

К ВОПРОСУ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 110 КВ И ВЫШЕ

Сидоренко А.С., Силин Н.В.

Цель. Анализ информации, позволяющей указать на необходимость разработки программы, направленной на совершенствование системы производственного экологического контроля и применение предупредительных мер по снижению негативного воздействия уровней напряженностей электромагнитных полей вблизи высоковольтного оборудования на территории электрических подстанций напряжением 110 кВ и выше.

Методы. Экспериментальное обследование пространственного распределения электромагнитного поля с формированием карт напряженностей для полей промышленной частоты (50 Гц) и высокочастотных полей.

Результаты. Показано, что электромагнитная обстановка на подобных объектах характеризуется высокими значениями напряженности электрического и магнитного полей в широком диапазоне частот. Приведена информация об источниках электромагнитных полей на электрических подстанциях, а также карты распределения уровней полей как на низкой частоте, так и в высокочастотном диапазоне. Представлена информация о спектральном составе собственного электромагнитного излучения силовых автотрансформаторов 500 кВ. Отмечено, что наиболее мощное излучение наблюдается в диапазоне от 1 до 150 МГц.

В качестве примеров приведены карты распределения повышенных уровней напряженностей полей на подстанции для различных частот. Определены наиболее опасные участки для обслуживающего персонала и факторы, влияющие на увеличение интенсивности полей. Приведены результаты экспериментальных исследований, показывающих, что для оборудования со сроком эксплуатации, превышающим нормативный, наблюдается повышение уровней электромагнитных полей. Сделан вывод, что для защиты персонала на электроэнергетических объектах необходима разработка мер по защите от электромагнитного влияния, зависящих от расположения высоковольтного оборудования на энергетическом объекте.

Область применения исследований. Данные исследования направлены на проработку проблемы совершенствования экологического контроля для предотвращения избыточного воздействия на организм человека. Полученные результаты могут быть использованы для разработки и совершенствования методик экологического контроля на высоковольтных подстанциях 110 кВ и выше.

Ключевые слова: экологическая безопасность, высоковольтное оборудование, высокочастотные излучения, напряженность поля, обслуживающий персонал.

(Поступила в редакцию 8 апреля 2026 г.)

Введение

На электроэнергетических объектах как при нормальной работе оборудования, так и при нестационарных процессах фиксируются высокие показатели напряженности электромагнитных полей в большом диапазоне частот. Электромагнитный фон в высокочастотном диапазоне формируется как природными факторами, так и нецелевым излучением технических устройств. В условиях штатной эксплуатации высоковольтного оборудования уровни напряженности электромагнитного поля (ЭМП) в прилегающей зоне могут превышать экологические нормы безопасности. При этом в переходных или аварийных режимах (короткие замыкания, удары молний) интенсивность поля кратно возрастает относительно стандартных рабочих значений [1].

Для электрических подстанций (ПС), как правило, характерна высокая степень насыщения высоковольтными установками, находящимися под рабочим напряжением. В этом случае в некоторых пространствах наблюдаются повышенные значения напряженностей полей, обусловленные наложением электромагнитных волн.

В связи с опасностью влияния электромагнитных полей на персонал, обслуживающий подстанцию, необходимо производить мониторинг электромагнитной обстановки вблизи высоковольтного оборудования, качественно измерять уровни напряженностей полей, анализировать потоки электромагнитных излучений.

Экологическая политика в электросетевом комплексе базируется на федеральных законах и иных нормативных правовых актах Российской Федерации, международных обязательствах Российской Федерации в области охраны окружающей среды. Публичное акционерное общество «Россети» (ПАО «Россети») в своей деятельности обеспечивает применение самых перспективных требований, направленных на снижение воздействия на окружающую среду, демонстрирует и владеет всеми необходимыми механизмами, направленными на предотвращение экологических рисков.

С целью улучшения ситуации в области экологической безопасности были разработаны положения о технической политике¹, согласно которым в том числе необходимо:

- проводить постоянный мониторинг экологической обстановки, соответствующий требованиям ГОСТ Р ИСО 14001-2016²;
- обеспечивать учет негативного воздействия на окружающую среду, модернизацию экологического контроля на производстве^{3, 4}.

Основная часть

Анализ источников ЭМП на ПС. Одной из основных особенностей электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики является высокая концентрация источников электромагнитных полей, что существенно затрудняет ее анализ, определение характеристик ЭМП, воздействующих на эксплуатирующий персонал. Среди высоковольтного оборудования на каждой ПС 110 кВ и выше к числу наиболее мощных источников относят трансформаторы, реакторы, трансформаторы напряжения и тока. Значительная часть высоковольтного оборудования подстанции расположена на относительно компактной площади (территория распределительного устройства), и расстояние между ее отдельными элементами (автотрансформаторы, реакторы, трансформаторы напряжения и тока) обычно не превышает десятка метров.

Например, на рисунке 1 представлен план размещения высоковольтного оборудования (автотрансформаторов и шунтирующих реакторов) на открытом распределительном устройстве 500 кВ (ОРУ 500 кВ) с зонами наибольших значений напряженности электрического поля (ЭП) на частоте 50 Гц. Эти зоны получены на основании результатов экспериментальных обследований пространственного распределения электрического и магнитного полей [2].

Экспериментальные исследования были произведены с помощью оборудования, состоящего из анализатора спектра Tektronix RSA306B⁵, логопериодической направленной антенны и компьютера с программным обеспечением. Методика измерения ЭМП на ПС основана на определении пространственного распределения напряженностей ЭП с учетом режимов работы высоковольтного оборудования и требований нормативных документов.

Измерения были выполнены для оценки уровней электромагнитного воздействия и сопоставления их с предельно допустимыми значениями. Основной измеряемый параметр – напряженность ЭП.

Выбор точек измерения определяется характером пространственного распределения поля. Контроль выполнен в зонах возможного максимума ЭМП: вблизи автотрансформаторов, ошиновки, вводов, а также на границах санитарно-защитной зоны.

Из рисунка видно, что на подстанциях существуют достаточно обширные площади с повышенными значениями напряженности ЭП. Исходя из СанПиН 1.2.3685-21⁶ для напряженности ЭП 50 Гц предельно допустимые уровни ЭМП для персонала подстанций 110 кВ и выше в течение смены не должны превышать 5 кВ/м. В случае превышения данного

¹ Положение ПАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе: утв. Советом директоров ПАО «Россети» (протокол от 22.02.2017 № 252). – М., 2017. – 196 с.

² Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению: ГОСТ Р ИСО 14001-2016. – Введ. 29.04.2016. – М.: Стандартинформ, 2018. – VII, 32 с.

³ Положение о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС». – М.: 2011. – 147 с.

⁴ Положение ПАО «ФСК ЕЭС» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» (новая редакция): утв. решением Совета директоров ПАО «ФСК ЕЭС» (протокол от 20.10.2022 № 592).

⁵ USB-анализатор спектра реального времени RSA306B // Каталог продукции Tektronix. – URL: <https://tektronix-rt.ru/images/manuals/analizatori1.pdf> (дата обращения 02.04.2026).

⁶ Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 2 // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022> (дата обращения 02.04.2026).

значения время пребывания персонала в ЭП должно быть уменьшено. При уровне напряженности выше 25 кВ/м пребывание персонала в ЭП без средств индивидуальной защиты не допускается.

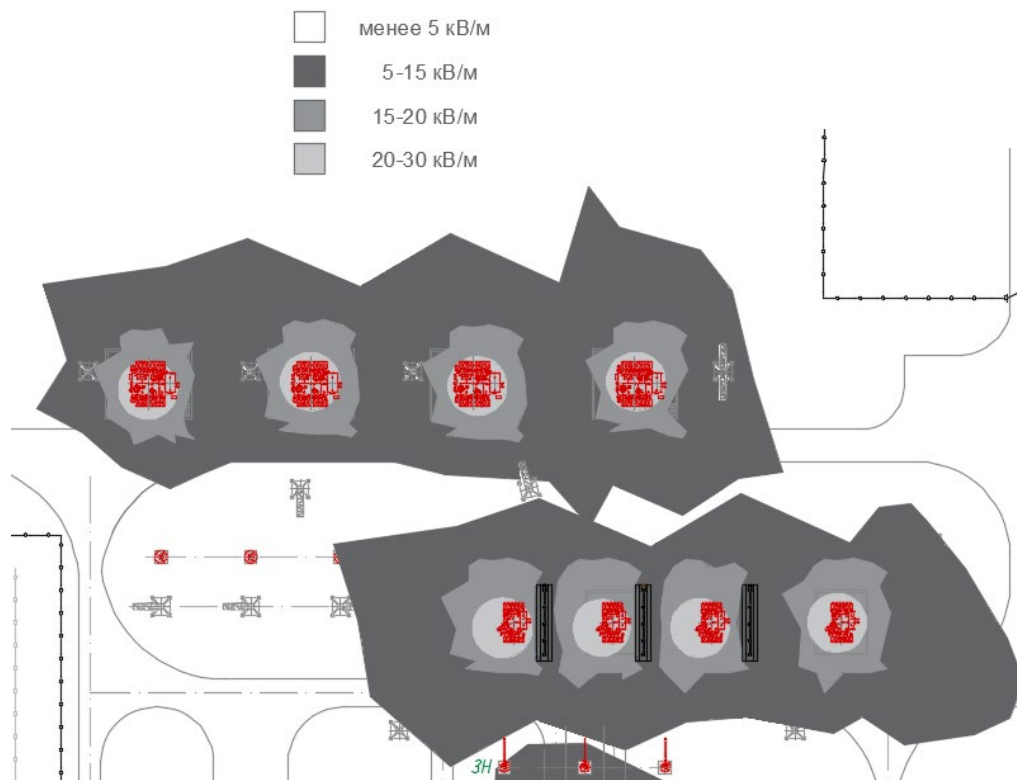


Рисунок 1. – Карта напряженности ЭП на фрагменте ОРУ 500 кВ на частоте 50 Гц

В таблице 1 приведены результаты анализа интервалов напряженности площадей ОРУ 500 кВ.

Таблица 1. – Распределение площадей зон с интервалами напряженности на ОРУ 500 кВ

Интервал напряженности, кВ/м	Площадь зоны напряженности на подстанции, %
<5	75,82
5–15	18,22
15–20	5,35
20–30	0,61

Как следует из таблицы, относительно общей площади ОРУ напряженность ЭП выше 5 кВ/м присутствует на четверти территории.

Помимо излучений на частоте 50 Гц, на ПС присутствуют излучения высоких частот от высоковольтного оборудования напряжением 110 кВ и выше, которые могут возникать из-за коммутационных процессов, частичных разрядов в изоляции, коронных разрядов.

Спектр ЭМП от каждой единицы оборудования индивидуален и, например для автотрансформаторов 500 кВ, имеют следующий вид (рис. 2).

Экспериментальные исследования спектров вблизи высоковольтного оборудования показывают, что наиболее интенсивные потоки ЭМП наблюдаются в диапазоне от 1 до 150 МГц. В качестве рассматриваемых частот с наиболее интенсивным излучением были выбраны частоты 18 и 118 МГц.

Для высокочастотного диапазона, исходя из СанПиН 1.2.3685-21, допустимые уровни электромагнитных полей для персонала в течение смены не должны превышать 80 В/м для напряженности ЭП 30–300 МГц, 50 А/м – для напряженности магнитного поля 0,03–3 МГц и 25 мкВт/см² – для плотности потока энергии 300 МГц – 300 ГГц.

Наложение ЭМП от расположенных рядом с другими единицами высоковольтного оборудования может привести к существенному возрастанию напряженностей полей.

На рисунке 3 представлены результаты наложения уровней ЭМП от автотрансформаторов 500 кВ для двух частот – 18 и 118 МГц.

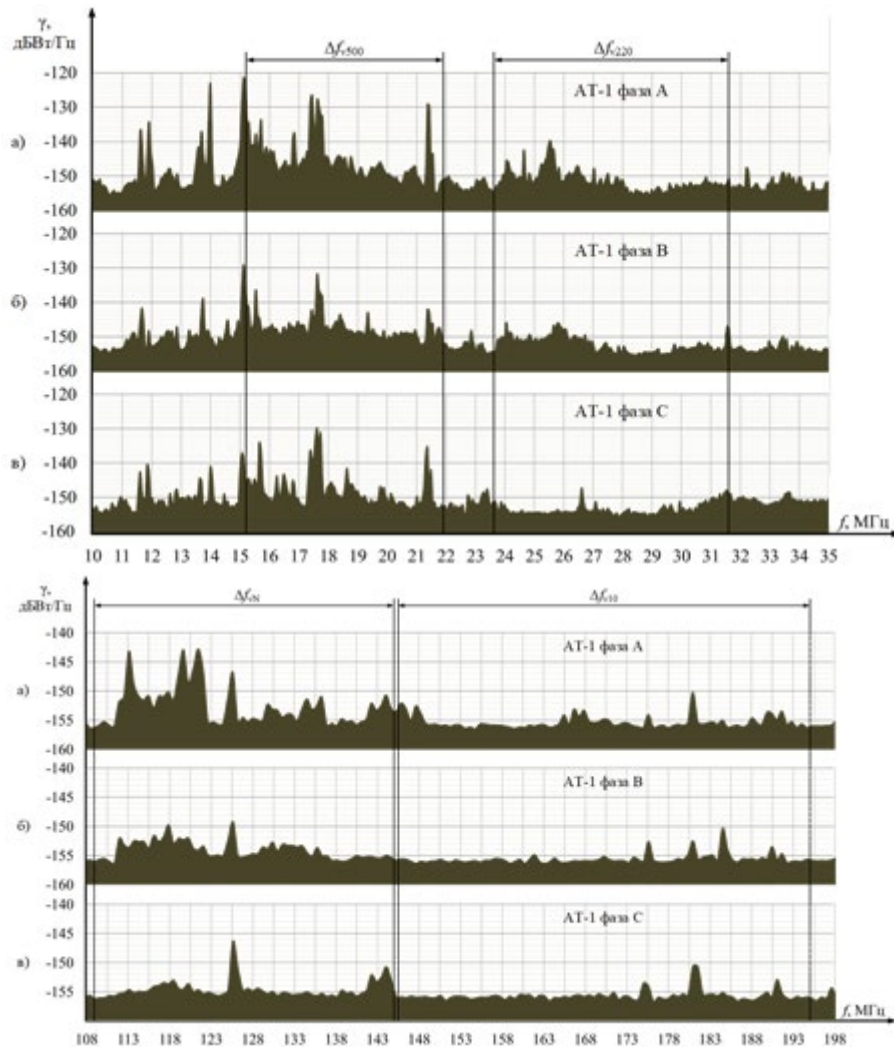


Рисунок 2. – Спектры ЭМП автотрансформаторов 500 кВ

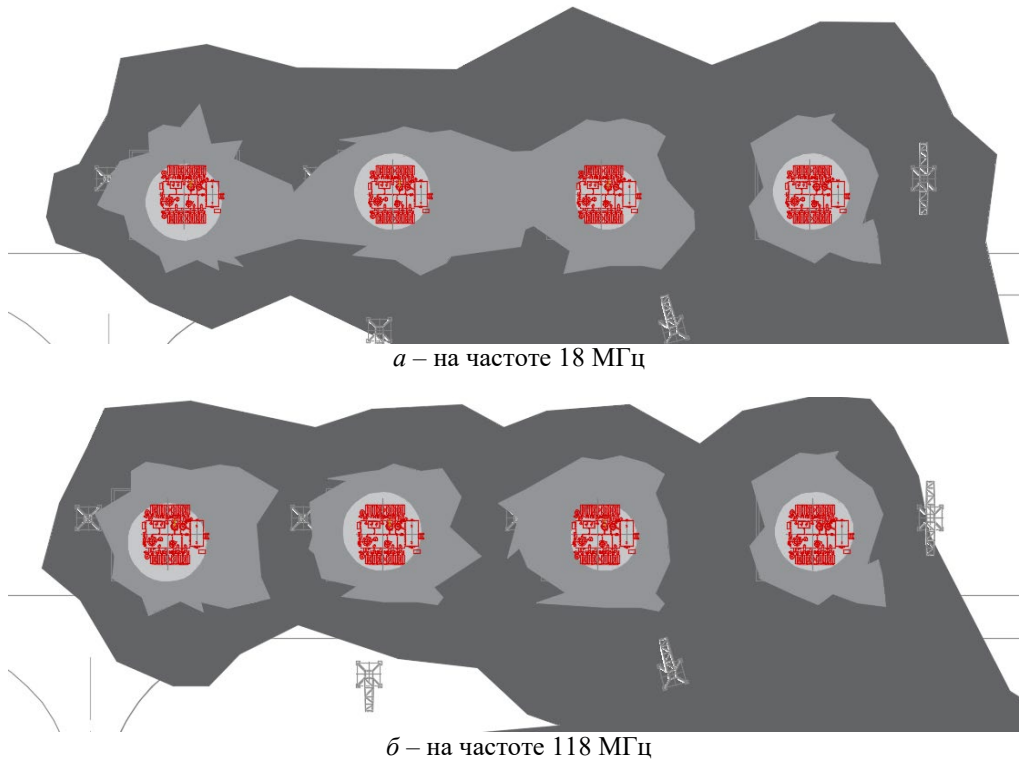


Рисунок 3. – Карта напряженности поля на фрагменте ОРУ 500 кВ

Аналогично измерениям, проведенным при частоте 50 Гц, на подстанциях присутствуют участки, на которых наблюдаются повышенные (по сравнению с общим фоном излучения за пределами подстанции) уровни электромагнитного излучения. На рисунке 3 серым цветом отмечены зоны, в пределах которых данное превышение составляет от 4 до 6 раз. Темным цветом отображены участки с трехкратным превышением.

Для оборудования со сроком эксплуатации, превышающим нормативный, наблюдается повышение уровней ЭМП. Это обусловлено ростом разрядных явлений в изоляции, деградацией экранирующих конструкций, износом компонентов. В таком состоянии, называемом предаварийным, параметры работы находятся в допустимых пределах, но наблюдаются устойчивые отклонения от эксплуатационных и диагностических показателей, что свидетельствует о высокой вероятности перехода в аварийный режим. Старение изоляции и ухудшение характеристик оборудования обусловлены физическими и эксплуатационными факторами [3]. Это создает дополнительные риски для обслуживающего персонала, требует регулярного мониторинга, оценки рабочих мест, а также защиты чувствительных органов организма человека от теплового воздействия.

В качестве примера повышения уровней ЭМП на рисунке 4 представлены спектры автотрансформатора 500 кВ для двух ситуаций:

1. Для нормального режима эксплуатации в исправном состоянии (проведенное измерение от 18.05.2002).
2. При переходе в предаварийное состояние (проведенное измерение от 27.11.2003).

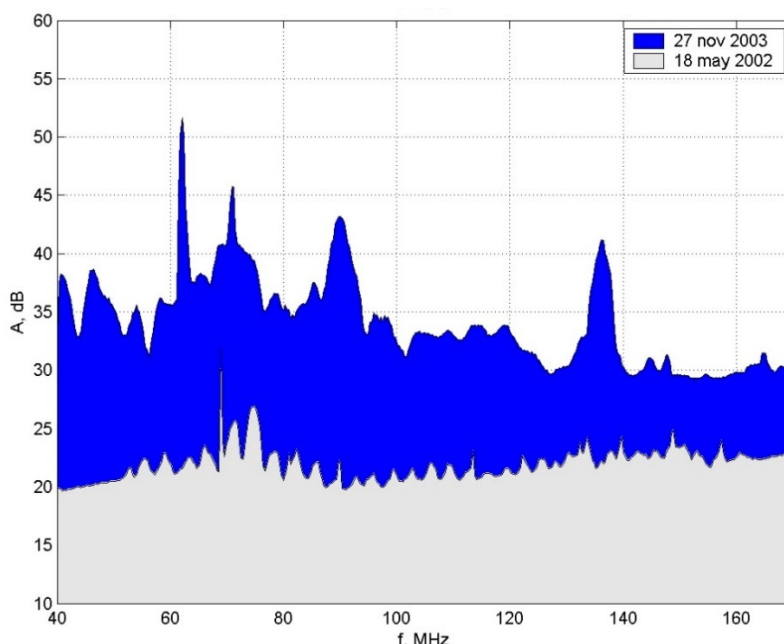


Рисунок 4. – Спектры автотрансформатора 500 кВ при работе в нормальном (серый) и предаварийном (синий) состояниях

Анализ представленных спектров автотрансформатора 500 кВ на рисунке 4 показывает, что при переходе оборудования из нормального режима в предаварийное состояние происходит существенное повышение уровней ЭМП.

В нормальном режиме спектр имеет сглаженный характер с умеренным уровнем амплитуд в диапазоне 20–30 дБ. Локальные пики незначительны и распределены равномерно, что свидетельствует о стабильной работе оборудования.

В предаварийном состоянии происходит общее повышение уровня сигнала в широком диапазоне частот, амплитуда возрастает в среднем на 5–15 дБ, проявляются выраженные пики (60–70 МГц, 130–140 МГц). Такие изменения свидетельствуют о развитии дефектных процессов в оборудовании, прежде всего частичных разрядов и нарушений изоляции, которые формируют короткие импульсы тока и, как следствие, широкополосное электромагнитное излучение. Дополнительно вклад в рост ЭМП вносит ухудшение экранирования и контактных соединений, что приводит к увеличению утечек и паразитных токов.

Влияние ЭМП на человека. В связи с значительными превышениями допустимых уровней напряженности поля возникает непосредственная опасность для персонала, обслуживающего подстанцию.

Воздействие ЭМП на человека в первую очередь сказывается на нервной системе, вызывая такие симптомы, как головные боли и повышенная утомляемость. Помимо этого, длительное негативное воздействие вызывает системную дезорганизацию организма: угнетение иммунитета, эндокринные сбои, нарушения нейрогуморальной регуляции и репродуктивного здоровья. Также клиническая картина дополняется расстройствами сна и дисфункцией желудочно-кишечного тракта. Стоит отметить, что в группе максимального риска находятся лица с кардиологическими заболеваниями.

Биологический эффект ЭМП определяется величиной поглощенной дозы (дозы излучения). Основным механизмом воздействия заключается в трансформации энергии поля в тепловую внутри организма человека. Наибольшую угрозу облучение представляет для органов с ограниченной перфузией (мозг, хрусталик глаза, почки, желудок). Превышение предельно допустимых уровней ЭМП промышленных частот на подстанции влечет патологические изменения в составе крови и деградацию функций иммунной и пищеварительной систем.

Использование средств индивидуальной защиты (экранирующих комплектов) является обязательным при работе в зонах, где напряженность электромагнитного поля превышает значение 25 кВ/м, а также при выполнении длительных операций в условиях электромагнитного воздействия.

Нормативный порог тока, возникающего при контакте человека с токоведущими частями в электроустановках сверхвысокого напряжения, установлен на уровне 50–60 мкА. Данная величина выбрана исходя из критерия электробезопасности, т.к. при таких значениях установившийся ток разряда, вызванный разностью потенциалов между человеком и металлоконструкцией, не вызывает болевых ощущений [4].

Заключение

Для защиты эксплуатационного персонала на подстанциях необходима разработка мер по защите от электромагнитного влияния, зависящая от расположения высоковольтного оборудования на энергетическом объекте. Решение данного вопроса напрямую связано с определением направлений, в которых наиболее вероятно распространение мощных ЭМИ, а также должно учитывать взаимные наложения полей от воздействия различных источников. Также необходимо учитывать состояние высоковольтного оборудования, т.к. при превышении нормативного срока службы увеличиваются уровни ЭМП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоренко, А.С. К вопросу анализа электромагнитной экологии на объекте электроэнергетики / А.С. Сидоренко, Н.В. Силин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2024. – № 3 (93). – С. 40–47. – DOI: 10.17277/voprosy.2024.03.pp.040-047. – EDN: ZYENCM.
2. Сидоренко, А.С. Система экологического мониторинга электромагнитной обстановки на электрической подстанции / А.С. Сидоренко, Н.В. Силин // Наука и изобретения для жизни: материалы II Всероссийского фестиваля, Владивосток, 24–26 окт. 2024 г. / Дальневосточный федеральный университет, Всероссийское общество изобретателей и рационализаторов. – Владивосток: ДВФУ, ВОИР, 2024. – 459 с.
3. Липкин, Б.Ю. Надежность и диагностика электрооборудования / Б.Ю. Липкин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 304 с.
4. Семина, И.А. Влияние электромагнитных полей на окружающую среду и организм человека / И.А. Семина, В.П. Сержанский, М.А. Басмановский // Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. статей по материалам X Междунар. науч.-практ. конф. – М.: Изд. «МЦНО», 2017. – № 9 (10). – С. 156–162. – EDN: YQQCEQ.

**К вопросу экологической безопасности на электрических подстанциях
напряжением 110 кВ и выше**

**On the issue of environmental safety at electrical substations
with a voltage of 110 kV and above**

Сидоренко Андрей Сергеевич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», департамент энергетических систем, аспирант

Адрес: о. Русский, п. Аякс, 10,
690922, г. Владивосток,
Приморский край, Россия

Email: sidorenko.aser@dvfu.ru

Andrey S. Sidorenko

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Far Eastern Federal University», Department of Energy Systems, postgraduate student

Address: Russky Island, settlement Ayaks, 10,
690922, Vladivostok,
Primorsky Krai, Russia

Email: sidorenko.aser@dvfu.ru

Силин Николай Витальевич

доктор технических наук,
доцент

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», департамент энергетических систем, доцент

Адрес: о. Русский, п. Аякс, 10,
690922, г. Владивосток,
Приморский край, Россия

Email: silin22@mail.ru

SPIN-код: 8944-6769

Nikolay V. Silin

Grand PhD in Technical Sciences,
Associate Professor

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Far Eastern Federal University», Department of Energy Systems, Associate Professor

Address: Russky Island, settlement Ayaks, 10,
690922, Vladivostok,
Primorsky Krai, Russia

Email: silin22@mail.ru

ORCID: 0000-0003-0076-8880

ON THE ISSUE OF ENVIRONMENTAL SAFETY AT ELECTRICAL SUBSTATIONS WITH A VOLTAGE OF 110 KV AND ABOVE

Sidorenko A.S., Silin N.V.

Purpose. Analysis of information indicating the need to develop a program aimed at improving the system of industrial environmental control and the application of preventive measures to reduce the negative impact of electromagnetic field intensity levels near high-voltage equipment on the territory of electrical substations with a voltage of 110 kV and higher.

Methods. Experimental investigation of the spatial distribution of the electromagnetic field with the formation of intensity maps for industrial frequency (50 Hz) and high-frequency fields.

Findings. It is shown that the electromagnetic environment at such facilities is characterized by high values of electric and magnetic field strengths in a wide frequency range. Information is provided on the sources of electromagnetic fields at electrical substations, as well as maps of the distribution of field levels both at low frequency and in the high frequency range. Information on the spectral composition of the electromagnetic radiation emitted by 500 kV power autotransformers is presented. It is noted that the most powerful radiation is observed in the range from 1 to 150 MHz.

The distribution maps of increased field strength levels at substations for various frequencies are given as examples. The most dangerous areas for maintenance personnel and the factors influencing the increase in field intensity have been identified. The results of experimental studies are presented, showing that for equipment with a service life exceeding the standard, there is an increase in the levels of electromagnetic fields. It is concluded that in order to protect personnel at electric power facilities, it is necessary to develop measures to protect against electromagnetic interference, depending on the location of high-voltage equipment at the power facility.

Application field of research. These studies are focused at researching the problem of improving environmental control to prevent excessive exposure to the human body. The obtained results can be used to develop and improve the methods of environmental control at high-voltage substations of 110 kV and higher.

Keywords: environmental safety, high-voltage equipment, high-frequency radiation, field strength, maintenance personnel.

(The date of submitting: April 8, 2026)

REFERENCES

1. Sidorenko A.S., Silin N.V. K voprosu analiza elektromagnitnoy ekologii na ob"ekte elektroenergetiki [The analysis of electromagnetic ecology at an electric power facility]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo*, 2024. No. 3 (93). Pp. 40–47. (rus). DOI: 10.17277/voprosy.2024.03.pp.040-047. EDN: ZYEHCM.
2. Sidorenko A.S., Silin N.V. Sistema ekologicheskogo monitoringa elektromagnitnoy obstanovki na elektricheskoy podstantsii [The system of environmental monitoring of the electromagnetic situation at an electric substation]. *Proc. of II All-Russian Festival «Nauka i izobreneniya dlya zhizni», Vladivostok, October 24–26, 2024*. Far Eastern Federal University, All-Russian Society of Inventors and Innovators. Vladivostok, 2024, 459 p. (rus)
3. Lipkin B.Yu. Nadezhnost' i diagnostika elektrooborudovaniya [Reliability and diagnostics of electrical equipment]. Moscow: Energoatomizdat, 1986. 304 p. (rus)
4. Semina I.A., Serzhanskiy V.P., Basmanovskiy M.A. Vliyanie elektromagnitnykh poley na okruzhayushchuyu sredu i organizm cheloveka [Influence of electromagnetic fields on the environment and human body]. *Proc. of X Intern. scientific-practical conf. «Nauchnyy forum: Tekhnicheskie i fiziko-matematicheskije nauki»*. Moscow, 2017. No. 9 (10). Pp. 156–162. (rus). EDN: YQQCEQ.

Copyright © 2026 Sidorenko A.S., Silin N.V.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.