

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию «Моделирование электромагнитных полей ЛЭП на основе расчета режимов электроэнергетической системы в фазных координатах», представленную Середкиным Дмитрием Александровичем на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3. Электроэнергетика

### **Актуальность темы диссертации**

Линии электропередач (ЛЭП) создают электромагнитные поля (ЭМП) со значительными уровнями электрической и магнитной напряженности, в ряде случаев превышающими допустимые нормы. Для обеспечения электромагнитной безопасности требуется разработка мероприятий, выбор которых в современных условиях должен осуществляться на основе математического и имитационного моделирования.

Сложная электросетевая инфраструктура требует организации пересечения высоковольтных линий электропередач, а также трехфазных линий и однофазных линий контактной сети железных дорог. В местах таких пересечений происходит наложение электромагнитных полей, что значительно усложняет решение задачи определения напряженностей. Кроме того, в современных электрических сетях значительная доля потребителей имеет нелинейные нагрузки, что может приводить к повышению напряженностей ЭМП.

Поэтому задачи моделирования ЭМП в местах пересечения ЛЭП, а также определения напряженностей ЭМП с учетом искажений синусоидальности напряжений, решенные в диссертационном исследовании Середкина Д. А., являются актуальными.

### **Оценка содержания диссертации**

Текст изложен на 183 страницах и содержит 190 рисунков и 63 таблицы. Список литературы включает 132 наименования.

Диссертационная работа состоит из четырех глав, отличается внутренним единством и завершенностью, что обусловлено ее построением на единой методологической основе с использованием моделей элементов

электроэнергетических систем в фазных координатах. Оформление диссертации соответствует действующим стандартам.

Во введении обоснована актуальность темы и ее практическая значимость, сформулированы цель и задачи исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, описана апробация результатов.

В первой главе сформулированы основные задачи анализа электромагнитной обстановки, связанные с напряженностями ЭМП. Приведена методика моделирования ЭМП системы параллельных проводов; при этом определение напряженностей электромагнитного поля осуществляется на основе решения уравнений установившегося режима ЭЭС, записанных в фазных координатах. Решение установившихся режимов системы тягового электроснабжения осуществляется на основе расчета мгновенных схем. Приведено сравнение результатов моделирования ЭМП с данными измерений.

Вторая глава посвящена задачам определения электромагнитных полей с учетом режима работы и конструктивного исполнения рассматриваемого объекта. Приведено решение задачи выбора оптимального расположения токоведущих частей на опоре с точки зрения минимизации напряженностей электромагнитного поля. Предложен подход и имитационные компьютерные модели для учета стрел провеса проводов ЛЭП. Проведен анализ результатов экранирования электрического поля ЛЭП с помощью активных и пассивных тросовых экранов. Выявлен характер зависимостей максимальных значений напряженностей от числа токоведущих частей тяговой сети. Проведен анализ ЭМП перспективных тяговых сетей (ТС) повышенного напряжения.

В третьей главе представлены результаты моделирования электромагнитных полей в местах пересечения линий электропередачи. Рассмотрены ситуации пересечения ЛЭП и контактной сети железных дорог, кабельной и воздушной линий и др.

В четвертой главе представлены результаты моделирования электромагнитных полей с учетом высших гармоник. Для анализа их влияния на ЭМП выбраны следующие объекты: широко применяемые тяговые сети 25 кВ и 2×25 кВ; ТС повышенного напряжения 50 кВ, 2×50 кВ и 50+110 кВ; трехфазная ТС 25 кВ; трехфазная и шестифазная ЛЭП, питающие тяговые подстанции.

Основные научные результаты исследований опубликованы в 41 работе и апробированы на 22 научных конференциях.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и полностью отражает основные результаты выполненных исследований.

На основании изложенного, можно сделать вывод о том, что содержание диссертации отражает основные идеи работы и полученные в ней результаты, раскрывает ее научную и практическую ценность.

### **Научная новизна работы**

1. Разработаны имитационные модели распространения электромагнитных полей в местах пересечений линий электропередачи, а также ТС и ЛЭП, позволяющие определять напряженности ЭМП в процессе расчета режима сложных электрических сетей в фазных координатах, в том числе с тяговыми нагрузками.

2. Предложены модели и методы для расчета электромагнитных полей ЛЭП в условиях искажения синусоидальности токов и напряжений.

3. Разработаны имитационные модели, позволяющие рассчитывать напряженности ЭМП с учетом экранирования и стрел провеса проводов ЛЭП.

4. Предложены имитационные модели определения ЭМП тяговых сетей при использовании технологии виртуальной сцепки поездов.

### **Обоснованность и достоверность полученных результатов**

В основу разработанных имитационных моделей положены апробированные методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем и теории поля. Адекватность подтверждена сравнением с результатами измерений и совпадением в сопоставимых случаях с данными, полученными в программе ELCUT.

### **Практическая значимость**

На основе предложенных моделей могут быть решены следующие практические задачи:

– контроль электромагнитной обстановки вблизи линий электропередачи и тяговых сетей;

– выбор и анализ эффективности мероприятий, направленных на снижение уровней напряженностей ЭМП от ЛЭП и ТС;

– выбор рациональных конструктивных решений при проектировании и реконструкции ЛЭП и ТС.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Работа выполнена в соответствии с паспортом специальности 2.4.3. Электроэнергетика, а именно пунктам:

п. 3 «Разработка методов расчета электрических и магнитных полей, исследование закономерностей воздействия сильных токов, электрических и магнитных полей на диспергированные и другие материалы, среды и изделия»;

п. 14 «Разработка методов расчета и моделирования установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем и сетей, включая технико-экономическое обоснование технических решений, разработка методов управления режимами их работы»;

п. 19 «Разработка методов и устройств контроля, анализа и управления качеством электроэнергии».

#### **Вопросы и замечания по содержанию диссертации**

1. В работе не представлены значения нормированных параметров электромагнитных полей в задачах электромагнитной безопасности и электромагнитной совместимости согласно стандартам. Эпизодически в работе упоминаются допустимые значения напряженности полей без уточнения условий применимости к электромагнитной безопасности или совместимости.

2. Представленные результаты расчета электромагнитных полей на основе режима работы электроэнергетической системы приведены в общем виде без привязки к конкретному объекту или участку ЛЭП. Отсутствует схема замещения, система уравнений и значения конкретных параметров, на основе которых получены заявленные результаты (рисунок 1.2 – 1.7)

3. На рис. 2.24 не указаны некоторые токоведущие части тяговой сети переменного тока, создающие сопоставимую напряженность электрического поля, например ДПП 25 кВ, усиливающий провод 25 кВ (при наличии).

4. Представленный в работе гармонический состав тока электротяговых нагрузок («выпрямительных электровозов») соответствует электровозам старых серий, выводимых из эксплуатации.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости работы в целом.

**Общая оценка работы.** Диссертационная работа Середкина Д.А. является законченной научной квалификационной работой и соответствует

паспорту научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика. В ней приведены новые результаты по разработке методов и алгоритмов для решения актуальных задач моделирования электромагнитных полей линий электропередачи и тяговых сетей различного конструктивного исполнения.

Диссертационное исследование «Моделирование электромагнитных полей ЛЭП на основе расчета режимов электроэнергетической системы в фазных координатах» отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а именно пунктам 9-14.

Считаю, что автор диссертационной работы, Середкин Д.А., заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3. Электроэнергетика (технические науки).

Профессор кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог», доктор технических наук, доцент

Третьяков Евгений Александрович

«13» октября 2023 г.

Сведения:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО ОмГУПС (ОМИИТ))

Адрес: 644046, Россия, Омская область, город Омск, проспект Маркса, дом 35

Телефон: (3812) 31-34-19

Электронный адрес: [eugentr@mail.ru](mailto:eugentr@mail.ru)

Подпись Е.А. Третьякова удостоверяю:

Начальник УКДиПО



О.Н. Попова