



Пальцев Ю.П.<sup>1</sup>, Походзей Л.В.<sup>1,2</sup>, Куриленко Ю.В.<sup>3</sup>, Руднева Е.А.<sup>1</sup>

## Магнитные поля низкочастотных диапазонов на рабочих местах: критерии гигиенической регламентации

<sup>1</sup>ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», 105275, Москва, Россия;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия;

<sup>3</sup>ООО «ПКФ Цифровые приборы», 129281, Москва, Россия

**Введение.** В РФ до настоящего времени в отличие от западных стран не разработаны гигиенические регламенты магнитных полей низкочастотных диапазонов.

**Цель работы** — научное обоснование предельно допустимых уровней магнитных полей в диапазоне от 3 Гц до 30 кГц на рабочих местах.

**Материалы и методы.** Проведён сравнительный анализ отечественной и зарубежной гигиенической нормативно-методической документации, регламентирующей предельно допустимые уровни магнитных полей низкочастотных диапазонов на рабочих местах. При обосновании ПДУ в диапазоне частот от 3 Гц до 30 кГц использован метод расчёта скорректированного значения среднеквадратической напряжённости магнитного поля в декадных полосах частот с учётом его целевых значений для разного времени воздействия.

**Результаты.** Показано, что источники магнитных полей в диапазоне частот от 3 Гц до 30 кГц широко используются в различных сферах деятельности. Проведённый анализ современных отечественных и зарубежных документов, регламентирующих воздействие МП в низкочастотных диапазонах, показал возможность гармонизации гигиенических регламентов. Научно обоснованы ПДУ МП в декадных полосах частот и критерии их гигиенической оценки.

**Заключение.** Выполненные исследования позволили впервые в РФ разработать гигиенические нормативы магнитных полей в диапазоне частот от 3 Гц до 30 кГц на рабочих местах, внедрение которых в практику санэпиднадзора обеспечит проведение адекватного контроля электромагнитной обстановки и сохранение здоровья работников.

**Ключевые слова:** магнитные поля; от 3 Гц до 30 кГц; скорректированная среднеквадратическая напряжённость; предельно допустимые уровни; рабочие места

**Для цитирования:** Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Куриленко Ю.В., Руднева Е.А. Магнитные поля низкочастотных диапазонов на рабочих местах: критерии гигиенической регламентации. *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (5): 436-443. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-436-443>

**Для корреспонденции:** Походзей Лариса Васильевна, доктор мед. наук, вед. науч. сотр. ФГБНУ «НИИ МТ», 105275, Москва. E-mail: Lapokhodzey@yandex.ru

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Участие авторов:** Пальцев Ю.П. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование; Походзей Л.В. — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка материала, написание текста, редактирование; Куриленко Ю.В. — сбор материала и обработка материала, написание текста; Руднева Е.А. — сбор материала и обработка материала. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила 22.03.2021 / Принята к печати 18.05.2021 / Опубликована 15.06.2021

Yury P. Paltsev<sup>1</sup>, Larisa V. Pokhodzey<sup>1,2</sup>, Yury V. Kurilenko<sup>3</sup>, Elena A. Rudneva<sup>1</sup>

## Low-frequency range magnetic fields at workplaces: hygiene regulation criteria

<sup>1</sup>Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, 105275, Russian Federation;

<sup>2</sup>I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, 119991, Russian Federation;

<sup>3</sup>PKF Tsifrovye Pribory, Moscow, 129281, Russian Federation

**Introduction.** Until now, in the Russian Federation, unlike Western countries, hygienic regulations have not been developed for magnetic fields (MF) of low-frequency ranges.

**The aim of the study** is a scientific substantiation of the threshold limit values (TLV) of magnetic fields in the range of 3 Hz - 30 kHz at workplaces.

**Materials and methods.** A comparative analysis of domestic and foreign hygienic normative-methodical documentation regulating the TLV of magnetic fields of low-frequency ranges at workplaces is carried out. When substantiating TLV in the frequency range of 3 Hz - 30 kHz, the method of calculating the corrected value of the RMS MF strength in decadal frequency bands is used, taking into account its target values for different exposure times.

**Results.** MF sources in the frequency range 3 Hz - 30 kHz were shown to be widely used in various areas of activity. The analysis of current domestic and foreign documents regulating the impact of MF in low-frequency bands showed the possibility of harmonizing hygienic regulations. The TLV MP in decadal frequency bands and the criteria for their hygienic assessment are scientifically substantiated.

**Conclusion.** The studies made it possible for the first time in the Russian Federation to develop MF hygienic standards in the frequency range of 3 Hz - 30 kHz at workplaces, the introduction of which into the practice of sanitary and epidemiological supervision will ensure adequate control over the electromagnetic environment and preservation of workers' health.

**Keywords:** magnetic fields; 3 Hz - 30 kHz; corrected value of the RMS magnetic field strength; threshold limit values; workplaces

**For citation:** Paltsev Yu.P., Pokhodzey L.V., Kurilenko Yu.V., Rudneva E.A. Low-frequency range magnetic fields at workplaces: hygiene regulation criteria. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100 (5): 436-443. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-436-443> (In Russ.)

**For correspondence:** Larisa V. Pokhodzey, MD, Ph.D., DSci., leading researcher of the Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, 105275, Russian Federation. E-mail: Lapokhodzey@yandex.ru

**Information about the authors:**Paltsev Yu.P., <https://orcid.org/0000-0002-3999-0457>; Pokhodzey L.V., <https://orcid.org/0000-0003-3561-1605>**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.**Acknowledgment.** The study had no sponsorship.**Contribution of the authors:** *Paltsev Yu.P.* – the concept and design of the study, writing the text, editing; *Pokhodzey L.V.* – the concept and design of the study, the collection and processing of the material, writing a text, editing; *Kurilenko Yu.V.* – the collection and processing of the material, writing a text; *Rudneva E.A.* – the collection and processing of the material. *All co-authors* – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Received: March 22, 2021 / Accepted: May 18, 2021 / Published: June 15, 2021

## Введение

Источники ЭМП получают всё более широкое распространение в различных областях человеческой деятельности, возрастают их мощности, появляются новые режимы генерации. Вместе с тем до настоящего времени в РФ практически отсутствуют гигиенические регламенты магнитных полей (МП) на рабочих местах в целом ряде частотных диапазонов.

В последние десятилетия растёт количество источников МП в диапазоне частот от 3 Гц до 30 кГц (КНЧ-, СНЧ-, ИНЧ- и ОНЧ-диапазоны), тогда как в РФ предельно допустимые уровни МП на рабочих местах установлены только для промышленной частоты (50 Гц) и диапазона 10–30 кГц.

Таким образом, разработка новых гигиенических регламентов МП в диапазоне частот от 3 Гц до 10 кГц и корректировка ПДУ МП в диапазоне 10–30 кГц, гармонизация их с международными рекомендациями является актуальной проблемой медицины труда.

Цель работы – научное обоснование предельно допустимых уровней магнитных полей в диапазоне от 3 Гц до 30 кГц на рабочих местах.

Задачи:

1. Выявление основных источников магнитных полей в диапазоне частот от 3 Гц до 30 кГц.
2. Сравнительный анализ современных отечественных и зарубежных нормативно-методических документов, регламентирующих МП в низкочастотных диапазонах.
3. Выбор критерия оценки магнитных полей в низкочастотных диапазонах.
4. Обоснование гигиенических регламентов МП в диапазоне от 3 Гц до 30 кГц.
5. Разработка требований к проведению гигиенической оценки уровней магнитных полей в диапазоне частот от 3 Гц до 30 кГц.

## Материалы и методы

Проведён сравнительный анализ отечественной и зарубежной гигиенической нормативно-методической документации, регламентирующей предельно допустимые уровни магнитных полей низкочастотных диапазонов на рабочих местах. Для разработки ПДУ в диапазоне частот от 3 Гц до 30 кГц в качестве исходного материала использованы гигиенические нормативы МП для частоты 50 Гц и 10–30 кГц (СанПиН 2.2.4.3359-16) [1] и международные рекомендации (ICNIRP-1998, ICNIRP-2010, Директива 2013/35/ЕС) [2–4]. Использован метод расчёта скорректированного среднеквадратического значения напряжённости магнитного поля в декадных полосах частот с учётом его целевых значений для разного времени воздействия.

## Результаты

Многочисленными научными исследованиями показано, что переменные магнитные поля, включая низкочастотные диапазоны, могут оказывать неблагоприятное влияние на здоровье работников, подвергающихся их систематическому, длительному воздействию [5–10]. Их принято рассматривать как фактор риска при работе с многочисленными источниками, широко применяемыми в различных отраслях промышленности, на транспорте, в медицине, информационно-коммуникационных технологиях.

МП низкочастотных диапазонов характерны для компьютеризированных рабочих мест, где их источниками являются как сами персональные компьютеры, так и импульсные блоки питания, устройства поддержки сети, настольные лампы (50 Гц с гармониками, 20–60 кГц) [11]. Активно внедряются в медицинскую практику магнитно-резонансные томографы, при обслуживании которых персонал может подвергаться воздействию магнитных полей от градиентных катушек (от 5 Гц до 3 кГц и выше) [12]. При эксплуатации систем электроснабжения жилых, промышленных и общественных зданий выявляется наличие сильных гармоник и субгармоник основной частоты 50 Гц (25; 100; 150; 300 Гц), которые в настоящее время не нормируются и не учитываются при гигиенической оценке. Магнитные поля низкочастотных диапазонов (300 Гц с гармониками 600 и 900 Гц, 2–2,6 кГц) регистрируются на рабочих местах при проведении сварки, индукционного нагрева металла, у промышленных электролизёров [13]. Воздействию МП от нескольких герц до 1 кГц могут подвергаться машинисты железнодорожных локомотивов и водители автомобилей [14]. Кроме того, на судах и в авиации используются сети переменного тока частотой 400; 1000 и 6000 Гц. Источники КНЧ и СНЧ магнитных полей широко используются в физиотерапевтических и диагностических целях.

Важно отметить, что низкочастотные диапазоны ЭМП включают частоты, резонансные с рабочими ритмами функциональных систем организма (ритм сердечных сокращений – 1–1,5 Гц, ритмы биоэлектрической активности головного мозга: дельта – 0,5–3 Гц, тета – 4–8 Гц, альфа – 8–12 Гц, бета – 13–30 Гц, ритм биоэлектрической активности мышц (электромиограммы) – 10–1000 Гц) [15].

В соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» [1], оценка и нормирование магнитного поля частотой 50 Гц (МП 50 Гц) и 10–30 кГц на рабочих местах осуществляются по среднеквадратическому значению напряжённости (Н, А/м) в зависимости от времени пребывания работника в поле за смену.

ПДУ напряжённости МП 50 Гц составляет 80 А/м для 8 ч и 1600 А/м для ≤ 1 ч, а в диапазоне частот 10–30 кГц при воздействии в течение всей смены – 50 А/м, ≤ 2 ч – 100 А/м.

За рубежом проблемы гигиенического нормирования ЭМП, в том числе и низкочастотных диапазонов, рассматриваются и решаются в рамках ряда международных и национальных научных организаций.

Международная Комиссия по защите от неионизирующих излучений (ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) в 1998 г. сформулировала общие принципы нормирования и установила контрольные уровни экспозиции (reference levels for exposure) МП (эффективные значения для неискажённых полей) в рассматриваемом диапазоне частот (табл. 1) [2].

В 2010 г. ICNIRP опубликовала новый документ [3], в котором допустимые уровни МП для профессионального воздействия были повышены в 3–10 раз (табл. 2).

В Директиве европейского парламента и совета 2013/35/ЕС [4] предлагается классификация понятий биологической эффективности ЭМП, несколько отличающаяся от ранее имевшейся. Вводятся такие понятия, как «прямые биофизические эффекты» – термические эффекты (нагрев), нетермические эффекты в виде стимуляции мышц, нервов и сенсорных органов, а также токи в конеч-

Таблица 1 / Table 1

**Контрольные уровни профессиональных экспозиций переменных магнитных полей (ICNIRP-1998, [2])**  
Reference levels for exposure to time-varying magnetic fields (ICNIRP-1998, [2])

Диапазон частот Frequency range	Напряжённость магнитного поля, Н (А/м) Magnetic field strength, Н (A/m)	Плотность магнитного потока, В (мкТл) Magnetic flux density, В (μT)
< 1 Гц (Hz)	$1.63 \times 10^5$	$2 \times 10^5$
1–8 Гц (Hz)	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$
8–25 Гц (Hz)	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^4/f$
0,025–0,82 кГц (kHz)	$20/f^*$	$25/f^*$
0,82–2,5 кГц (kHz)	24.4	30.7
2,5–65 кГц (kHz)	24.4	30.7

Примечание. \* f – в кГц.

Note. \* f – in kHz.

ностях. В документе вводятся такие понятия, как «exposure limit values (ELVs)» и «action levels (ALs)». Понятие «exposure limit values» – «предельно допустимых уровней» (ПДУ) воздействия подразумевает величины, установленные на основе биофизических и биологических соображений, в частности на основе научно установленных кратковременных и острых эффектов, в первую очередь тепловых, и электрической стимуляции тканей. Под «health effects ELVs» понимаются «ПДУ влияния на здоровье» как уровни, при превышении которых у работников может отмечаться неблагоприятное влияние ЭМП, в частности нагрев организма или стимуляция нервных и мышечных тканей. Также даётся понятие «ПДУ сенсорных эффектов» как уровней, при превышении которых возможны преходящие нарушения сенсорного восприятия и незначительные изменения функционирования мозга. Понятие «action levels (ALs)» – «действующие уровни» – определяется как эксплуатационные уровни, которые разработаны и представлены в целях упрощения процесса соблюдения действующих ПДУ или в случае необходимости разработки неких профилактических мероприятий. Для магнитных полей низкие ALs связаны с сенсорными эффектами ПДУ, а высокие – с ПДУ влияния на здоровье [5]. В табл. 3 приведены ALs для воздействия магнитных полей частотой от 1 Гц до 10 МГц.

В стандарте 2019 г. IEEE Std C95.1-2019 (Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (0 Hz to 300 GHz) [16], разработанном Международной комиссией по электромагнитной безопасности (IEEE International Committee on Electromagnetic Safety – IEEE, США), приведены значения контрольных уровней воздействия (exposure reference level – ERL) магнитных полей на всё тело, усреднённые за 30-минутный период (табл. 4).

В 2020 г. Американская Ассоциация государственных промышленных гигиенистов (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists – ACGIH) выпустила документ [17], в котором также представлены предельно допустимые уровни магнитных полей (Threshold Limit Values – TLVs), усреднённые за 6-минутный период (табл. 5).

В табл. 6 представлена сравнительная характеристика предельно допустимых значений напряжённости МП от 3 Гц до 30 кГц на рабочих местах в зарубежных нормативно-методических документах (НМД).

Как видно из табл. 6, с 1998 по 2020 г. прослеживается явная тенденция к увеличению предельно допустимых уровней МП на рабочих местах, что может привести к снижению защиты работников от их неблагоприятного воздействия.

Проведённый сравнительный анализ отечественных и зарубежных нормативно-методических документов,

Таблица 2 / Table 2

**Контрольные уровни профессиональных экспозиций переменных магнитных полей (ICNIRP-2010, [3])**  
Reference levels for occupational exposure to time-varying magnetic fields (ICNIRP-2010, [3])

Диапазон частот Frequency range	Напряжённость магнитного поля, Н (А/м) Magnetic field strength, Н (A/m)	Плотность магнитного потока, В (Тл) Magnetic flux density, В (T)
1–8 Гц (Hz)	$1.63 \times 10^5/f^2$	$0,2/f^2$
8–25 Гц (Hz)	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^{-2}/f$
25–300 Гц (Hz)	$8 \times 10^2$	$1 \times 10^{-3}$
300 Гц (Hz) – 3 кГц (kHz)	$2.4 \times 10^5/f^*$	$0.3/f^*$
3 кГц (kHz) – 10 МГц (MHz)	80	$1 \times 10^{-4}$

Примечание. Здесь и в табл. 3: \* f – в Гц.

Note. Here and in Table 3: \* f – in Hz.

Таблица 3 / Table 3

**ALs для профессионального воздействия магнитных полей (Директива 2013/35/ЕС)**

**ALs for occupational exposure to time-varying magnetic fields (Directive 2013/35/EU)**

Диапазон частот Frequency range	ALs для плотности магнитного потока, В (мкТл) ALs for Magnetic flux density, В (μT)	
	низкие low	высокие high
$1 \leq f < 8$ Гц (Hz)	$2 \times 10^5/f^2$	$3 \times 10^5/f$
$8 \leq f < 25$ Гц (Hz)	$2.5 \times 10^4/f$	$3 \times 10^5/f$
$25 \leq f < 300$ Гц (Hz)	$1 \times 10^3$	$3 \times 10^5/f$
$300 \leq f < 3000$ Гц (Hz)	$3 \times 10^5/f$	$3 \times 10^5/f$
$3 \text{ кГц (kHz)} \leq f < 10 \text{ МГц (10 MHz)}$	$1 \times 10^2$	$1 \times 10^2$

Таблица 4 / Table 4

**Контрольные уровни профессионального воздействия переменных МП**

**Reference levels for occupational exposure to time-varying magnetic fields (IEEE Std C95.1-2019)**

Диапазон частот, Гц Frequency range, Hz	Плотность магнитного потока, В (мТл) Magnetic flux density, В (mT)	Напряжённость магнитного поля, Н (А/м) Magnetic field strength, Н (A/m)
0.153–20	$54.3/f$	$4.32 \times 10^4/f$
20–751	2.71	$2.16 \times 10^3$
$751–3.35 \times 10^3$	$2060/f$	$1.64 \times 10^6/f$
$3.35 \times 10^3–5 \times 10^6$	0.615	490

Таблица 5 / Table 5

**ПДУ МП при профессиональном воздействии**

**TLVs time-varying magnetic fields for occupational exposure (ACGIH-2020)**

Диапазон частот Frequency range	ПДУ магнитной индукции, В (мТл) Magnetic flux density TLVs, В (mT)
1–300 Гц (Hz)	$60/f$
300 Гц (Hz)– 30 кГц (kHz)	0.2

Таблица 6 / Table 6

**Предельно допустимые значения напряжённости магнитных полей при профессиональном воздействии**  
**Threshold Limit Values of the strength of the magnetic field under occupational exposure**

Диапазон частот Frequency range	ПДУ Н (А/м) TLVs H (A/m)				Директива 2013/35/ЕС Directive 2013/35/EU	
	ICNIRP-1998	ICNIRP-2010	ACGIH-2020	IEEE Std C.95.1-2019	низкие	высокие
					low	high
3–30 Гц (Hz)	18 111–667	18 111–800	16 000–1600	14 400–2160	18 111–800	80 000–8000
30–300 Гц (Hz)	667–66.7	800	1600–160	2160	800	8000–800
0.3–3 кГц (kHz)	66.7–24.4	800–80	160	2160–546	800–80	800–80
3–30 кГц (kHz)	24.4	80	160	546–490	80	80

регламентирующих МП от 1 Гц до 30 кГц на рабочих местах, показал наличие расхождений как в нормируемых диапазонах и параметрах, так и в значениях ПДУ. Следует отметить, что документы ICNIRP и Европейского союза фактически устанавливают нормативы для гармонических, неискажённых магнитных полей определённой частоты. Это означает, что для полей, имеющих иную природу, необходимо проводить частотный анализ и сравнивать с нормативом каждую частотную компоненту поля.

Такой подход противоречит принятому в нашей стране, где гигиеническое нормирование ЭМП осуществляется для широких полос частот.

По аналогии с действующими нормативами ЭМП в диапазоне частот от 30 кГц до 300 ГГц предлагается устанавливать ПДУ МП в декадных полосах частот: 3–30; 30–300; 300–3000 Гц и 3–30 кГц на основе одночисловых интегральных показателей.

В диапазоне от 3 Гц до 30 кГц развитие биоэффектов магнитных полей обусловлено не только их напряжённостью/индукцией и временем воздействия, но и частотой. Поэтому предлагается устанавливать гигиенический норматив в каждой декаде для усреднённого по частоте среднеквадратического значения напряжённости МП, скорректированного с учётом весовых коэффициентов («корректированная напряжённость»).

Корректированная напряжённость является интегральной энергетической характеристикой, учитывающей эффект частотной зависимости биологического действия магнитного поля. Корректированная напряжённость представляет собой величину напряжённости магнитного поля, усреднённую по частоте на интервале нормируемого диапазона (декады) с учётом весовых коэффициентов (частотной кор-

рекции), характеризующих частотную зависимость степени воздействия поля на человеческий организм.

Среднеквадратическая корректированная напряжённость МП ( $H_w$ ) определяется соотношением:

$$H_w (A/m) = A_D \sqrt{\sum_{i=1}^N w(f_i)^2 H_i^2}, \quad (1)$$

где  $H_i$  – напряжённость гармонической составляющей магнитного поля в А/м для частоты  $f_i$ ;  $w(f_i)$  – весовой коэффициент;  $A_D$  – декадный нормировочный множитель.

Суммирование проводится по всем дискретным компонентам внутри соответствующей декадной полосы частот.

Значения декадных множителей AD и весовых коэффициентов  $w(f)$  в соответствующих декадных полосах частот приведены в табл. 7.

Для частот, не указанных в табл. 6, весовые коэффициенты могут быть рассчитаны по формуле:

$$w(f) = \sqrt{\frac{1}{1 + \left[\frac{2000}{f}\right]^2}} \quad (2)$$

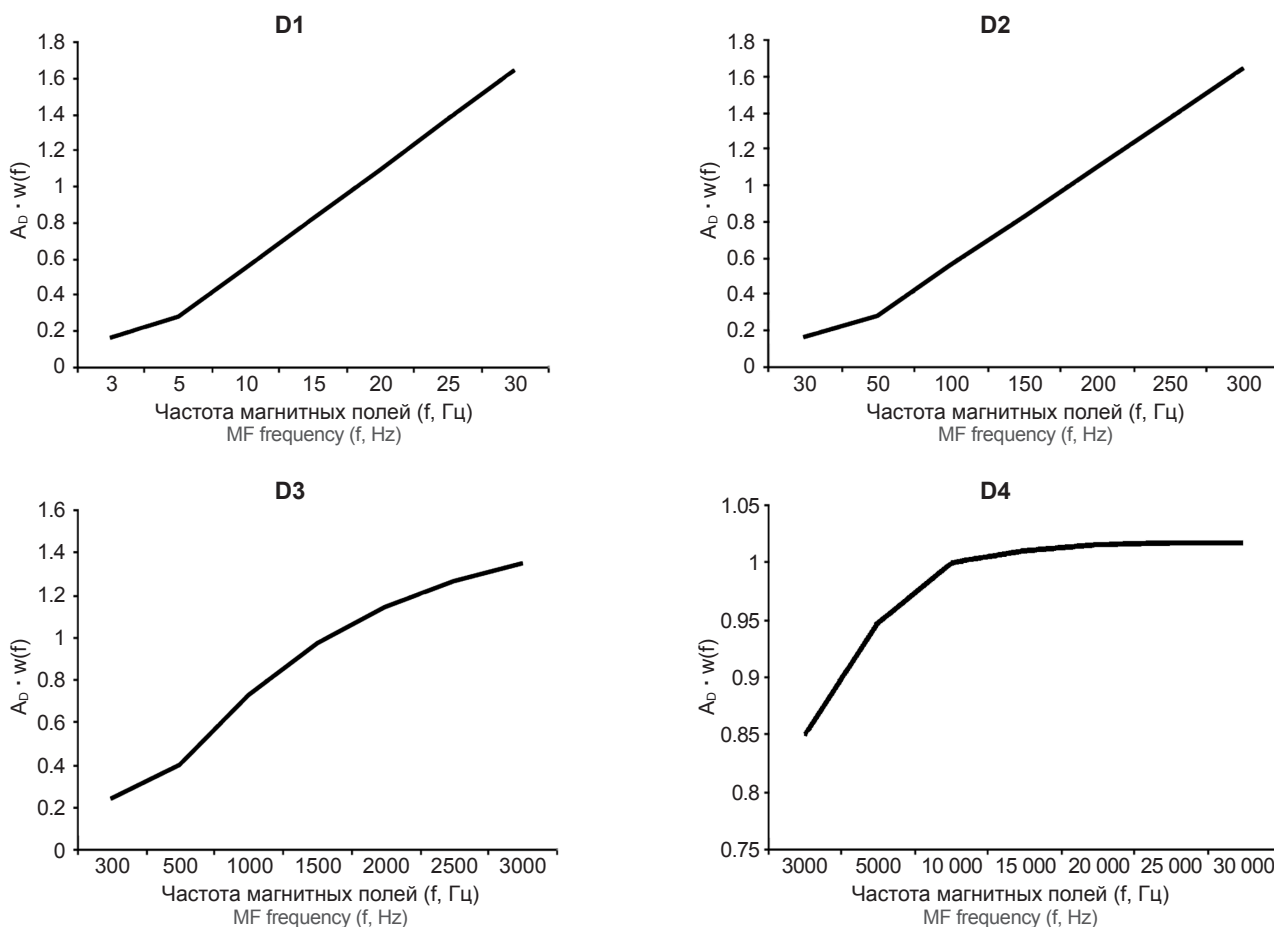
На рисунке представлены графики этих частотных коррекций как функция частоты. В декадах 3–30 и 30–300 Гц весовые коэффициенты прямо пропорциональны частоте  $f$ . В декаде 300–3000 Гц наблюдается гладкий переход от прямой пропорциональности  $f$  к константе, а в декаде 3–30 кГц частотная коррекция выходит на константу, то есть корректированная напряжённость в этой полосе частот будет с хорошей точностью совпадать с напряжённостью синусоидального поля.

Таблица 7 / Table 7

**Коэффициенты частотной коррекции в декадах**  
**Frequency correction factors in decades**

Диапазон частот Frequency range	$A_D$	Весовые коэффициенты w(f) Weight coefficients w(f)						
		3 Гц (Hz)	5 Гц (Hz)	10 Гц (Hz)	15 Гц (Hz)	20 Гц (Hz)	25 Гц (Hz)	30 Гц (Hz)
3–30 Гц (Hz)	109	0.0015	0.0025	0.005	0.0075	0.01	0.0125	0.015
		30 Гц (Hz)	50 Гц (Hz)	100 Гц (Hz)	150 Гц (Hz)	200 Гц (Hz)	250 Гц (Hz)	300 Гц (Hz)
30–300 Гц (Hz)	11	0.015	0.025	0.05	0.075	0.1	0.124	0.15
		300 Гц (Hz)	500 Гц (Hz)	1000 Гц (Hz)	1500 Гц (Hz)	2000 Гц (Hz)	2500 Гц (Hz)	3000 Гц (Hz)
300–3000 Гц (Hz)	1.62	0.15	0.24	0.45	0.6	0.7	0.78	0.83
		3 кГц (kHz)	5 кГц (kHz)	10 кГц (kHz)	15 кГц (kHz)	20 кГц (kHz)	25 кГц (kHz)	30 кГц (kHz)
3–30 кГц (kHz)	1.02	0.83	0.93	0.98	0.99	1.0	1.0	1.0





Частотная коррекция в декадных полосах 3–30 Гц (D1); 30–300 Гц (D2); 300–3000 Гц (D3), 3–30 кГц (D4).  
Frequency correction in decade bands 3–30 Hz (D1), 30–300 Hz (D2), 300–3000 Hz (D3), 3–30 kHz (D4).

При выборе частотной коррекции учитывались два фактора:

- частотная обусловленность воздействия магнитных полей на человека, представленная в том числе в международных рекомендациях;
- конструктивные ограничения, связанные с возможностью метрологического обеспечения измерений, функциональными возможностями эталонов и анализаторов спектра.

Найденное решение позволяет выполнять одночисловую гигиеническую оценку воздействия магнитного поля с учётом частотной зависимости в широком диапазоне амплитуд.

В основу разработки ПДУ в диапазоне от 3 Гц до 30 кГц были положены действующие в РФ гигиенические регламенты МП промышленной частоты 50 Гц и диапазона частот 10–30 кГц [1] и рекомендации ICNIRP-1998 [2] как наиболее жёсткие по сравнению с другими международными рекомендациями по защите от неионизирующих излучений.

Предельно допустимые уровни напряжённости/индукции МП устанавливаются с учётом времени воздействия: в течение всей рабочей смены – 8 ч (среднесменные) и кратковременного воздействия – 0,2 ч (максимальные).

Для каждой декады были определены целевые значения некорректированной напряжённости для характерных частот. Исходя из этого, определялись ПДУ для скорректированной напряжённости таким образом, чтобы обеспечить соблюдение целевых значений.

В декаде 3–30 кГц установлены целевые значения напряжённости МП – 10 А/м (для 8 ч) и 25 А/м (0,2 ч). Эти величины существенно ниже принятых в настоящий момент российских нормативов для диапазона 10–30 кГц. На столь существенное снижение пришлось пойти с учётом рекомендаций ICNIRP (24,4 А/м).

В табл. 8 представлены величины напряжённости монохроматических синусоидальных МП, соответствующих предельным значениям скорректированной напряжённости.

Как видно из табл. 8, напряжённость синусоидального МП хорошо согласуется с целевыми значениями.

Для монохроматических полей предельные значения скорректированной напряжённости будут достигаться при ещё более низких уровнях напряжённости МП, то есть дан-

Таблица 8 / Table 8

**Результаты расчётов напряжённостей синусоидальных МП, соответствующих предельным значениям скорректированной напряжённости в декаде 3–30 кГц**

The results of calculating the strengths of sinusoidal MF corresponding to the limiting values of the corrected strength in a decade of 3–30 kHz

Частота F, Гц Frequency, Hz	Напряжённость синусоидального МП (А/м), соответствующая $H_w = 10$ А/м (25 А/м) Strength of the sinusoidal MF (A/m), corresponding to $H_w = 10$ A/m (25 A/m)	Целевое значение напряжённости МП (А/м) для данной декады для 8 ч (0,2 ч) Target value of the strength of MF (A/m) for this decade for 8 h (0.2h)	Напряжённость МП (А/м) Strength of MF (A/m) (ICNIRP-1998)
5000	10.57 (29.5)	10 (25)	24.4
10 000	10.01 (26.4)	10 (25)	24.4
15 000	9.9 (25)	10 (25)	24.4
20 000	9.86 (24.8)	10 (25)	24.4
25 000	9.84 (24.6)	10 (25)	24.4

Таблица 9 / Table 9

Результаты расчётов напряжённостей синусоидальных МП, соответствующих предельным значениям скорректированной напряжённости в декаде 300–3000 Гц

The results of calculating the strengths of sinusoidal MF corresponding to the limiting values of the corrected strength in a decade of 300–3000 Hz

Частота F, Гц Frequency, Hz	Напряжённость синусоидального МП (А/м), соответствующая $H_w = 10$ А/м (25 А/м) Strength of the sinusoidal MF (A/m), corresponding to $H_w = 10$ A/m (25 A/m)	Целевое значение напряжённости МП (А/м) для данной декады для 8 ч (0.2 ч) Target value of the strength of MF (A/m) for this decade for 8 h (0.2h)	Напряжённость МП (А/м) Strength of MF (A/m) (ICNIRP-1998)
500	25.5 (64)	–	40.0
1000	13.8 (35)	–	24.4
1500	10.3 (25.8)	10 (25)	24.4
2000	8.7 (21.9)	10 (25)	24.4
2500	7.9 (19.8)	10 (25)	24.4

Таблица 10 / Table 10

Результаты расчётов напряжённостей синусоидальных МП, соответствующих предельным значениям скорректированной напряжённости в декаде 30–300 Гц

The results of calculating the strengths of sinusoidal MF corresponding to the limiting values of the corrected strength in a decade of 30–300 Hz

Частота F, Гц Frequency, Hz	Напряжённость синусоидального МП (А/м), соответствующая $H_w = 55$ А/м (270 А/м) Strength of the sinusoidal MF (A/m), corresponding to $H_w = 55$ A/m (270 A/m)	Целевое значение напряжённости МП (А/м) для данной декады для 8 ч (0.2 ч) Target value of the strength of MF (A/m) for this decade for 8 h (0.2h)	Напряжённость МП (А/м) Strength of MF (A/m) (ICNIRP-1998)
30	333 (1636)	133 (665)	667
50	199.3 (928)	80 (400)	400
100	99.8 (490)	40 (200)	200
150	66.7 (327)	27 (135)	133
200	50.1 (245)	20 (100)	100
250	40.2 (197)	16 (80)	80

ний пример можно рассматривать в качестве предельного наихудшего случая.

В декаде 300–3000 Гц рекомендации ICNIRP по предельным значениям напряжённости МП имеют частотную зависимость. Поэтому целевые значения напряжённости МП относятся здесь к центральной частоте декады (табл. 9). Среднесменные (8 ч) и максимальные (0,2 ч) целевые значения установлены аналогично декаде 3–30 кГц и соответствуют рекомендациям ICNIRP. Уровни напряжённости монохроматических магнитных полей, соответствующие предельным значениям скорректированной напряжённости, в целом соответствуют целевым значениям.

ПДУ среднесменных и максимальных значений скорректированной напряжённости МП для декады 30–300 Гц (табл. 10) рассчитаны из условия, что напряжённости на частоте 50 Гц (100; 150; 200; 250 Гц) соответствуют целевым значениям, равным: 4000 [А/м]/[Гц] – для среднесменного ПДУ, 20 000 [А/м]/[Гц] – для максимального ПДУ.

Следует отметить, что в этой декаде необходимо контролировать соблюдение двух нормативов одновременно: ПДУ скорректированной среднеквадратической напряжён-

Таблица 11 / Table 11

Результаты расчётов напряжённостей синусоидальных МП, соответствующих предельным значениям скорректированной напряжённости в декаде 3–30 Гц

The results of calculating the strengths of sinusoidal MF corresponding to the limiting values of the corrected strength in a decade of 3–30 Hz

Частота F, Гц Frequency, Hz	Напряжённость синусоидального МП (А/м), соответствующая $H_w = 200$ А/м (1000 А/м) Strength of the sinusoidal MF (A/m), corresponding to $H_w = 200$ A/m (1000 A/m)	Целевое значение напряжённости МП (А/м) для данной декады для 8 ч (0.2 ч) Target value of the strength of MF (A/m) for this decade for 8 h (0.2h)	Напряжённость МП (А/м) Strength of MF (A/m) (ICNIRP-1998)
5	735.3 (3676)	800 (4000)	6520
10	367 (1835)	400 (2000)	2000
15	244.8 (1224)	267 (1335)	1333
20	183.5 (917.5)	200 (1000)	1000
25	146.8 (734)	160 (800)	800

Таблица 12 / Table 12

Предельно допустимые уровни среднеквадратического скорректированного значения напряжённости магнитного поля в диапазоне частот от 3 Гц до < 30 кГц на рабочих местах

Threshold Limit Values of the corrected value of the RMS magnetic field strength in the frequency range 3 Hz – < 30 kHz at workplaces

Диапазон частот Frequency range		ПДУ H (А/м) TLVs H (A/m)	
		8 ч / 8 h	0.2 ч / 0.2 h
От 3 до < 30 Гц	From 3 up to < 30 Hz	200	1000
От 30 до < 3000 Гц*	From 30 up to < 300 Hz*	55	270
От 300 до < 3000 Гц	From 300 up to < 3000 Hz	10	25
От 3 до < 30 кГц	From 3 up to < 30 kHz	10	25

Примечание. \* – ПДУ синусоидальных МП частотой 50 Гц устанавливаются в соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16.

Note. \* – Remote controls for sinusoidal MPs with a frequency of 50 Hz are set in accordance with Sanitary norms and rules (SanPiN) 2.2.4.3359-16.

ности МП в полосе частот 30–300 Гц и ПДУ напряжённости периодического (синусоидального) МП частотой 50 Гц. Таким образом, новый нормируемый параметр – скорректированная напряжённость МП позволит при нормировании учитывать гармоники частоты 50 Гц и иных промышленных частот.

В декаде 3–30 Гц максимальные целевые значения для напряжённости МП совпадают с рекомендациями ICNIRP-1998 (табл. 11). Среднесменные (8 ч) нормативы установлены на уровне 1/5 ввиду повышенного риска возникновения резонансных явлений [12].

Как видно из табл. 11, уровни напряжённости монохроматического поля, соответствующего предельным значениям скорректированной напряжённости, не превышают целевых значений и в целом соответствуют рекомендациям ICNIRP-1998.

В табл. 12 представлены ПДУ среднеквадратической скорректированной напряжённости МП в декадных полосах частот 3–30; 30–300; 300–3000 Гц, 3–30 кГц для условий воздействия в течение 8 и 0,2 ч, рассчитанные на основе их целевых значений, установленных с учётом требований отечественных и зарубежных гигиенических нормативных документов.

Гигиеническая оценка магнитной обстановки при одно-временном воздействии на работника МП в частотных диапазонах, для которых установлены разные ПДУ, должна проводиться с учётом следующего условия:

$$\sum_{f=3\Gamma\text{ч}}^{30\text{кГц}} \frac{H_f}{H_{\text{ПДУ}f}} \leq 1$$

где  $H_f$  – измеренные значения скорректированных среднеквадратических напряжённостей магнитного поля в декадной полосе частот;  $H_{\text{ПДУ}f}$  – предельно допустимые значения скорректированных среднеквадратических напряжённостей магнитного поля в декадной полосе частот.

## Обсуждение

До настоящего времени в РФ отсутствуют утвержденные Роспотребнадзором нормативные документы, регламентирующие предельно допустимые уровни МП в целом ряде низкочастотных диапазонов, а имеющиеся нормативы установлены для гармонических, неискажённых МП 50 Гц и 10–30 кГц, что в ряде случаев не позволяет обеспечить адекватный контроль за электромагнитной обстановкой на многочисленных рабочих местах.

Предложенный нами, новый для практики гигиенического нормирования ЭМП в РФ, критерий – скорректированная среднеквадратическая напряжённость МП позволил обосновать ПДУ в декадных полосах частот 3–30 Гц, 30–300 Гц, 300–3000 Гц, 3–30 кГц на основе гармонизации отечественных и зарубежных нормативно-методических документов. Следует отметить, что аналогичный подход используется при гигиеническом нормировании ряда других физических факторов, в частности, вибрации [18]. Применение прин-

ципа частотной коррекции напряженности поля для оценки его воздействия на человека предусмотрено и в руководстве по практике применения Директивы 2013/35/ЕС (методы D 3.1.1 и D 3.1.2) [19].

Данная работа является продолжением научных исследований, проводимых в ФГБНУ НИИ медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова в последние годы, результаты которых были представлены в целом ряде публикаций [20, 21] и проекте СанПиН [22], разработанном ещё в 2014 г. К сожалению, до настоящего времени наши предложения не нашли своего отражения ни в уже отменённом СанПиН 2.2.4.3359-16, ни в вошедшем в действие с 01.03.21 СанПиН 1.2.3685-21 [23], что лишает возможности на территории РФ защитить работников от неблагоприятного воздействия МП данного диапазона частот.

## Заключение

1. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных гигиенических нормативно-методических документов, устанавливающих ПДУ магнитных полей в диапазоне частот от 3 Гц до 30 кГц на рабочих местах, показал возможность их гармонизации.

2. Научно обоснованы ПДУ магнитных полей в декадных полосах частот 3–30; 30–300; 300–3000 Гц, 3–30 кГц.

3. В качестве критерия гигиенического нормирования и оценки низкочастотных магнитных полей предложен новый параметр – скорректированная среднеквадратическая напряжённость.

4. Внедрение разработанных гигиенических нормативов в практику санэпиднадзора обеспечит проведение адекватного контроля электромагнитной обстановки и сохранение здоровья работников.

## Литература

(п.п. 2–4, 6–10, 13, 14, 16, 17, 19 см. References)

- СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. М.; 2016.
- Рубцова Н.Б. Электромагнитные поля производственной и окружающей среды как фактор риска для здоровья человека и пути его снижения. *Здоровье и окружающая среда*. 2014; 1(24): 20–5.
- Походзей Л.В., Пальцев Ю.П., Руднева Е.А. Гигиеническая оценка электромагнитной обстановки на компьютеризированных рабочих местах: история и современное состояние. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(11): 1196–200. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1196-1200>
- Походзей Л.В., Руднева Е.А., Пальцев Ю.П., Курьеров Н.Н. Особенности электромагнитной и шумовой обстановки на рабочих местах персонала отделений МРТ: проблемы гигиенического нормирования и контроля. *Медицина труда и промышленная экология*. 2020; 60(9): 575–82. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-575-582>
- Илларионов В.Е. *Научно-практические основы информационной медицины*. М.; 2010.
- ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997). Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования. М.; 2008.
- Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Рубцова Н.Б., Богачева Е.В. Совершенствование и гармонизация гигиенических нормативов электрических и магнитных полей. *Медицина труда и промышленная экология*. 2013; (2): 5–8. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18864827>
- Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Лазаренко Н.В., Клещенок О.И. Совершенствование и гармонизация гигиенических регламентов электромагнитных полей. В кн.: *Актуальные проблемы медицины труда. Сборник трудов института*. Москва; 2012: 89–113. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21277538>
- Проект постановления главного санитарного врача РФ «Об утверждении СанПиН 2.2.4./2.1.8.... -14 «Гигиенические требования к физическим факторам производственной и окружающей среды» (приложение). Доступно на: <https://docs.cntd.ru/document/499093974>
- СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400174954/>

## References

- SanPiN 2.2.4.3359-16. Sanitary and epidemiological requirements for physical factors in the workplace. Moscow; 2016. (in Russian)
- ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz). *Health Phys*. 1998; 74(4): 494–522.
- ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Phys*. 2010; 99(6): 818–36. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181f06c86>
- Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20<sup>th</sup> individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC. Official Journal of the European Union, L179/1-179/21; 2013.
- Rubtsova N.B. Occupational and environmental electromagnetic fields as a risk factor for human health and ways to reduce. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda*. 2014; 1(24): 20–5. (in Russian)
- Pedersen C., Poulsen A.H., Rod N.H., Frei P., Hansen J., Grell K., et al. Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and risk for central nervous system disease: an update of a Danish cohort study among utility workers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*. 2017; 90 (7): 619–28. <https://doi.org/10.1007/s00420-017-1224-0>
- Gunnarsson L.G., Bodin L. Occupational exposures and neurodegenerative diseases — a systematic literature review and meta-analyses. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2019; 16(3): 337. <https://doi.org/10.3390/ijerph16030337>
- Jalilian H., Gorjizadeh O., Zamanian Z., Hajizadeh Z., Rössli M., Monazzam M.R., et al. Occupational exposure to magnetic fields and the risk of somatic and psychological symptoms among sewing machine operators. *Int. J. Environ. Health*. 2019; 9(4): 327–42.
- Bagheri Hosseinabadi M., Khanjani N., Hossein Ebrahimi M., Mousavi S.H., Nazarkhani F. Investigating the effects of exposure to extremely low frequency electromagnetic fields on job burnout syndrome and the severity of

## Original article

- depression; the role of oxidative stress. *J. Occup. Health*. 2020; 62(1): e12136. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12136>
10. Juutilainen J., Herrala M., Luukkonen J., Naarala J., Hore P.J. Magnetocarcinogenesis: is there a mechanism for carcinogenic effects of weak magnetic fields? *Proc. R. Soc.* 2018; 285(1879): 20180590. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.0590>
  11. Pokhodzey L.V., Pal'tsev Yu.P., Rudneva E.A. Electromagnetic conditions hygienic assessment at workplaces with personal computers: history and present status. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(11): 1196–200. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1196-1200> (in Russian)
  12. Pokhodzey L.V., Rudneva E.A., Pal'tsev Yu.P., Kur'erov N.N. Features of electromagnetic and noise environment in the workplace of the staff of MRI departments: problems of hygienic regulation and control. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2020; 60(9): 575–82. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-575-582> (in Russian)
  13. Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2013/35/EU. Electromagnetic fields. *Case Studies*. 2014; 2. <https://doi.org/210.2767/97726>
  14. Contessa G.M., Falsaperla R., Brugaletta V., Rossi P. Exposure to magnetic fields of railway engine drivers: a case study in Italy. *Radiat. Prot. Dosimetry*. 2010; 142(2-4): 160–7. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncq270>
  15. Illarionov V.E. *Scientific and Practical Foundations of Information Medicine [Nauchno-prakticheskie osnovy informatsionnoy meditsiny]*. Moscow; 2010. (in Russian)
  16. IEEE Std C95.1TM-2019. IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to electric, magnetic, and electromagnetic fields, 0 Hz to 300 GHz. Available at: [https://standards.ieee.org/standard/C95\\_1-2019.html](https://standards.ieee.org/standard/C95_1-2019.html).
  17. ACGIH T.L.V. Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. USA: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2020.
  18. GOST 31191.1-2004 (ISO 2631-1:1997). Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements (MOD). Moscow; 2008. (in Russian)
  19. Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2013/35/EU Electromagnetic Fields Volume 1: Practical Guide. European Union; 2015. <https://doi.org/10.2767/961464>
  20. Paltsev Yu.P., Pokhodzey L.V., Rubtsova N.B., Bogatchova E.V. Improving and harmonizing hygienic regulation for electric and magnetic fields. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2013; 2: 5–8. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18864827> (in Russian)
  21. Paltsev Yu.P., Pokhodzey L.V., Rubtsova N.B., Perov S.Yu., Lazarenko N.V., Kleshchenok O.I. Improvement and harmonization of hygienic regulations for electromagnetic fields. In: *Aktual'nyye problemy meditsiny truda. Sbornik trudov instituta [Actual problems of occupational medicine. Proceedings of the Institute]*. Moscow; 2012: 89–113. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21277538> (in Russian)
  22. Draft decree of the chief sanitary doctor of the Russian Federation “On the approval of SanPiN 2.2.4./2.1.8 .... -14 “Hygienic requirements for physical factors of the working and environment” (appendix). Available at: <https://docs.cntd.ru/document/499093974> (in Russian)
  23. SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness to humans of environmental factors. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400174954/>