

Электромагнитные поля промышленной частоты электроустановок, размещенных в зданиях*В.Н. Никитина, Н.И. Калинина, Г.Г. Ляшко, Е.Н. Дубровская, В.П. Плеханов*

ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 2-я Советская ул., д. 4, г. Санкт-Петербург, 191036, Российская Федерация

Резюме

Введение. Все составляющие системы электроснабжения являются источниками электрических и магнитных полей частотой 50 Гц, которые могут оказывать неблагоприятное влияние на человека. Расчетное прогнозирование уровней магнитных полей от щитовых и трансформаторов, встроенных в здания, представляет определенные трудности. Из этого следует важность натурных измерений уровней электромагнитных полей от встроенного электрооборудования.

Цель исследования: гигиеническая оценка уровней электрических и магнитных полей частотой 50 Гц при эксплуатации электроустановок, встроенных в здания различного назначения: производственные, общественные, жилые. **Материалы и методы.** Осуществлены исследования электрических и магнитных полей частотой 50 Гц, создаваемых электроустановками, размещенными в зданиях. Инструментальное измерение уровней электромагнитных полей проводилось у электрооборудования – трансформаторов, щитов, распределительных устройств. Исследовалась электромагнитная обстановка в помещениях над электрооборудованием. Оценка уровней электромагнитных полей выполнена в соответствии с действующими гигиеническими нормативами.

Результаты. Интенсивность электрических полей у оборудования и в обследованных помещениях была существенно ниже уровней магнитных полей. Превышения ПДУ на рабочих местах при обслуживании источников электромагнитных полей в жилых помещениях не установлено. В помещениях общественных зданий, расположенных над электроустановками, измеренные значения индукции магнитного поля составили от 0,18 до 31 мкТл. Интенсивность магнитных полей зависела от токовой нагрузки и расстояния до источников электромагнитных полей. **Выводы.** Интенсивность электромагнитных полей зависит от технических характеристик оборудования, токовых нагрузок, расстояний от источников электромагнитных полей. Индукция магнитных полей 50 Гц в прилегающих помещениях может превышать гигиенические нормативы, установленные для жилых и общественных зданий. Дополнительными неблагоприятными факторами являются нестабильность магнитных полей, обусловленная изменением токовых нагрузок, и существенные градиенты магнитных полей в помещениях.

Ключевые слова: электромагнитные поля промышленной частоты, электроустановки, измерения, гигиеническая оценка.

Для цитирования: Никитина В.Н., Калинина Н.И., Ляшко Г.Г., Дубровская Е.Н., Плеханов В.П. Электромагнитные поля промышленной частоты электроустановок, размещенных в зданиях // Здоровье населения и среда обитания. 2021. Т. 29. № 9. С. 56–61. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-9-56-61>

Сведения об авторах:

✉ **Никитина** Валентина Николаевна – д.м.н., заведующая отделением изучения электромагнитных излучений ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: v.nikitina@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8314-2044>.

Калинина Нина Ивановна – к.м.н., старший научный сотрудник отделения изучения электромагнитных излучений ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: n.kalinina@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9475-0176>.

Ляшко Галина Григорьевна – к.м.н., старший научный сотрудник отделения изучения электромагнитных излучений ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: g.lyashko@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4832-769X>.

Дубровская Екатерина Николаевна – научный сотрудник отделения изучения электромагнитных излучений ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: nikanorushka@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-378X>.

Плеханов Владимир Павлович – научный сотрудник отделения изучения электромагнитных излучений ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: wplekhanov@bk.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8141-7179>.

Информация о вкладе авторов: Никитина В.Н. – концепция, дизайн исследования, управление проектом; Дубровская Е.Н. – сбор и обработка материала; Плеханов В.П. – обзор публикаций по теме статьи; Ляшко Г.Г. – анализ полученных данных, написание текста; Калинина Н.И. – написание текста, редактирование материала.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья получена: 08.07.21 / Принята к публикации: 20.08.21 / Опубликовано: 30.09.21

Power Frequency Electromagnetic Fields of Electrical Installations in Buildings*Valentina N. Nikitina, Nina I. Kalinina, Galina G. Lyashko, Ekaterina N. Dubrovskaya, Vladimir P. Plekhanov*Northwest Public Health Research Center, 4 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation**Summary**

Introduction: All components of the power supply system are sources of electric and magnetic fields of industrial frequency of 50 Hz, both posing risks to human health. Estimation of predicted magnetic field levels from switchboards and transformers inside buildings is challenging and implies the importance of full-scale measurements of electromagnetic fields from built-in electrical equipment.

Objectives: To establish the levels of 50 Hz electromagnetic fields during operation of built-in electrical installations in industrial, public, and residential premises.

Materials and methods: We studied 50 Hz electromagnetic fields generated by electrical installations located in buildings. EMF levels were measured near transformers, switchboards, and switchgear. The electromagnetic situation in the rooms above the electrical equipment was investigated. The assessment of EMF levels was carried out in accordance with the current hygienic standards.

Results: The intensity of electric fields near the equipment and in the surveyed premises was significantly lower than that of magnetic fields. The excess of maximum permissible levels at workplaces of operators servicing EMF sources in residen-

tial buildings was not detected. In the rooms of public buildings located above electrical installations, measured values of magnetic field induction ranged from 0.18 to 31 μT . The intensity of magnetic fields depended on the current load and the distance from EMF sources.

Discussion: Electromagnetic field intensity depends on specifications of equipment, current loads, and distances from the sources of electromagnetic fields. Induction of 50 Hz magnetic fields in adjacent rooms may exceed hygienic standards set for residential and public buildings. Additional adverse factors include instability of magnetic fields caused by current load changes and significant magnetic field gradients in premises.

Keywords: electromagnetic fields of industrial frequency, electrical installations, measurements, hygienic assessment.

For citation: Nikitina VN, Kalinina NI, Lyashko GG, Dubrovskaya EN, Plekhanov VP. Power frequency electromagnetic fields of electrical installations in buildings. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2021;29(9):56–61. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-9-56-61>

Author information:

✉ Valentina N. Nikitina, Dr. Sci. (Med.), Head of Electromagnetic Radiation Research Department, Northwest Public Health Research Center; e-mail: v.nikitina@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8314-2044>.

Nina I. Kalinina, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher, Electromagnetic Radiation Research Department, Northwest Public Health Research Center; e-mail: n.kalinina@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9475-0176>.

Galina G. Lyashko, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher, Electromagnetic Radiation Research Department, Northwest Public Health Research Center; e-mail: g.lyashko@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4832-769X>.

Ekaterina N. Dubrovskaya, Researcher, Electromagnetic Radiation Research Department, Northwest Public Health Research Center; e-mail: nikanorushka@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-378X>.

Vladimir P. Plekhanov, Researcher, Electromagnetic Radiation Research Department, Northwest Public Health Research Center; e-mail: wplekhanov@bk.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8141-7179>.

Author contributions: Nikitina V.N. developed the study conception and design and managed the project; Dubrovskaya E.N. did data collection and processing; Plekhanov V.P. did a literature review; Lyashko G.G. analyzed data and wrote the manuscript; Kalinina N.I. wrote the manuscript and edited the material. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Funding information: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: June 8, 2021 / Accepted: August 20, 2021 / Published: September 30, 2021

Введение. Распространенными источниками электромагнитных полей (ЭМП) частотой 50 Гц, воздействующих на человека, являются системы электроснабжения – совокупность электроустановок и электрических устройств, предназначенных для производства, передачи и распределения электрической энергии¹. Все составляющие системы электроснабжения являются источниками электрических (ЭП) и магнитных полей (МП) частотой 50 Гц, которые могут оказывать неблагоприятное влияние на человека. Настоящая работа посвящена исследованию ЭМП, создаваемых электроустановками, встроенными в здания. В соответствии с ГОСТ Р 54130–2010² электроустановками называется совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии. В отечественных и зарубежных публикациях представлены многочисленные данные гигиенических и эпидемиологических исследований по изучению влияния на окружающую среду и население ЭМП частотой 50 Гц, создаваемых воздушными линиями электропередачи [1–3]. В статьях приводятся жалобы на головную боль, нарушения сна, снижение работоспособности, частые простудные заболевания, отмечается наличие онкологического риска [4–12]. В работах авторы основное внимание уделяют изучению влияния МП частотой 50 Гц, которые отнесены Международным агентством по исследованию рака (2002 г.) к потенциальным канцерогенам по лейкозам у детей. В странах Евросоюза ведутся эпидемиологические исследования онкологических заболеваний у детей, проживающих вблизи высоковольтных линий [13, 14]. Существенно меньше работ, посвященных изучению пара-

метров и гигиенической оценке ЭМП 50 Гц, создаваемых электроустановками, встроенными в здания различного назначения [15–22]. Здесь можно сослаться на исследования, проведенные в Испании, Финляндии, Нидерландах, Швейцарии, Болгарии, Израиле. Авторы отмечают, что в жилых помещениях, прилегающих к трансформаторным подстанциям, уровни индукции МП составляют 0,16–3,68 мкТл, в отдельных случаях могут достигать 20,0 мкТл [23–26]. Следует отметить, что расчетное прогнозирование уровней МП от щитовых и трансформаторов, встроенных в здания, представляет определенную трудность. На величины излучаемых МП влияет целый ряд внешних факторов, таких как наличие близлежащих металлических конструкций, взаимное расположение проводников и оборудования, конструктивные особенности шинных мостов и сборных шин и т. д. Из электрических параметров существенное значение имеют токовые нагрузки и ряд других. Из этого следует важность натурных измерений уровней ЭМП, создаваемых встроенным электрооборудованием.

Цель работы: гигиеническая оценка уровней ЭП и МП частотой 50 Гц при эксплуатации электроустановок, встроенных в здания различного назначения.

Материалы и методы исследования. В статье обобщены результаты собственных исследований ЭП и МП частотой 50 Гц, создаваемых электроустановками, встроенными в производственные, общественные и жилые здания. Измерение уровней ЭМП проводилось у электрооборудования (трансформаторов, щитов, распределительных устройств) и в прилегающих помещениях. Для инструментальных измерений использованы приборы: измеритель параметров ЭП и МП частотой 50 Гц – ПЗ-50 и милитесламетр ТПУ. Для контроля условий измерений (температуры и влажности воздуха) использовался метеометр

¹ Правила устройства электроустановок. Шестое издание. Дополненное с исправлениями. М.: ЗАО «Энергосервис», 2002. 606 с.

² ГОСТ Р 54130–2010 «Качество электрической энергии. Термины и определения». Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/1200088552> (дата обращения: 01.06.2021).

МЭС-200А. Приборы включены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений, имели действующие свидетельства о поверке. Измерения уровней ЭМП выполнялись у электроустановок и в помещениях, расположенных над ними при работе электрооборудования в штатном режиме при рабочей нагрузке, соответствующей времени проведения измерений. В статье представлены результаты с учетом пересчета измеренных значений на максимальный рабочий ток (оценивался возможный вариант неблагоприятного воздействия ЭМП). В таблицах представлены данные с учетом неопределенности измерений. Гигиеническая оценка уровней ЭМП выполнена в соответствии с СанПиН 1.2.3685–21³.

Результаты исследования. Исследования ЭМП выполнялись в двух цехах промышленного предприятия, общественных и жилых зданиях.

Характеристика электромагнитных полей, создаваемых электрооборудованием, в цехах промышленного предприятия. В производственных зданиях оценивались уровни ЭМП промышленной частоты на рабочих местах работников, обслуживающих источники ЭМП, и персонала, работающего в помещениях, расположенных над трансформаторными подстанциями и распределительными устройствами. В трансформаторных подстанциях были установлены три трансформатора мощностью 1000, 800, 750 кВА и два распределительных устройства (РУ-0,4 кВ, РУ-6 кВ), в отдельном помещении – только распределительное устройство РУ-6 кВ. Регистрация ЭМП проводилась у трансформаторов и распределительных устройств при закрытых и открытых панелях секций РУ. Зарегистрированные у оборудования уровни напряженности электрического поля составили

от 0,02 до 0,10 кВ/м и не превышали предельно допустимого уровня (ПДУ) 5 кВ/м, установленного для 8-часового рабочего дня, согласно СанПиН 1.2.3685–21. Уровни индукции МП промышленной частоты представлены в табл. 1.

Следующим этапом исследования было проведение измерений уровней ЭМП в помещениях, расположенных над трансформаторными подстанциями и распределительными устройствами. Измерения ЭМП в этих помещениях проводились на уровне пола. Уровни напряженности электрического поля промышленной частоты составляли от $\leq 0,01$ до 0,02 кВ/м. Уровни индукции МП представлены в табл. 2.

Как следует из табл. 1 и 2, в производственных зданиях уровни индукции МП на рабочих местах составляли от 0,50 до 31,95 мкТл и не превышали ПДУ 100 мкТл, установленного СанПиН 1.2.3685–21 для 8-часового рабочего дня.

Результаты измерения уровней ЭМП от электроустановок, встроенных в общественные здания. Измерения ЭМП выполнены в помещениях театра и учебного заведения. В здании театра измерения уровней МП были проведены в помещении, размещенном над главным распределительным щитом (ГРЩ-2 500). В учебном заведении источником МП был трансформатор мощностью 630 кВА, размещенный в щитовой, над которой на втором этаже находились помещения столовой. Измерения уровней МП выполнялись непосредственно в щитовой и над щитовой выше этажом. Максимальные уровни индукции МП в помещении щитовой у различных секций были от 40,7 до 99,9 мкТл и не превышали ПДУ. Результаты измерений индукции МП в общественных помещениях, расположенных над электрооборудованием, представлены в табл. 3.

Таблица 1. Уровни индукции магнитных полей промышленной частоты на рабочих местах у трансформаторов и распределительных устройств

Table 1. Levels of 50 Hz magnetic field induction at workplaces near transformers and switchgears

Точка измерения / Measuring point	Индукция магнитного поля, В, мкТл / Magnetic field induction, V, μ T	Источник электромагнитных полей / Source of electromagnetic fields
× 1–3	7,38–27,05	Трансформаторы / Transformers
× 4–6	3,38–7,35	РУ-0,4 кВ (при закрытых панелях) / Switchgear – 0,4 kV (closed panels)
× 7–9	6,61–10,72	РУ-0,4 кВ (при открытых панелях) / Switchgear – 0,4 kV (open panels)
× 10–11	9,07–31,95	Шины / Cables
× 12–18	0,66–2,81	РУ-6 кВ / Switchgear – 6 kV

Таблица 2. Уровни индукции магнитного поля промышленной частоты в помещениях над трансформаторными подстанциями и распределительными устройствами в промышленных зданиях

Table 2. Levels of 50 Hz magnetic field induction in rooms above transformer substations and switchgears in industrial buildings

Точка измерения / Measuring point	Индукция магнитного поля, В, мкТл / Magnetic field induction, V, μ T	Источник электромагнитных полей / Source of electromagnetic fields
× 1–5	0,50–0,73	Трансформаторы, РУ-0,4 кВ / Transformers, switchgear – 0,4 kV
× 6–10	0,93–3,28	Трансформаторы, РУ-6 кВ / Transformers, switchgear – 6 kV
× 11–15	0,88–2,01	Трансформаторы, РУ-0,4 кВ / Transformers, switchgear – 0,4 kV
× 16–24	0,77–2,41	Трансформаторы, РУ-6 кВ / Transformers, switchgear – 6 kV
× 25–33	0,62–3,32	РУ-6 кВ / Switchgear – 6 kV

³ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утверждены Главным государственным врачом Российской Федерации 28 января 2021 г.). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2021. 88 с.

Согласно табл. 3, максимальные уровни индукции МП в помещениях, расположенных над трансформаторами, превышают гигиенический норматив 10 мкТл, установленный СанПиН 1.2.3685–21 для общественных зданий. Уровни напряженности электрических полей в этих помещениях не превышали ПДУ.

Результаты измерения уровней ЭМП промышленной частоты в жилых помещениях. Исследования ЭМП промышленной частоты были проведены в квартирах двух жилых зданий и в комнатах здания общежития. В одном жилом здании источником МП 50 Гц был общедомовой распределительный электрощит на первом этаже, расположенный под жилыми помещениями обследованной квартиры. Во втором здании источником ЭМП были щиты ЩРЭ 1.20, установленные на стенах межквартирных коридоров. Измерения ЭМП частотой 50 Гц были выполнены у щитов, а также в квартирах у стен, на которых размещены щиты. Исследования были проведены также в комнатах общежития, которые располагались над главным распределительным щитом ГРЩ-2 500. Установлено, что уровни напряженности ЭП промышленной частоты составляли от $\leq 0,01$ до 0,05 кВ/м. Уровни индукции МП, зарегистрированные в различных зонах жилых помещений, представлены в табл. 4.

По результатам измерений уровни ЭП и МП, зарегистрированные в жилых помещениях, не превышали установленные гигиенические нормативы.

Анализ результатов измерений показал, что в обследованных зданиях различного назначения при заданном размещении встроенного электрооборудования значения индукции МП могут превышать ПДУ, установленные для жилых и общественных зданий. Интенсивность МП зависит от токовой нагрузки. В разных зонах помещений (точках измерений) уровни индукции МП существенно отличаются, что обусловлено различиями в размещении источников ЭМП.

Выводы

1. Исследование ЭМП промышленной частоты, создаваемых электрооборудованием, встроенным в здания, показало, что напряженность ЭП у оборудования и в обследованных помещениях была существенно ниже интенсивности МП и не превышала ПДУ.

2. Уровни индукции МП зависели от токовой нагрузки и расстояния от источников ЭМП.

3. Нестабильность и существенные градиенты МП в помещениях являются дополнительными неблагоприятными факторами, воздействующими на человека.

Список литературы

1. Bessou J, Deschamps F, Figueroa L, Cougnard D. Methods used to estimate residential exposure to 50 Hz magnetic fields from overhead power lines in an epidemiological study in France. *J Radiol Prot.* 2013;33(2):349–365. doi: 10.1088/0952-4746/33/2/349
2. Смирнова Е.Э., Катаева Е.С. Использование экологически безопасных источников электроэнергии с целью повышения экологической безопасности градостроительной среды // Безопасность в строительстве: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Санкт-Петербург, 21–22 ноября 2019 года. Изд-во СПбГАСУ, 2019. С. 126–131.
3. Бухтияров И.В., Рубцова Н.Б., Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Перров С.Ю. Новации в проблеме обеспечения электромагнитной безопасности работающих и населения // Человек и электромагнитные поля: сборник докладов V Международной конференции. Саров, 23–27 мая 2016 года. Изд-во РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2017. С. 47–54.
4. Болтаев А.В., Газя Г.В., Хадарцев А.А., Синенко Д.В. Влияние промышленных электромагнитных полей на хаотическую динамику параметров сердечно-сосудистой системы работников нефтяной отрасли // Экология человека. 2017. № 8. С. 3–7. doi: 10.33396/1728-0869-2017-8-3-7
5. Рябов Ю.Г., Андреев Ю.В. Сохранение здоровья и работоспособности персонала современных производственных рабочих мест и населения путем обеспечения комфортных электромагнитных условий в среде обитания человека // Технологии ЭМС. 2002. № 1. С. 3–12.
6. Khan MW, Juutilainen J, Roivainen P. Registry of buildings with transformer stations as a basis for epidemiological studies on health effects of extremely low-frequency magnetic fields. *Bioelectromagnetics.* 2020;41(1):34–40. doi: 10.1002/bem.22228
7. Gajšek P, Ravazzani P, Grellier J, Samaras T, Bakos J, Thuróczy G. Review of studies concerning electromagnetic field (EMF) exposure assessment in Europe: Low frequency fields (50 Hz – 100 kHz). *Int J Environ Res Public Health.* 2016;13(9):875. doi: 10.3390/ijerph13090875
8. Sirav B, Sezgin G, Seyhan N. Extremely low-frequency magnetic fields of transformers and possible biological and health effects. *Electromagn Biol Med.* 2014;33(4):302–306. doi: 10.3109/15368378.2013.834447

Таблица 3. Уровни индукции магнитного поля промышленной частоты в помещениях над главным распределительным щитом и трансформаторами в общественных зданиях

Table 3. Levels of 50 Hz magnetic field induction in rooms above the main switchboard and transformers in public buildings

Точка измерения / Measuring point	Индукция магнитного поля, В, мкТл / Magnetic field induction, V, μ T	Источник электромагнитных полей / Source of electromagnetic fields
× 1–5	0,18–0,30	ГРЩ-2500 / Main switchboard-2500
× 6–10	2,20–15,0	Трансформатор 630 кВА / 630 kVA transformers
× 11–15	12,5–31,0	Трансформатор 630 кВА / 630 kVA transformers

Таблица 4. Уровни индукции магнитного поля промышленной частоты в жилых помещениях

Table 4. Levels of 50 Hz magnetic field induction in residential premises

Точка измерения / Measuring point	Индукция магнитного поля, В, мкТл / Magnetic field induction, V, μ T	Источник электромагнитных полей / Source of electromagnetic fields
× 1–10	0,40–3,9	Распределительные щиты / Switchboards
× 11–16	0,45–5,0	ЩРЭ 1.20 / Electrical distribution board 1.20
× 17–22	0,43–0,75	ГРЩ-2500 / Main switchboard-2500

9. Valič B, Kos B, Gajšek P. Typical exposure of children to EMF: exposimetry and dosimetry. *Radiat Prot Dosimetry*. 2015;163(1):70–80. doi: 10.1093/rpd/ncu057
10. Pedersen C, Johansen C, Schütz J, Olsen JH, Raaschou-Nielsen O. Residential exposure to extremely low-frequency magnetic fields and risk of childhood leukemia, CNS tumours and lymphoma in Denmark. *Br J Cancer*. 2015;113(9):1370–1374. doi: 10.1038/bjc.2015.365
11. Salvan A, Ranucci A, Lagorio S, Magnani C, SETIL Research Group. Childhood leukemia and 50 Hz magnetic fields: findings from the Italian SETIL case-control study. *Int J Environ Res Public Health*. 2015;12(2):2184–2204. doi: 10.3390/ijerph120202184
12. McColl N, Auvinen A, Kesminiene A, et al. European Code against Cancer 4th Edition: Ionising and non-ionising radiation and cancer. *Cancer Epidemiol*. 2015;39(Suppl 1):S93–100. doi: 10.1016/j.canep.2015.03.016
13. Kheifets L, Ahlbom A, Crespi CM, et al. Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer*. 2010;103(7):1128–1135. doi: 10.1038/sj.bjc.6605838
14. Kheifets L, Oksuzyan S. Exposure assessment and other challenges in non-ionizing radiation studies of childhood leukaemia. *Radiat Prot Dosimetry*. 2008;132(2):139–147. doi: 10.1093/rpd/ncn260
15. Любимова Н.С., Волков А.Б., Мартемьянов В.А. Электромагнитная безопасность зданий // Технические науки — от теории к практике. 2013. № 28. С. 158–169.
16. Каляда Т.В., Плеханов В.П. Актуальность мониторинга магнитных полей промышленной частоты 50 Гц в жилых и общественных зданиях // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 6. С. 597–600. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-6-597-600
17. Рябов Ю.Г., Ломаев Г.В., Репин А.А. Нормализация безопасных и комфортных условий в помещениях жилых и общественных зданий по факторам электроснабжения // Технологии ЭМС. 2019. № 4 (71). С. 72–83.
18. Розов В.Ю., Кундиус Е.Д., Пелевин Д.Е. Активное экранирование внешнего магнитного поля трансформаторных подстанций, встроенных в жилые дома // Электротехника и электромеханика. 2020. № 3. С. 60–66. doi: 10.20998/2074-272X.2020.3.04
19. Kandel S, Hareuveny R, Yitzhak NM, Rupp R. Magnetic field measurements near stand-alone transformer stations. *Radiat Prot Dosimetry*. 2013;157(4):619–622. doi: 10.1093/rpd/ncr170
20. Çam ST, Firlarer A, Özden S, Canseven AG, Seyhan N. Occupational exposure to magnetic fields from transformer stations and electrical enclosures in Turkey. *Electromagn Biol Med*. 2011;30(2):74–79. doi: 10.3109/15368378.2011.566772
21. Zaryabova V, Shalamanova T, Israel M. Pilot study of extremely low frequency magnetic fields emitted by transformers in dwellings. Social aspects. *Electromagn Biol Med*. 2013;32(2):209–217. doi: 10.3109/15368378.2013.776431
22. Yitzhak NM, Hareuveny R, Kandel S, Rupp R. Time dependence of 50 Hz magnetic fields in apartment buildings with indoor transformer stations. *Radiat Prot Dosimetry*. 2012;149(2):191–195. doi: 10.1093/rpd/ncr226
23. Navarro-Camba EA, Segura-García J, Gomez-Perretta C. Exposure to 50 Hz magnetic fields in homes and areas surrounding urban transformer stations in Silla (Spain): environmental impact assessment. *Sustainability*. 2018;10(8):2641. doi: 10.3390/su10082641
24. Hareuveny R, Kandel S, Yitzhak NM, Kheifets L, Mezei G. Exposure to 50 Hz magnetic fields in apartment buildings with indoor transformer stations in Israel. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2011;21(4):365–371. doi: 10.1038/jes.2010.20
25. Thuróczy G, Jánossy G, Nagy N, Bakos J, Szabó J, Mezei G. Exposure to 50 Hz magnetic field in apartment buildings with built-in transformer stations in Hungary. *Radiat Prot Dosimetry*. 2008;131:469–473.
26. Rössli M, Jenni D, Kheifets L, Mezei G. Extremely low frequency magnetic field measurements in buildings with transformer stations in Switzerland. *Sci Total Environ*. 2011;409:3364–3369.

References

1. Bessou J, Deschamps F, Figueroa L, Cougnaud D. Methods used to estimate residential exposure to 50 Hz magnetic fields from overhead power lines in an epidemiological study in France. *J Radiol Prot*. 2013;33(2):349–365. doi: 10.1088/0952-4746/33/2/349
2. Smirnova EE, Kataeva ES. Using of environmentally safe electricity sources to enhance environmental safety of the urban planning condition. In: *Safety in Construction: Proceedings of the Fourth All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation*, St. Petersburg, November 21–22, 2019. St. Petersburg: SPbGASU Publ., 2019:126–131. (In Russ.)
3. Bukhtiyarov IV, Rubtsova NB, Paltsev YuP, Pokhodzei LV, Perov SYu. [Innovations in the issue of ensuring electromagnetic safety of workers and the population.] In: *Man and Electromagnetic Fields: Proceedings of the Fifth International Conference, Sarov, May 23–27, 2016*. Sarov: RFNC-VNIIEF Publ., 2017:47–54. (In Russ.)
4. Boltaev AV, Gazya GV, Khadartsev AA, Sinenko DV. The electromagnetic fields effect on chaotic dynamics of cardiovascular system parameters of workers of oil and gas industry. *Ekologiya Cheloveka [Human Ecology]*. 2017;(8):3–7. (In Russ.) doi: 10.33396/1728-0869-2017-8-3-7
5. Ryabov YuG, Andreev YuV. Preservation of the health and working capacity of the personnel of modern industrial workplaces and the population by providing comfortable electromagnetic conditions in the human environment. *Tekhnologii Elektromagnitnoy Sovmestimosti*. 2002;(1):3–12. (In Russ.)
6. Khan MW, Juutilainen J, Roivainen P. Registry of buildings with transformer stations as a basis for epidemiological studies on health effects of extremely low-frequency magnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 2020;41(1):34–40. doi: 10.1002/bem.22228
7. Gajšek P, Ravazzani P, Grellier J, Samaras T, Bakos J, Thuróczy G. Review of studies concerning electromagnetic field (EMF) exposure assessment in Europe: Low frequency fields (50 Hz – 100 kHz). *Int J Environ Res Public Health*. 2016;13(9):875. doi: 10.3390/ijerph13090875
8. Sirav B, Sezgin G, Seyhan N. Extremely low-frequency magnetic fields of transformers and possible biological and health effects. *Electromagn Biol Med*. 2014;33(4):302–306. doi: 10.3109/15368378.2013.834447
9. Valič B, Kos B, Gajšek P. Typical exposure of children to EMF: exposimetry and dosimetry. *Radiat Prot Dosimetry*. 2015;163(1):70–80. doi: 10.1093/rpd/ncu057
10. Pedersen C, Johansen C, Schütz J, Olsen JH, Raaschou-Nielsen O. Residential exposure to extremely low-frequency magnetic fields and risk of childhood leukemia, CNS tumours and lymphoma in Denmark. *Br J Cancer*. 2015;113(9):1370–1374. doi: 10.1038/bjc.2015.365
11. Salvan A, Ranucci A, Lagorio S, Magnani C, SETIL Research Group. Childhood leukemia and 50 Hz magnetic fields: findings from the Italian SETIL case-control study. *Int J Environ Res Public Health*. 2015;12(2):2184–2204. doi: 10.3390/ijerph120202184
12. McColl N, Auvinen A, Kesminiene A, et al. European Code against Cancer 4th Edition: Ionising and non-ionising radiation and cancer. *Cancer Epidemiol*. 2015;39(Suppl 1):S93–100. doi: 10.1016/j.canep.2015.03.016

13. Kheifets L, Ahlbom A, Crespi CM, *et al.* Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer*. 2010;103(7):1128–1135. doi: 10.1038/sj.bjc.6605838
14. Kheifets L, Oksuzyan S. Exposure assessment and other challenges in non-ionizing radiation studies of childhood leukaemia. *Radiat Prot Dosimetry*. 2008;132(2):139–147. doi: 10.1093/rpd/ncn260
15. Lyubimova NS, Volkov AB, Martemyanov VA. Electromagnetic safety of buildings. *Tekhnicheskie Nauki – ot Teorii k Praktike*. 2013;(28):158–169. (In Russ.)
16. Kalyada TV, Plekhanov VP. Topicality of monitoring of industrial frequency magnetic fields of 50 Hz in residential and public buildings. *Gigiena i Sanitariya*. 2019;98(6):597–600. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-6-597-600
17. Ryabov YuG, Lomaev HV, Repin AA. Normalization of safe and comfortable conditions in the premises of inhabited and public buildings for electricity factors. *Tekhnologii Elektromagnitnoy Sovmestimosti*. 2019;(4(71)):72–83. (In Russ.)
18. Rozov VYu, Kundius ED, Pelevin DY. Active shielding of external magnetic field of built-in transformer substations. *Electrical Engineering and Electromechanics*. 2020;(3):60–66. (In Russ.) doi: 10.20998/2074-272X.2020.3.04
19. Kandel S, Hareuveny R, Yitzhak NM, Rupp R. Magnetic field measurements near stand-alone transformer stations. *Radiat Prot Dosimetry*. 2013;157(4):619–622. doi: 10.1093/rpd/nct170
20. Çam ST, Fırlar A, Özden S, Canseven AG, Seyhan N. Occupational exposure to magnetic fields from transformer stations and electrical enclosures in Turkey. *Electromagn Biol Med*. 2011;30(2):74–79. doi: 10.3109/15368378.2011.566772
21. Zaryabova V, Shalamanova T, Israel M. Pilot study of extremely low frequency magnetic fields emitted by transformers in dwellings. Social aspects. *Electromagn Biol Med*. 2013;32(2):209–217. doi: 10.3109/15368378.2013.776431
22. Yitzhak NM, Hareuveny R, Kandel S, Rupp R. Time dependence of 50 Hz magnetic fields in apartment buildings with indoor transformer stations. *Radiat Prot Dosimetry*. 2012;149(2):191–195. doi: 10.1093/rpd/ncr226
23. Navarro-Camba EA, Segura-García J, Gomez-Perretta C. Exposure to 50 Hz magnetic fields in homes and areas surrounding urban transformer stations in Silla (Spain): environmental impact assessment. *Sustainability*. 2018;10(8):2641. doi: 10.3390/su10082641
24. Hareuveny R, Kandel S, Yitzhak NM, Kheifets L, Mezei G. Exposure to 50 Hz magnetic fields in apartment buildings with indoor transformer stations in Israel. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2011;21(4):365–371. doi: 10.1038/jes.2010.20
25. Thuróczy G, Jánossy G, Nagy N, Bakos J, Szabó J, Mezei G. Exposure to 50 Hz magnetic field in apartment buildings with built-in transformer stations in Hungary. *Radiat Prot Dosimetry*. 2008;131:469–473.
26. Rösli M, Jenni D, Kheifets L, Mezei G. Extremely low frequency magnetic field measurements in buildings with transformer stations in Switzerland. *Scie Total Environ*. 2011;409:3364–3369.

