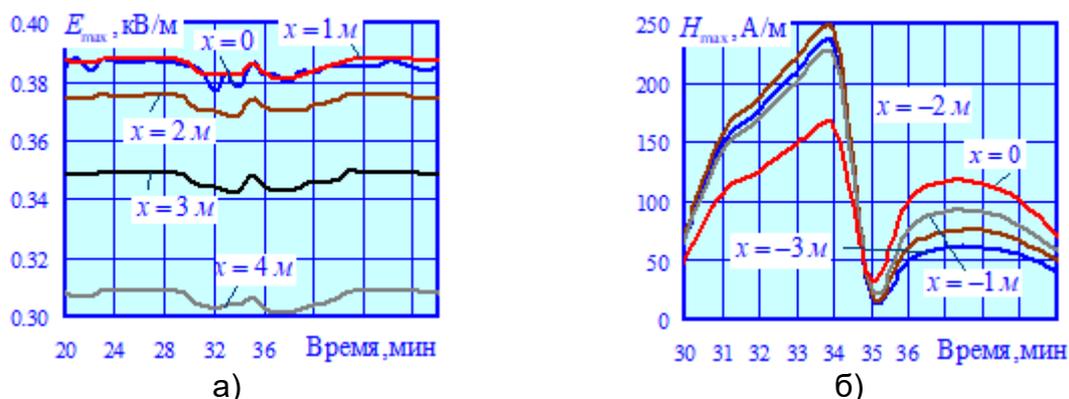


Рисунок 1 – Зависимости  $E_{\max} = E_{\max}(t)$  (а) и  $H_{\max} = H_{\max}(t)$  (б) для ТС DC

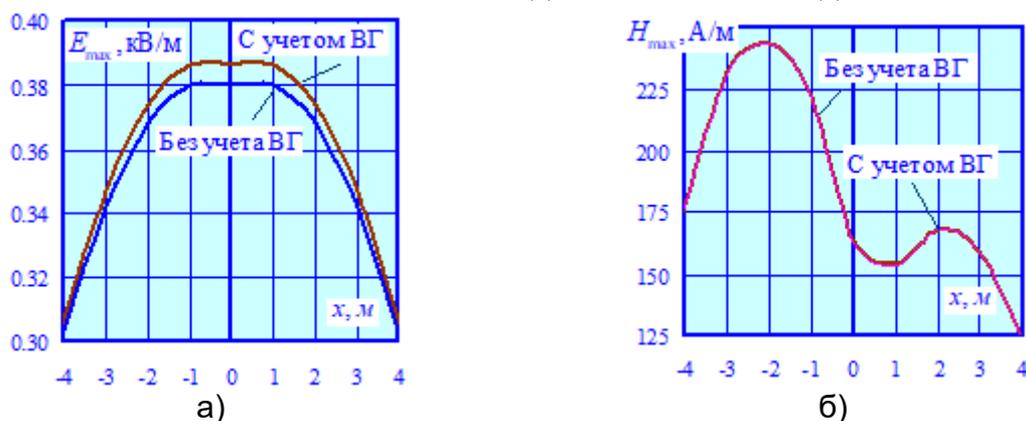


Рисунок 2 – Зависимости максимумов амплитуд ЭМП ТС от координаты  $x$ : а –  $\max(E_{\max})$ ; б –  $\max(H_{\max})$

На основе моделирования сформулированы следующие выводы: тяговые сети DC не создают электрических полей большой интенсивности; однако напряженности магнитного поля могут достигать сотен ампер на метр и оказывать негативное влияние на персонал, электронное оборудование и окружающую среду.

Разработаны модели, обеспечивающие определение электромагнитных полей в сегментах постоянного тока. Они могут применяться в практике проектирования ТС и ЛЭП, питающих тяговые подстанции DC. На их основе возможно осуществлять обоснованный выбор методов и средств по защите электротехнического персонала и окружающей среды от воздействия ЭМП.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Закарюкин В.П., Крюков А.В.** Моделирование систем тягового электроснабжения постоянного тока на основе фазных координат. Москва: Директ-Медиа, 2023. 156 с.