

УДК 628.5

Станислав Олегович Белинский, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

UDC 628.5

Stanislav Olegovich Belinskiy, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Technospheric Safety, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

Study of electromagnetic field parameters in electrical installations of traction substations

Аннотация

В статье представлены результаты измерения параметров электромагнитных полей на рабочих местах персонала тяговых подстанций постоянного тока. Выявлены существенные особенности распространения ЭМП. На основе анализа экспериментальных данных сделана оценка степени вредного воздействия магнитных полей в диапазоне частот более 50 Гц.

Ключевые слова: тяговые подстанции, электромагнитные поля, спектр, индукция магнитного поля, персонал, нормирование, риск, предельно допустимые уровни.

Summary

The article presents the results of measurements of electromagnetic field parameters in workplaces of DC traction substations personnel. Significant peculiarities of EMF propagation have been identified. According to the analysis of experimental data, assessment of adverse effects of magnetic fields in the frequency range 50 Hz has been carried out.

Keywords: traction substations, electromagnetic fields, spectrum, field density, staff, regulation, risk, maximum permissible levels.

Электроустановки (ЭУ) железнодорожного электроснабжения (тяговые подстанции, контактная сеть) являются мощным техногенным источником электромагнитных полей (ЭМП). Наличие на тяговых подстанциях (ТП) преобразователей приводит к появлению ЭМП низкочастотного диапазона (до 10 кГц) на рабочих местах персонала.

Оценка параметров ЭМП может быть выполнена путем расчета, моделирования и экспериментов. Теоретические исследования, проведенные с помощью компьютерного моделирования в ЭУ железнодорожного электроснабжения на кафедре УрГУПС «Техносферная безопасность», рассмотрены в работах [1–4], экспериментальные — в [5–7]. В данной статье представлены отдельные результаты экспериментов по изучению спектральных характеристик ЭМП в диапазоне частот до 10 кГц на тяговых подстанциях постоянного тока. На исследуемых ТП находятся в эксплуатации 6-пульсовые выпрямительные преобразователи. Измерения осуществлялись с использованием анализатора ЭМП EFA-300 (Narda STS, Германия).

Цель исследований — оценка параметров ЭМП частотой от 50 Гц до 10 кГц на рабочих местах персонала в течение времени и при изменении тягового тока.

По результатам проведенных экспериментов получены спектральные характеристики электрического поля (ЭП) под шинным мостом и в ячейке 3,3 кВ (рис. 1).

Установлено, что значения напряженности ЭП частотой более 50 Гц (150, 300, 600 Гц) на основных рабочих местах не превышают 50 В/м.

С помощью целой серии экспериментов в разные моменты времени получены спектры индукции магнитного поля (МП) при различной величине тягового тока. На рис. 2 представлены спектральные характеристики индукции МП под шинным мостом ТП.

59

Октябрь – Декабрь

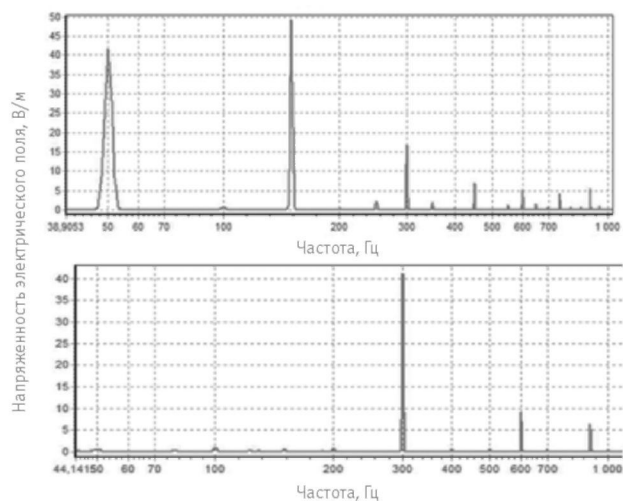


Рис. 1. Спектральные характеристики напряженности электрического поля под шинным мостом и в ячейке 3,3 кВ тяговой подстанции

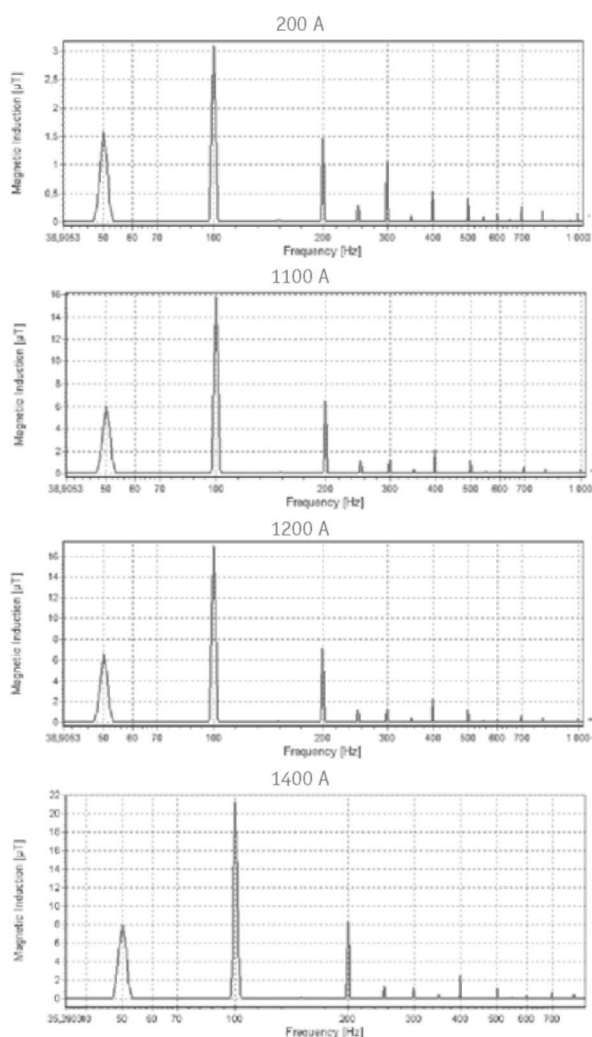


Рис. 2. Спектр индукции магнитного поля в диапазоне до 1 кГц при разных токах тяги

Из рис. 2 видно, что преобладает амплитуда индукции частотой 100 Гц, а амплитуды индукции частотой 50 и 200 Гц имеют близкие значения и составляют от 1 до 20 мкТл в зависимости от величины тягового тока.

Анализ спектральных характеристик при разных токах показал, что с изменением тягового тока прямо пропорционально изменяется индукция МП (рис. 3).

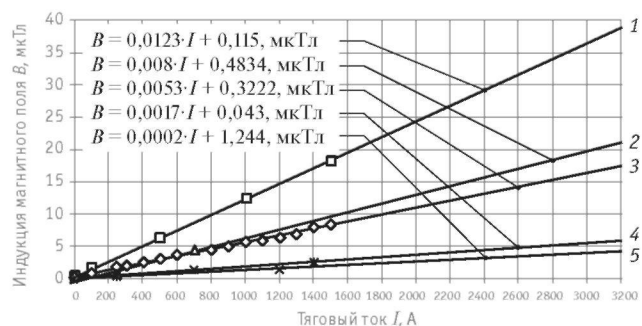


Рис. 3. Зависимость индукции магнитного поля от величины тока под шинным мостом тяговой подстанции на частоте: 1 — 100 Гц; 2 — 200 Гц; 3 — 50 Гц; 4 — 400 Гц; 5 — 300 Гц

Как видно из рис. 3, при больших значениях тягового тока амплитуда индукции МП на частоте 300 и 400 Гц не превышает 6 мкТл. Наибольшие значения индукции наблюдаются на частоте 100 Гц и могут превышать 35 мкТл. Появление МП частотой 100, 200, 300, 400 Гц объясняется несимметричностью и (или) несинусоидальностью питающего напряжения на входе преобразователя.

Спектр индукции МП под шинами 3,3 кВ, по которым протекает выпрямленный тяговый ток, показан на рис. 4, а зависимость индукции МП частотой 50, 100 и 300 Гц от величины тягового тока — на рис. 5.

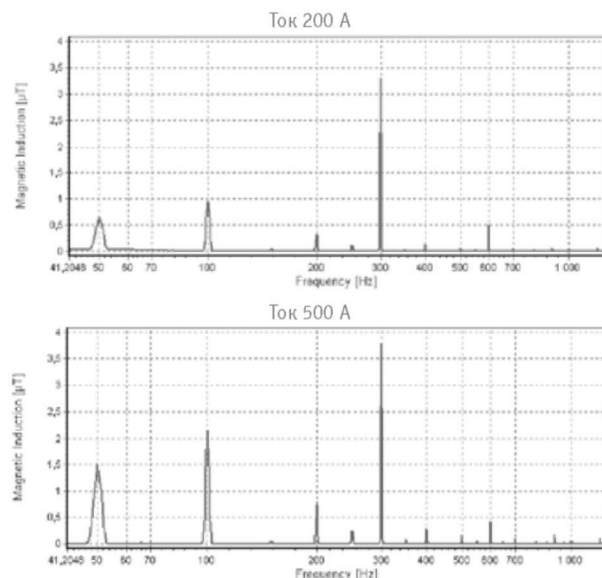


Рис. 4. Спектральные характеристики индукции магнитного поля под шинами 3,3 кВ при разных тяговых токах

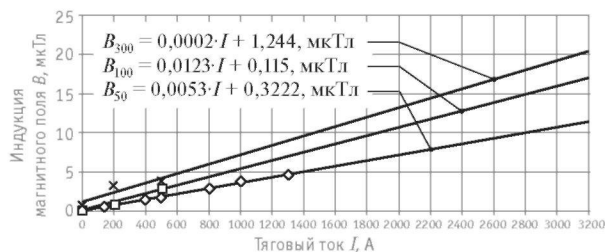


Рис. 5. Зависимость индукции магнитного поля от тока тяги под шинами 3,3 кВ

По данным рис. 2–5 установлено существенное отличие между спектром под шинным мостом и шинами 3,3 кВ. Под шинным мостом наибольшие значения индукции МП наблюдаются на частоте 100 Гц, а под шинами 3,3 кВ — на частоте 300 Гц. Это объясняется в первую очередь тем, что по шинному мосту протекает переменный, а по шинам 3,3 кВ — выпрямленный ток, в котором в результате 6-пульсового преобразования появляется гармоника 300 Гц. Также под шинами 3,3 кВ присутствует гармоника МП частотой 50 Гц с индукцией более 10 мкТл (под шинным мостом — более 15 мкТл), причиной появления которой может быть несимметрия питающего напряжения и МП от тока шинного моста.

Исследования индукции МП около ячейки 3,3 кВ и выпрямительного преобразователя при разных тяговых токах показали, что в течение времени она может изменяться в широких пределах — от единиц мкТл до уровней 20 мкТл при токах около 1000 А. График изменения индукции МП представлен на рис. 6.

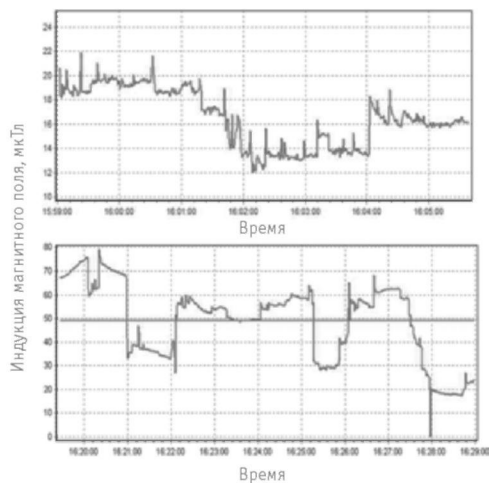


Рис. 6. Изменение индукции магнитного поля вблизи ячейки фидера (вверху) и выпрямительного преобразователя (внизу)

Гармонический анализ спектра индукции МП близи выпрямительного преобразователя показал, что амплитуда гармоники частотой 600 Гц относительно основной гармоники 300 Гц составляет около 20 %, 900 и 1200 Гц — около 3 %. Индукция МП вблизи выпрямительного преобразователя со стороны шин 3,3 кВ резко изменяется во времени и достигает высоких значений (до 100 мкТл на частоте 300 Гц).

Проведенные эксперименты по исследованию индукции МП в помещении реакторной показали, что присутствует гармоника частотой 300 Гц (рис. 7) очень высоких значений — 100 мкТл и выше, при больших тяговых токах индукция может достигать 190 мкТл.

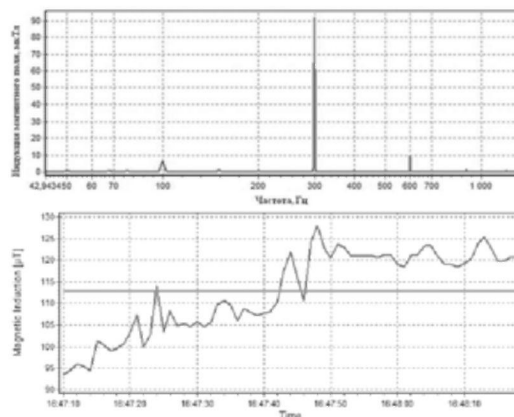


Рис. 7. Спектр (вверху) и изменение индукции магнитного поля (внизу) в помещении реакторной

По результатам анализа спектральных характеристик установлено, что для рабочих мест персонала ТП постоянного тока характерным является воздействие индукции МП частотой 100, 200 и 300 Гц с уровнями индукции более 100 мкТл.

Был проведен эксперимент, при котором оценивалась индукция МП по маршрутам прохода персонала и в рабочих зонах ТП в течение 20 мин. Переносной прибор был закреплен на уровне головы человека, который перемещался по характерным местам на ТП. На рис. 8 показано изменение индукции МП в течение этого периода.

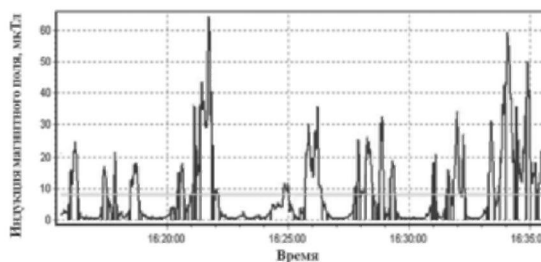


Рис. 8. Изменение индукции магнитного поля по маршрутам прохода персонала

Среднее значение индукции МП за 20 мин составило около 8 мкТл, но с отдельными скачками до 70 мкТл. То есть персонал в течение смены подвергается производственному фактору с резко изменяющимися уровнями. Исследование МП на рабочем месте дежурного персонала также показало, что значения индукции резко меняются в течение времени, но составляют в среднем за смену 1 мкТл.

Обобщенные результаты проведенных экспериментов на разных рабочих местах персонала ТП (с учетом данных [5–7]) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры магнитного поля частотой 50 Гц и выше на тяговой подстанции постоянного тока

| Частота, Гц | Максимальная с учетом погрешности прибора индукция магнитного поля на рабочих местах персонала, мкТл | | | | | | |
|-------------|--|-------------------|--------------------|----------------------|----------------------|--------------|-----------------------------|
| | Шинный мост | Под шинами 3,3 кВ | Вблизи выпрямителя | Вблизи ячейки фидера | Внутри ячейки фидера | В реакторной | Под фидером контактной сети |
| 50 | 16 ± 0,8 | 11 ± 0,55 | 11 ± 0,55 | < 1 | 1,5 ± 0,07 | 3 ± 0,15 | < 1 |
| 100 | 37 ± 1,85 | 16 ± 0,8 | 15 ± 0,55 | 6 ± 0,3 | < 1 | 25 ± 1,25 | 8 ± 0,4 |
| 200 | 25 ± 1,25 | 4 ± 0,2 | 5 ± 0,25 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |
| 300 | 3 ± 0,15 | 19 ± 0,95 | 12 ± 0,6 | 72 ± 3,6 | 20 ± 1 | 180 ± 9 | 120 ± 6 |
| 400 | 5 ± 0,25 | 1,8 ± 0,09 | 1,6 ± 0,8 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |
| 600 | < 1 | 2,5 ± 0,13 | 3 ± 0,15 | 13 ± 0,65 | 2,5 ± 0,13 | 30 ± 1,5 | 16 ± 0,8 |
| > 600 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | 1,2 ± 0,06 | < 1 | < 1 |

Из табл. 1 видно, что максимальные уровни индукции МП присутствуют на частотах 50, 100, 200 и 400 Гц под шинным мостом, на частоте 300 Гц — в реакторной, под фидером контактной сети и около ячейки фидера.

Для оценки воздействия ЭМП на персонал необходимо сравнить фактические значения с нормируемыми, но на данный момент в России параметры ЭМП частотой от 50 Гц до 10 кГц на рабочих местах персонала ЭУ не нормируются [7, 8]. Предварительное сравнение с международными нормами, а также с предлагаемыми нормами в РФ свидетельствует о превышении фактических параметров ЭМП для отдельных частот, особенно для частоты 300 Гц [7].

Таким образом, проведенные исследования показали, что на рабочих местах персонала электроустановок железнодорожного электроснабжения присутствуют ЭМП широкого спектра частот, ЭМП промышленной частоты 50 Гц, МП частотой от 50 Гц до 1 кГц с выделением таких частот, как 100, 200, 300, 400, 600 Гц. Уровни индукции МП частотой 100, 200, 300, 600 Гц имеют высокие значения и должны учитываться при оценке влияния ЭМП на персонал. Установлено, что персонал ЭУ подвергается комплексному воздействию ЭМП широкого частотного диапазона значительных уровней, что требует гигиенического нормирования, а также разработки и применения средств защиты.

Литература

- Белинский С. О., Кузнецов К. Б. Электромагнитные поля устройств тягового электроснабжения частотой до 10 кГц. Проблемы нормирования и защиты // Электробезопасность. 2004. № 1–2. С. 11–17.
- Белинский С. О. Риск вредного воздействия электрических и магнитных полей на персонал электроустановок тягового электроснабжения // Электробезопасность. 2005. № 4. С. 3–11.
- Кузнецов К. Б., Белинский С. О. Сравнение моделей расчета электрического поля контактной сети переменного тока и оценка его вредного влияния // Транспорт Урала. 2005. № 1 (4). С. 28–33. ISSN 1815-9400.
- Кузнецов К. Б., Белинский С. О., Ширшов А. Б. Система защиты от электромагнитного загрязнения среды электроустановками тягового электроснабжения электрического рельсового транспорта // Транспорт: наука, техника, управление. 2006. № 11. С. 27–31. ISSN 0236-1914.
- Белинский С. О., Кузнецов К. Б. Оценка параметров электромагнитных полей низкочастотного диапазона в электроустановках тягового электроснабжения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Энергетика. 2012. № 16 (275). С. 62–69. ISSN 1990-8512.
- Белинский С. О., Кузнецов К. Б. Оценка параметров электромагнитных полей частотой 50 Гц в РУ-3,3 кВ тяговых подстанций // Безопасность жизнедеятельности. 2012. № 7. С. 12–17.
- Белинский С. О. Проблемы оценки профессионального риска при воздействии электромагнитных полей частотой 50 Гц и выше на персонал железнодорожного транспорта // Охрана и экономика труда. 2014. № 1 (14). С. 36–48.
- СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях. М. : Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2011. 38 с.

References

- Belinskiy S. O., Kuznetsov K. B. Elektromagnitnye polya ustroystv tyagovogo elektrosnabzheniya chastotoy do 10 kGts. Problemy normirovaniya i zashchity [Electromagnetic fields of traction power supply units with frequency up to 10 kHz. Regulation and protection issues] // Elektrobezopasnost. 2004. № 1–2. S. 11–17.
- Belinskiy S. O. Risk vrednogo vozdeystviya elektricheskikh i magnitnykh poley na personal elektroustanovok tyagovogo elektrosnabzheniya [Risk of harmful effects of electric and magnetic fields on the staff servicing traction power supply units] // Elektrobezopasnost. 2005. № 4. S. 3–11.
- Kuznetsov K. B., Belinskiy S. O. Sravnenie modeley rascheta elektricheskogo polya kontaktnoy seti peremennogo toka i otsenka ego vrednogo vliyaniya [Comparison of models for calculating electric field of AC catenary system and evaluation of its harmful effect] // Transport Urala. 2005. № 1 (4). S. 28–33. ISSN 1815-9400.
- Kuznetsov K. B., Belinskiy S. O., Shirshov A. B. Sistema zashchity ot elektromagnitnogo zagryazneniya sredy elektroustanovkami tyagovogo elektrosnabzheniya elektricheskogo relsovogo transporta [Electromagnetic pollution protection system for traction power supply devices of electric railway transport] // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 2006. № 11. S. 27–31. ISSN 0236-1914.
- Belinskiy S. O., Kuznetsov K. B. Otsenka parametrov elektromagnitnykh poley nizkochastotnogo diapazona v elektroustanovkakh tyagovogo elektrosnabzheniya [Parameter estimation of low-frequency electromagnetic fields in traction power supply devices] // Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Energetika. 2012. № 16 (275). S. 62–69. ISSN 1990-8512.
- Belinskiy S. O., Kuznetsov K. B. Otsenka parametrov elektromagnitnykh poley chastotoy 50 Gts v RU-3,3 kV tyagovykh podstantsiy [Parameter estimation of electromagnetic fields with frequency 50 Hz in 3.3 kV distribution gear of traction substations] // Bezopasnost zhiznedeyatelnosti. 2012. № 7. S. 12–17.
- Belinskiy S. O. Problemy otsenki professionalnogo riska pri vozdeystvii elektromagnitnykh poley chastotoy 50 Gts i vyshе na personal zheleznodorozhnogo transporta [Occupational risk assessment issues for influence of electromagnetic fields of 50 Hz and higher on railway transport staff] // Okhrana i ekonomika truda. 2014. № 1 (14). S. 36–48.
- SanPiN 2.2.4.1191-03. Elektromagnitnye polya v proizvodstvennykh usloviyakh [Electromagnetic fields in working environment]. M. : Federalnyy tsentr Gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2011. 38 s.