

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

В статье рассмотрены проблемы электромагнитной безопасности персонала, обслуживающего электроподвижной состав. Установлено, что суммарные уровни энергетической нагрузки в кабинах магистрального электроподвижного состава постоянного тока не оказывают вредного воздействия на электротехнический персонал. Обоснована необходимость применения в электроподвижном составе переменного тока средств контроля электрических и магнитных полей постоянного и переменного тока.



А.Р. Закирова

***Ключевые слова:** электромагнитная безопасность, электротехнический персонал, охрана труда, магнитные поля, электрические поля*

EDN: AXJUUT

В настоящее время на сети железных дорог эксплуатируются электровагоны как постоянного, так и переменного тока. При эксплуатации электрооборудования электроподвижного состава электротехнический персонал находится под воздействием электрических и магнитных полей. Оборудование, расположенное в электроподвижном составе, работает при разных токах и напряжениях. В электроподвижном составе переменного тока применяются двухпульсовые выпрямители, поэтому в кривых выпрямленного напряжения содержатся гармоники канонических частот этих выпрямителей, а также синусные и косинусные высших гармонических составляющих тока. Соответственно, на рабочих местах локомотивных бригад могут одновременно присутствовать электромагнитные поля (ЭМП) разного рода тока, а в настоящее время ни в международных, ни в российских стандартах электромагнитные вредные воздействия на персонал в полосе частот до

1 кГц, кроме 50 Гц, не нормируются [1]. Влияние энергии ЭМП низкой частоты на персонал не учитывается, в отличие от воздействия электроустановок высокой частоты. В соответствии со статьей 22 ТК РФ [2] работодатель обязан на рабочих местах обеспечивать безопасные условия труда. Существует необходимость в оценке ЭМП, так как в ряде случаев отмечается рост заболеваний, вызываемых этим воздействием. Таким образом, эта проблема является актуальной и требует решения на уровне научного исследования. Решение проблемы направлено на достижение новых научных результатов в области охраны труда и электромагнитной безопасности персонала.

Теоретические и экспериментальные исследования

Проведены теоретические исследования уровней энергетической нагрузки ЭМП на электроподвижном

Закирова Альфия Резавановна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), академик Международной академии наук, экологии, безопасности человека и природы (МАНЭБ). Область научных интересов: охрана труда, электромагнитная безопасность персонала. Автор 53 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет пять патентов на изобретения.

составе, основанные на экспериментальных исследованиях уровней напряженности электрических и магнитных полей.

Функциональные зависимости, подлежащие исследованию по энергетической характеристике ЭМП:

$$\mathcal{E} = f_1(E, H), \quad (1)$$

где $\mathcal{E}$ — энергетическая нагрузка ЭМП (вектор Пойнтинга), Вт/м²; E — напряженность электрического поля (ЭП), В/м; H — напряженность магнитного поля (МП), А/м.

Энергетическую нагрузку ЭМП электрооборудования электроподвижного состава можно определить следующим образом:

$$\mathcal{E} = EH, \quad (2)$$

где E — напряженность электрического поля электрооборудования электроподвижного состава, В/м; H — напряженность магнитного поля электрооборудования электроподвижного состава, А/м.

Экспериментальные исследования ЭМП выполнены на рабочих местах локомотивных бригад электроподвижного состава — электропоездов (ВЛ11, 2ЭС10) и тяговых агрегатов (EL20, НП1, ОПЭ1АМ). На основе полученных уровней напряженности электрических и магнитных полей до 1 кГц в кабинах промышленных электропоездов определена энергетическая нагрузка ЭМП $\mathcal{E}_f$ (рис. 1).

При проведении экспериментальных исследований в кабинах и машинных отделениях электроподвижного состава, кроме ЭМП 50 Гц, зафиксированы напряженности МП и ЭП со спектром частот 25, 75, 125, 150, 175, ..., 625 Гц. Характер изменения $\mathcal{E}_f$ от частоты определяется особенностями высших гар-

монических составляющих тока. В пределах частот 25–50 Гц отмечено существенное увеличение уровней энергетической нагрузки ЭМП, а в пределах 100–625 Гц — их снижение. Как показывают проведенные исследования, максимальный уровень $\mathcal{E}_f$ зафиксирован в кабине тягового агрегата ОПЭ1АМ и составляет 31978 ВА/м², что в 1,88 раза выше, чем в EL20 (17004 ВА/м²) и в 28,7 раза выше, чем в НП1 (1116 ВА/м²). Так как энергетическая нагрузка ЭМП от 25 до 675 Гц воздействует одновременно и аддитивно на электротехнический персонал, то необходимо определить суммарную $\mathcal{E}_f^{\Sigma}$ и сравнить с предельно безопасным уровнем (ПБУ) [3].

Суммарные уровни энергетической нагрузки ЭМП от 25 до 675 Гц в кабинах электроподвижного состава магистрального и промышленного транспорта приведены на рис. 2.

Определение суммарной энергетической нагрузки ЭМП от 25 до 675 Гц проведено с учетом оценки каждой гармоники, входящей в энергетическую нагрузку ЭМП. В результате исследования установлено, что в кабинах электроподвижного состава уровни суммарной энергетической нагрузки ЭМП не превышают ПБУ (89 кВА/м²).

Электрооборудование, расположенное в машинном отделении электроподвижного состава, также является источником энергетической нагрузки ЭМП. Исследованные уровни $\mathcal{E}_f$ в машинных отделениях промышленных электропоездов представлены на рис. 3.

Из полученных данных следует, что характер изменения $\mathcal{E}_f$ от частоты в машинном отделении аналогичен характеру изменения $\mathcal{E}_f$ в кабинах промышленных электропоездов, однако уровни энергетической нагрузки ЭМП различаются в несколько раз. Например, в

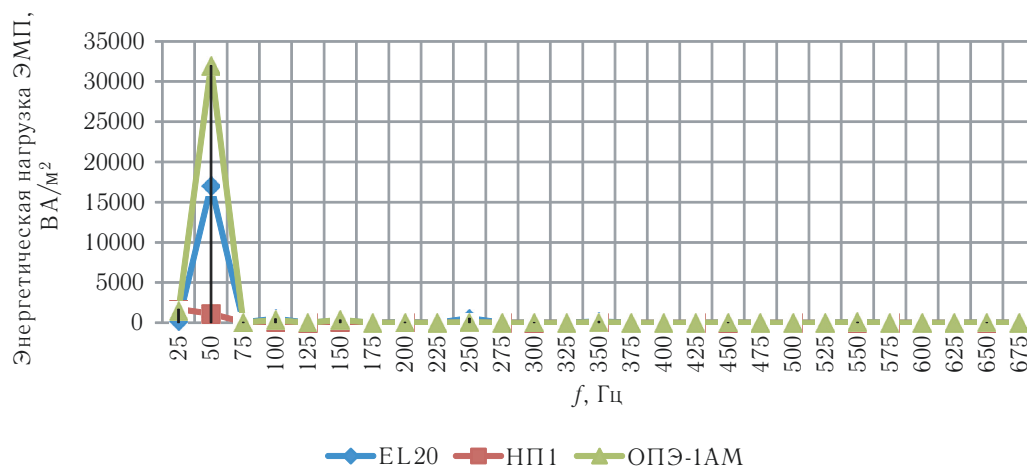


Рис. 1. Уровни энергетической нагрузки ЭМП от 25 до 675 Гц в кабинах тяговых агрегатов

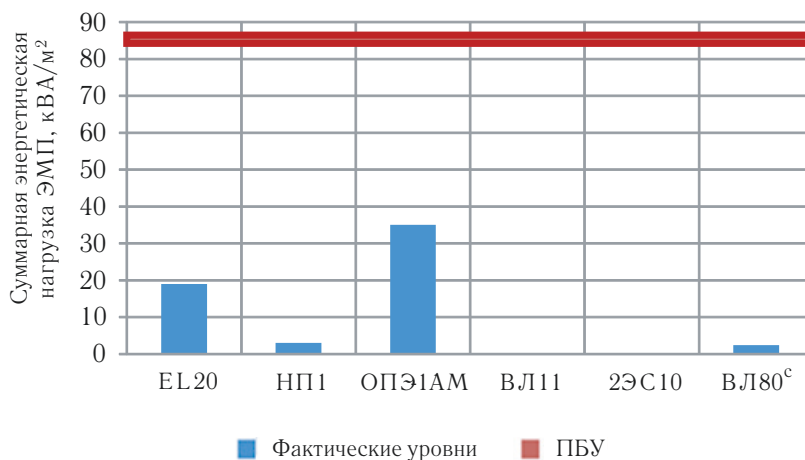


Рис. 2. Суммарные уровни энергетической нагрузки ЭМП в кабинах электроподвижного состава

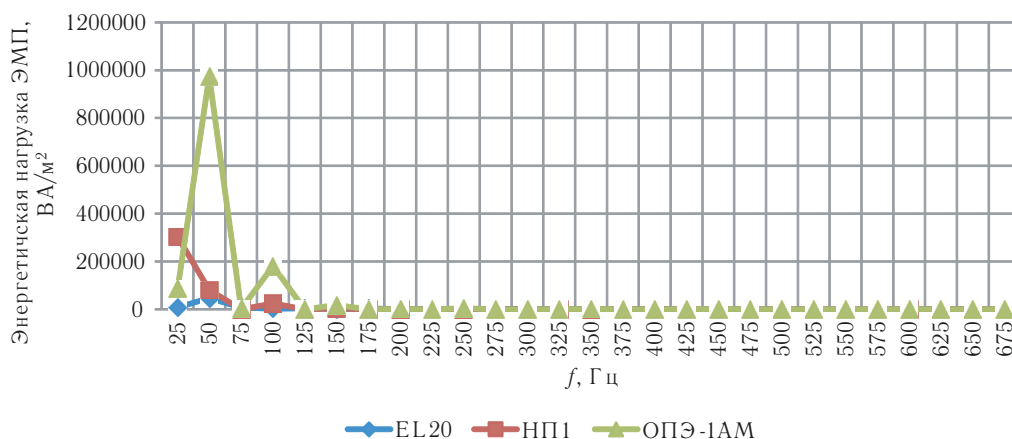


Рис. 3. Уровни энергетической нагрузки ЭМП от 25 до 675 Гц в машинных отделениях тяговых агрегатов

машинных отделениях тяговых агрегатов ОПЭ1АМ (947400 ВА/м²) они в 32 раза выше, чем в кабинах электроподвижного состава.

На рис. 4 представлены суммарные (фактические) уровни Σf (машинные отделения электроподвижного состава магистрального и промышленного транспорта) и их ПБУ.

Анализ полученных данных (см. рис. 4) показал, что уровни суммарной энергетической нагрузки ЭМП в машинных отделениях электровозов ВЛ80с и тяговых агрегатов ОПЭ1АМ и НП1 превышают ПБУ (185 кВА/м²) и оказывают вредное действие на персонал, поэтому необходимо разработать технические предложения по защите персонала от данного производственного фактора. Допустимые условия труда по суммарным уровням энергетической нагрузки ЭМП установлены на рабочих местах персонала, обслужи-

вающего тяговые агрегаты EL20 и электровозы ВЛ11 и 2ЭС10.

Таким образом, установлено, что суммарные уровни энергетической нагрузки в кабинах магистрального электроподвижного состава постоянного тока не оказывают вредного воздействия на электротехнический персонал. В машинных отделениях на тяговых агрегатах ОПЭ1АМ и НП1 уровни Σf превышают ПБУ, что требует внедрения систем защиты.

Выводы

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

1. Проведена оценка электрических и магнитных полей на их энергетической характеристике, основанной на энергетической нагрузке ЭМП в виде вектора Пойнтинга.

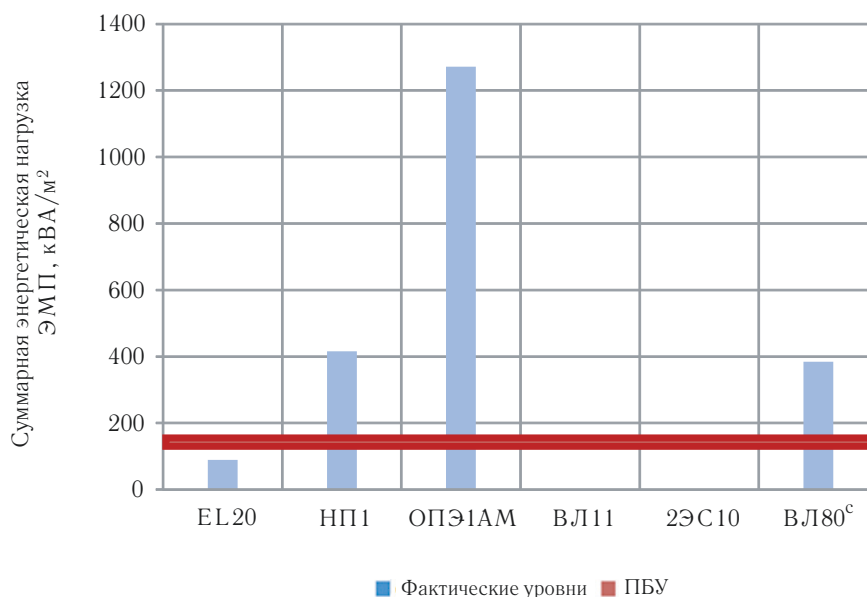


Рис. 4. Суммарные уровни энергетической нагрузки ЭМП в машинных отделениях электроподвижного состава

2. Определены теоретические закономерности изменения энергетической нагрузки ЭМП электроустановок электроподвижного состава тяговой сети от специфики их работы, позволяющие установить следующее:

- на рабочих местах электротехнического персонала в электровагонах постоянного тока (ВЛ11 и 2ЭС10) уровни энергетической нагрузки ЭМП не превышают ПБУ, рабочие места считаются безопасными;
- на электровагонах переменного тока (ВЛ80°) и тяговых агрегатах (НП1, EL20, ОПЭ1АМ) уровни энергетической нагрузки ЭМП в кабинах не превышают ПБУ, а в машинных отделениях наблюдается превышение ПБУ. Для снижения уровней параметров ЭМП требуются разработка и внедрение защитных мер, например: изменение конструкции электровагона (тягового агрегата), в том числе установка защитных экранов, применение устройств для измерения и контроля параметров ЭМП (защита временем).

3. Персонал, обслуживающий электровагоны постоянного тока (ВЛ11 и 2ЭС10), подвергается минимальным уровням напряженности электрических и магнитных полей разного рода тока как в кабине электровагона, так и в машинном отделении. Зафиксированы ЭМП со спектром частот от 25 до 150 Гц, уровни которых в России не подлежат нормированию, что не обеспечивает электромагнитную безопасность персонала.

4. В машинных отделениях электровагонов переменного тока наблюдается превышение ПДУ МП 50 Гц

при двух-часовой экспозиции, при этом напряженность МП 50 Гц распределена неравномерно как по высоте, так и по длине кузова. Наибольший уровень МП приходится на зоны размещения выпрямительных установок:

- электротехнический персонал в кабинах и машинных отделениях электровагонов переменного тока ВЛ80° подвергается воздействию напряженности МП и ЭП со спектром частот 25, 50, 75, 125, 150, 175, ..., 625 Гц, безопасные уровни которых в настоящее время в России не нормируются, не подлежат оценке и контролю, кроме 50 Гц.

5. На тяговых агрегатах горно-обогатительных комбинатов выявлено следующее:

- в машинных отделениях промышленных электровагонов НП1 и ОПЭ1АМ уровни напряженности МП 50 Гц превышают ПДУ МП 50 Гц (80 А/м);
- в кабинах и машинных отделениях тяговых агрегатов НП1, EL20, ОПЭ1АМ зафиксированы МП и ЭП со спектром частот 25, 50, 75, 125, 150, 175, ..., 625 Гц.

6. Для снижения вредного действия параметров ЭМП на электротехнический персонал предлагаются следующие способы и средства контроля ЭП и МП переменного и постоянного токов [4–7]:

- контроль уровня напряженности МП электроустановок переменного тока и устройство для его осуществления;
- устройство для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля;

- контроль уровня напряженности МП по приведенным уровням высших гармонических составляющих переменного тока и устройство для его осуществления;
- устройство для контроля напряженности МП переменного и постоянного токов.



Литература

1. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (вместе с СанПиН 1.2.3685-21). – Текст: электронный // Консультант Плюс: [сайт]. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&ts=udCKd8TGym1ROyUX2&cacheid=11198D3D4BFAB65D3F6FFBE32424458C&mode=splus&base=LAW&n=375839#LJHKd8TG5ApdE8HI> (дата обращения: 12.06.22).
2. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 30 декабря 2001 г. №197-ФЗ. – Текст: электронный // Консультант Плюс: [сайт]. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&ts=udCKd8TGym1ROyUX2&cacheid=7B5367280A8416A29F224ADEEF64961D&mode=splus&base=LAW&n=389182#v9aMd8TxeBu6WcR> (дата обращения: 12.06.22).
3. Закирова, А.Р. Защита электротехнического персонала от вредного воздействия электромагнитных полей = Electrotechnical personnel protection from damage effect of electromagnetic field: монография / А.Р. Закирова; Федеральное агентство железнодорожного транспорта, Уральский государственный университет путей сообщения. – Екатеринбург: УрГУПС, 2018. – 171 с. – ISBN 978-5-94614-428-5. – Текст: непосредственный.
4. Патент №2436111 Российская Федерация, МПК G 01 R 33/02 (2006.01) Способ контроля уровня напряженности магнитного поля электроустановок переменного тока и устройство для его осуществления: №2010125789/28: заявл. 23.06.2010; опубл. 10.12.2011, бюл. №34/Закирова А.Р., Кузнецов К.Б.; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС) (RU). – Текст: непосредственный.
5. Патент №2441248. Российская Федерация, МПК G01R29/08 (2006.1) Устройство для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля: №2010130964/28: заявл. 23.07.2010; опубл. 27.01.2012, бюл. №3. – /Закирова А.Р., Кузнецов К.Б.; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС) (RU). – Текст: непосредственный.
6. Патент №2457500. Российская Федерация, МПК G01R33/02 (2006/01) Способ контроля уровня напряженности магнитного поля по приведенным уровням высших гармонических составляющих переменного тока и устройство для его осуществления: №2010151331/28: заявл. 14.12.2010; опубл. 27.07.2012, бюл. №21/Закирова А.Р., Кузнецов К.Б.; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС) (RU). – Текст: непосредственный.
7. Патент №2589497. Российская Федерация, МПК G 01R29/08 Устройство для создания переменного магнитного и электрического полей: №2015112986/28: заявл. от 08.04.2015; опубл. 10.07.2016, бюл. №19 / Кузнецов К.Б., Закирова А.Р., Миронов И.А.; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС) (RU). – Текст: непосредственный.