

Буякова Наталья Васильевна,
к.т.н, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: bn_900@mail.ru

Тихонова Ангелина Евгеньевна,
обучающаяся гр. ЭЭ-18-1,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: tihonovaand2helina@yandex.ru

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТЯГОВОЙ СЕТИ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ

Buyakova N.V., Tikhonova A.E.

ELECTROMAGNETIC FIELD OF TRAFFIC NETWORK WITH SHORT CIRCUIT ON THE EARTH

Аннотация. В статье представлены результаты исследований, направленных на изучение электромагнитного поля тяговой сети при возникновении короткого замыкания на землю, сопровождающегося протеканием значительных токов, достигающих десяти килоампер.

Ключевые слова: системы тягового электроснабжения, электромагнитные поля, короткое замыкание.

Abstract. The article presents the results of studies aimed at studying the electromagnetic field of the traction network in the event of a short circuit to earth, accompanied by the flow of significant currents reaching ten kiloamperes.

Keywords: traction power systems, electromagnetic fields, short circuit.

Тяговые сети (ТС) железных дорог переменного тока могут создавать значительные электромагнитные поля (ЭМП). Интенсивность магнитного поля частотой 50 Гц в жилых помещениях не должна превышать 8 А/м [1]. Более поздние нормативно-методические документы [2, 3] устанавливают ПДУ для жилого района - 8 А/м, а для жилых помещений - 4 А/м. По помехозащищенности уровни напряженности магнитного поля, в зависимости от степени жесткости, нормируются в диапазоне от 1 до 100 А/м. В некоторых случаях, особенно при прохождении дороги вдоль жилого района, уровни напряженностей этих полей могут превышать предельно допустимые уровни (ПДУ) [4].

Сложно получить данные о состоянии максимального уровня электромагнитного поля в тех условиях, которые имеются на железной дороге. Поэтому рекомендуется изучать ЭМП, генерируемые системой тягового электроснабжения как на вновь проектируемых объектах, так и уже эксплуатируемых, используя основы математического моделирования [5].

В тяговых сетях могут возникать короткие замыкания (КЗ), сопровождающиеся протеканием значительных токов, достигающих величины более пяти килоампер (рисунок1). Хотя время существования режимов КЗ, как правило, невелико, создаваемые в этом режиме магнитные поля могут привести к сбоям в работе электронного оборудования, а также значительным величинам наве-

денных напряжений на смежных линиях. Поэтому задачи расчетов электромагнитных полей, возникающих в аварийных режимах, являются достаточно актуальными.

Разработанные в ИрГУПСе методы и инструменты моделирования режимов [6-10] в фазных координатах позволяют одновременно рассчитывать ЭМП многопроводных линий [11-14] при определении режима электроэнергетической системы или системы тягового электроснабжения.

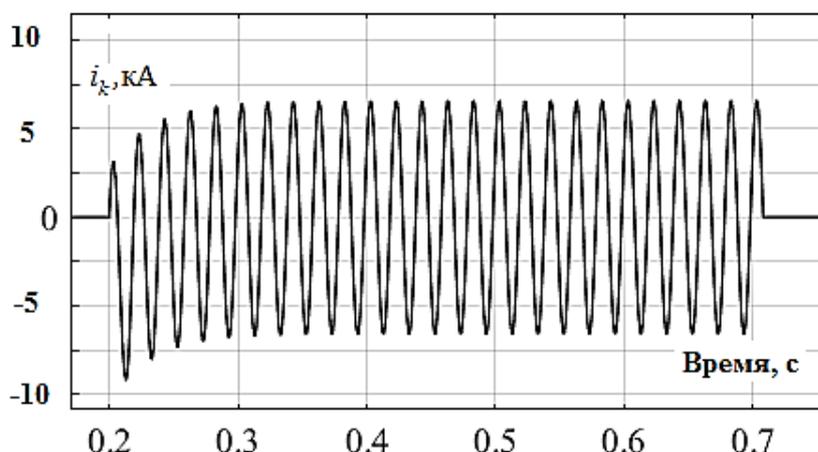


Рисунок 1 - Осциллограмма тока короткого замыкания в тяговой сети 27,5 кВ

Система электроснабжения железной дороги переменного тока включает три подсистемы:

- питающую электроэнергетическую систему (ЭЭС), часть которой, примыкающая к тяговым подстанциям, образует систему внешнего электроснабжения (СВЭ);
- систему тягового электроснабжения 27,5 кВ, 2х25 кВ или повышенного напряжения;
- районы электроснабжения нетяговых потребителей, включающие технологические линии электропередачи провод-рельс (ПР) и два провода-рельс (ДПР).

Аварийные режимы в системе тягового электроснабжения 27,5 кВ могут быть связаны с замыканием контактной сети на рельс, в тяговых сетях 2х25 кВ дополнительно могут иметь место замыкания питающего провода на рельс или на контактную сеть. Короткие замыкания в системе внешнего электроснабжения сопровождаются протеканием больших токов в ТС, так как трехфазная сеть СВЭ в этом случае шунтируется однофазной тяговой сетью.

Большинство коротких замыканий являются кратковременными. К отдельной категории относятся искусственные короткие замыкания, применяемые в тяговых сетях для плавки гололеда. Возникающие в таких схемах большие токи сопровождаются значительными напряженностями магнитных полей, от-

личающимися большой продолжительностью. При плавке гололеда возможен пропуск поездов, увеличивающих токи контактной сети.

Для анализа электромагнитной обстановки в аварийных режимах проведено моделирование режимов коротких замыканий с расчетами сопровождающих электромагнитных полей. Расчеты токов короткого замыкания выполнены для участка тяговой сети и ее межстанционного пространства, ограниченного тяговыми подстанциями ТП-1 и ТП-2 (рисунок 2). Протяженность участка линии электропередачи между подстанциями составляет 50 км, поэтому при моделировании предполагалось полное транспонирование проводов линий.

Трансформатор типа ТДТНЖ-40000/230/27,5 моделировался в двухобмоточном варианте с напряжением короткого замыкания 11 %. Модели контактных сетей соответствовали двухпутному участку, выполненному проводами марки $2 \times (\text{ПБСМ-95} + \text{МФ-100} + \text{2Р-65})$.

Фрагмент расчетной схемы для определения токов КЗ и вычисления напряженностей ЭМП представлен на рисунке 3. Координаты токоведущих частей тяговой сети показаны на рисунке 4. Для сравнения моделировался нагрузочный режим, в котором в узлах 16 и 17 были приложены нагрузки $10 + j10 \text{ МВ} \cdot \text{А}$. Рассматривались режимы замыкания контактной сети на точку нулевого потенциала.

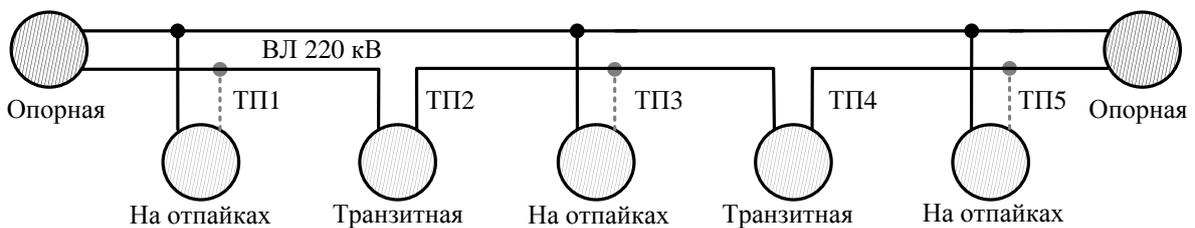


Рисунок 2 - Схема питания пяти тяговых подстанций

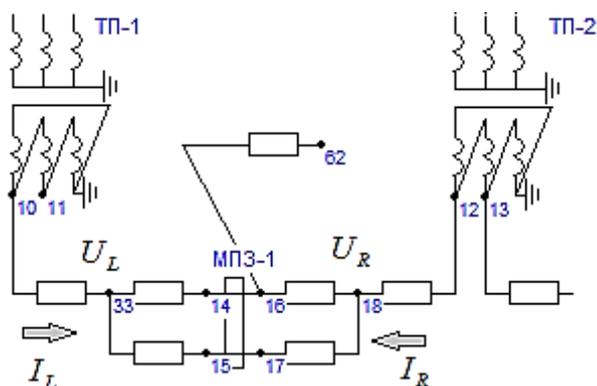


Рисунок 3 - Фрагмент расчетной схемы

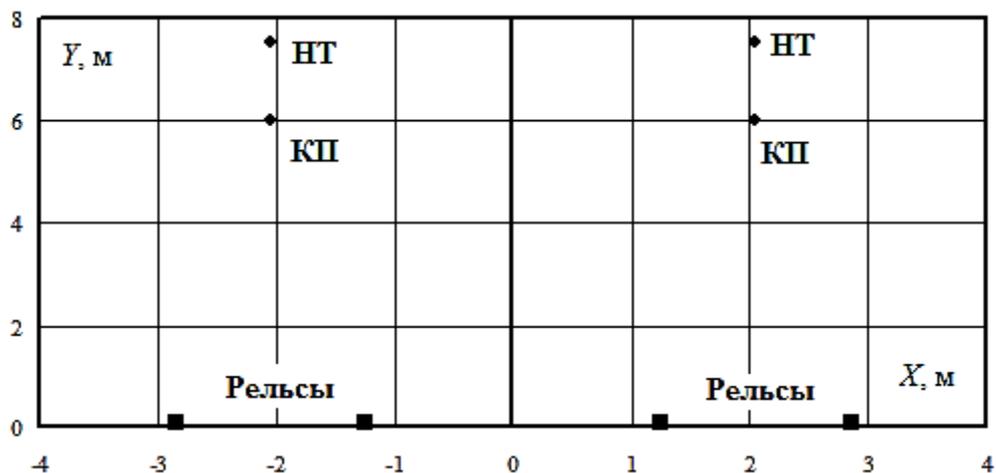


Рисунок 4 - Координаты токоведущих частей

Результаты моделирования сведены в таблицу 1 и таблицу 2, а также проиллюстрированы на рисунках 5 – 9. Обозначения параметров таблицы 1 приведены на рисунке 3.

Таблица 1

Параметры режима

Параметр	Значения параметров при КЗ	Значения параметров при нагрузке $10 + j10$ МВ·А	Отношение параметров при КЗ к параметрам при нагрузочном режиме
I_L , А	1180	241	4,90
I_R , А	4461	930	4,80
U_L , кВ	19,2	27,2	0,71
U_R , кВ	5,7	24,2	0,24

Таблица 2

Результаты расчета ЭМП

Параметр	Значения параметров при КЗ		Значения параметров при нагрузке $10 + j10$ МВ·А		Различие значений параметров при КЗ от значений параметров при нагрузочном режиме, %	
	E_{MAX} , кВ/м	H_{MAX} , А/м	E_{MAX} , кВ/м	H_{MAX} , А/м	Между 1 и 3	Между 2 и 4
	1	2	3	4		
Среднее	2,24	80,6	3,17	16,5	-41,6	79,5
Максимум	2,55	98,6	3,60	20,2	-41,6	79,5

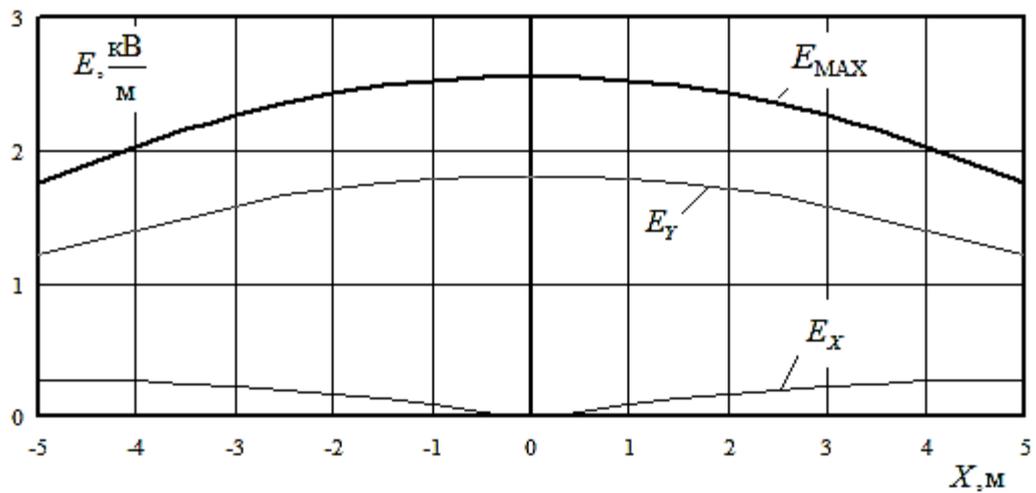


Рисунок 5 - Зависимость составляющих напряженности электрического поля на высоте 1,8 м от координаты X . Режим короткого замыкания

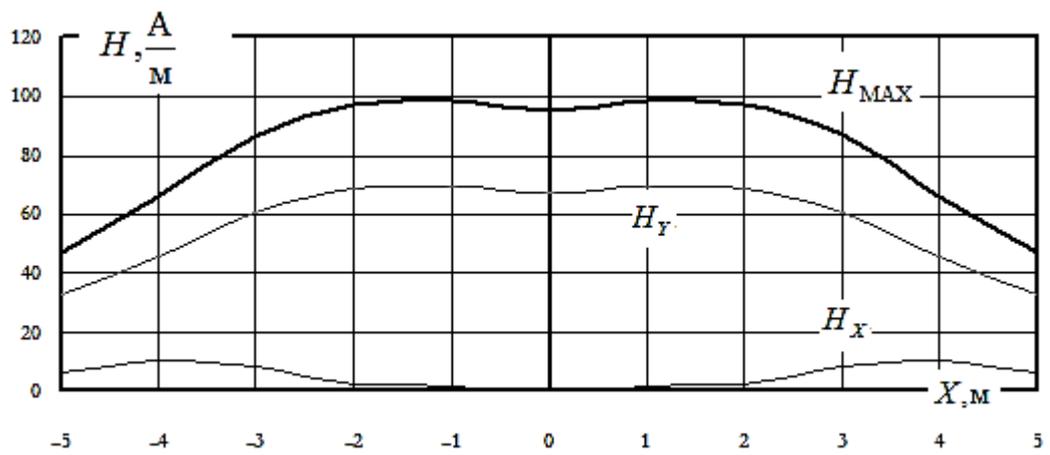


Рисунок 6 - Зависимость составляющих напряженности магнитного поля на высоте 1,8 м от координаты X . Режим короткого замыкания

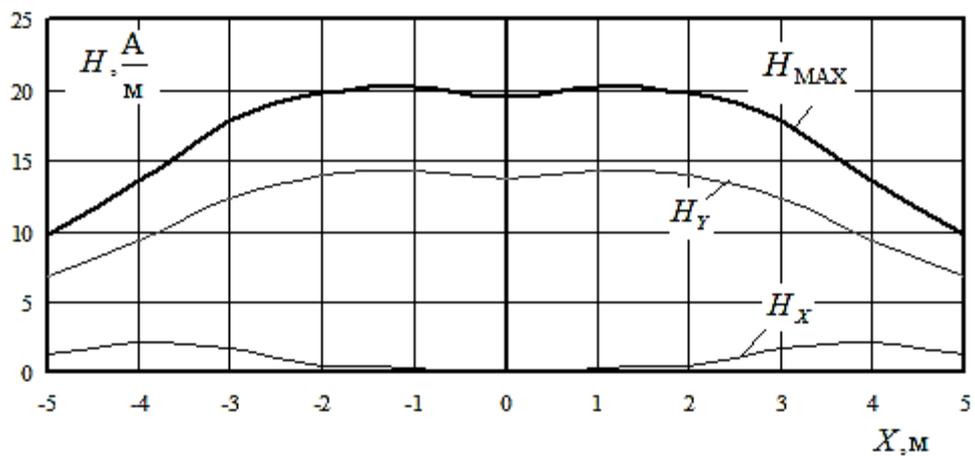


Рисунок 7 - Зависимость составляющих напряженности магнитного поля на высоте 1,8 м от координаты X . Нагрузочный режим

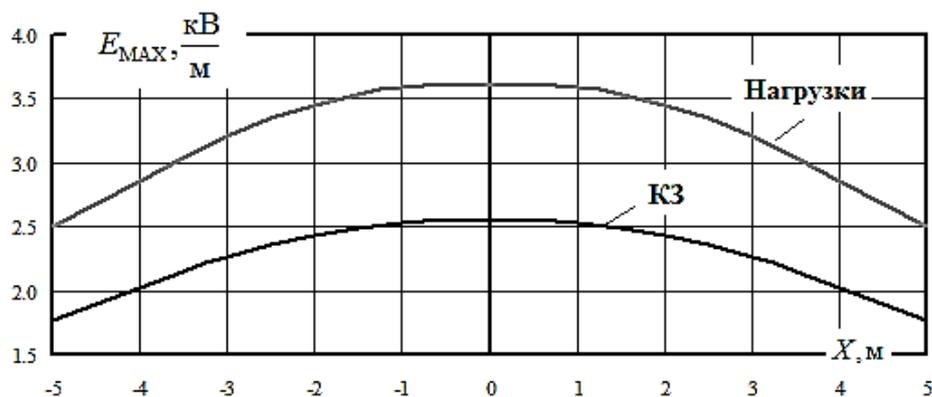


Рисунок 8 - Сопоставление электрического поля режимов КЗ и нагрузочного на высоте 1,8 м

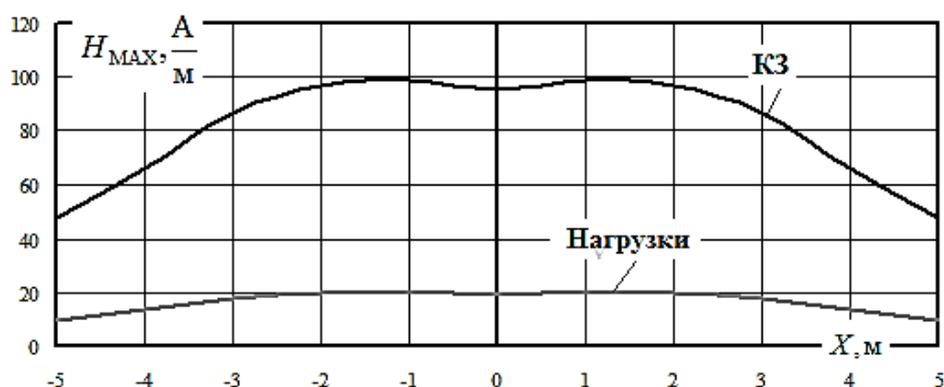


Рисунок 9 - Сопоставление магнитного поля режимов КЗ и нагрузочного на высоте 1,8 м

Результаты моделирования позволяют сформулировать следующие выводы.

1. В данном примере токи короткого замыкания примерно в 5 раз превышают токи режима нагрузки, что близко к максимуму. В этом же отношении повышается интенсивность работы магнитного поля.

2. В режиме КЗ напряженности электрического поля снижаются на 40 % из-за значительных падений напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.1.2.1002-00. – М.: Минздрав РФ. 2001. – 24 с.

2. Отчет о НИР «Создание нормативно-методического документа, регламентирующего уровни внепроизводственных воздействий магнитных полей промышленной частоты (50 Гц)» (№ госрегистрации 01200311814) – М.: ГУ НИИ МТ РАМН. – 2003. – 147 с.

3. Дополнение к МГСН 2.03-97. Системы нормативных документов в строительстве «Нормы (предельно допустимые уровни) магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) в помещениях жилых и общественных зданий и на селитебных территориях» (проект) – М.: 2003. – 13 с.

4. Крюков А.В., Закарюкин В.П., Буякова Н.В. Расчет электромагнитных полей, создаваемых тяговыми сетями электрифицированных железных дорог // Вестник ИрГТУ, 2011. – №1(48). – С.148-152.

5. Аполлонский С.М., Богаринова А.Н. Напряженности воздушной среды на электрифицированной железной дороге // Сборник докладов девятой российской научно – технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности. – СПб.: 2006. – С. 579-583.

6. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Мультифункциональный подход к моделированию электроэнергетических систем // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 4(40). 2013. С. 100-107.

7. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Имитационное моделирование систем тягового электроснабжения. Иркутск: ИрГУПС, 2006. 157 с.

8. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Моделирование многообмоточных трансформаторов в фазных координатах // Электротехника. 2008. № 5. С. 56-60.

9. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Моделирование мультифазных линий электропередачи // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 1(41). 2014. С. 118-126.

10. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Моделирование несинусоидальных режимов в системах электроснабжения железных дорог // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2008. № 3. С. 93-99.

11. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Моделирование электрических полей, создаваемых воздушными линиями электропередачи // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. Благовещенск: АмГУ. 2005. С. 227-231.

12. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Определение электромагнитных полей, создаваемых воздушными линиями электропередачи // Вестник ИрГТУ. № 1(108). 2016. С. 75-84.

13. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Буякова Н.В. Особенности потока электромагнитной энергии электротяговых сетей // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Иркутск: ИрГУПС. Т.1. С. 508-513.

14. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Буякова Н.В. Улучшение электромагнитной обстановки в системах тягового электроснабжения // Proceedings of IV International Scientific Conference “Electrification on transport”. Днепропетровск. 2010. С. 74-75.