

© Коллектив авторов, 2023

УДК 613.693



Гигиенические исследования электромагнитной обстановки на рабочих местах при эксплуатации наземных средств радионавигации и посадки воздушных судов

*В.Н. Никитина, Н.И. Калинина, 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. Развитие средств навигационного обеспечения полетов проходит в обстановке постоянно возрастающей интенсивности воздухоплавания, усиления требований к точности, объему, надежности навигационной информации, оперативности ее обработки. Идет процесс непрерывного совершенствования средств радиотехнического обеспечения безопасности полетов, что ставит задачи оценки электромагнитной обстановки на рабочих местах персонала, обслуживающего современное оборудование.

Цель исследования: выполнить исследование и гигиеническую оценку электромагнитной обстановки на рабочих местах персонала, осуществляющего обслуживание и эксплуатацию современных средств радионавигации и посадки воздушных судов.

Материалы и методы. Исследования проведены на трех объектах гражданской авиации (двух аэропортах и аэродроме) в 2021–2022 гг. Определялся состав, технические характеристики оборудования, режимы его работы, параметры радиочастотных сигналов. Проводились измерения уровней электромагнитных полей на рабочих местах. Для измерения использован измеритель уровней электромагнитных излучений ПЗ-42.

Результаты. Персонал подвергается воздействию многочастотных модулированных электромагнитных полей различной интенсивности. При эксплуатации глиссидных и курсовых радиомаяков, радиопередающих устройств на рабочих местах диспетчеров не создаются уровни плотности потока энергии и напряженности электрического поля, превышающие гигиенические нормативы. В помещениях аппаратных дальних и ближних приводных маяков при эксплуатации приводной автоматической радиостанции зарегистрировано превышение гигиенических нормативов напряженности электрического поля средневолнового диапазона, установленных для 8-часового рабочего дня; на территории излучение от антенн не превышало максимальные предельно допустимые уровни.

Заключение. Профессиональная деятельность персонала, обслуживающего современные средства радионавигации и посадки воздушных судов, осуществляется в условиях сложной электромагнитной обстановки. Специфической особенностью условий труда является воздействие на организм многочастотных, модулированных электромагнитных полей различной интенсивности и продолжительности воздействия. Указанные характеристики радиочастотных сигналов являются существенными биотропными параметрами, влияющими на формирование ответных реакций организма. При выборе приборов – измерителей уровней электромагнитных полей необходимо учитывать параметры модуляции радиочастотных сигналов.

Ключевые слова: электромагнитные поля, электромагнитная безопасность, электромагнитная обстановка, авиация.

Для цитирования: Никитина В.Н., Калинина Н.И., Дубровская Е.Н., Плеханов В.П. Гигиенические исследования электромагнитной обстановки на рабочих местах при эксплуатации наземных средств радионавигации и посадки воздушных судов // Здоровье населения и среда обитания. 2023. Т. 31. № 5. С. 70–77. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-5-70-77>

Hygienic Studies of Electromagnetic Fields in the Work Environment during Operation of Ground-Based Radio Navigation and Aircraft Landing

*Valentina N. Nikitina, Nina I. Kalinina, Ekaterina N. Dubrovskaya, Vladimir P. Plekhanov**Northwest Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation*

Summary

Introduction: The development of navigation support for flights takes place in an environment of constantly increasing intensity of aeronautics, stricter requirements for accuracy, volume, and reliability of navigation information, efficiency of its processing. Radio navigation aids are improving, thus necessitating assessment of the electromagnetic situation at the workplaces of the personnel servicing modern equipment.

Objective: To study and assess electromagnetic fields in the work environment of personnel engaged in the maintenance and operation of modern means of radio navigation and aircraft landing.

Materials and methods: The research was carried out at three civil aviation facilities (two airports and an airfield) in 2021–2022. We established the composition, technical characteristics of the equipment, its operating modes, and parameters of radio frequency signals and measured the levels of electromagnetic fields at workplaces using the PZ-42 electromagnetic radiation level meter.

Results: The personnel are exposed to multi-frequency modulated electromagnetic fields of varying intensity. During the operation of glide and course radio beacons, radio transmitting devices at the dispatchers' workplaces, levels of energy flux density and electric field strength exceeding hygienic standards are not created. In the premises of the hardware remote and near drive beacons, during the operation of the drive automatic radio station, an excess of the hygienic standards for the intensity of the electric field of the medium-wave range established for an 8-hour working day was registered; in the territory, the radiation from the antennas did not exceed the maximum permissible levels.

Conclusions: The professional activity of the personnel servicing modern means of radio navigation and aircraft landing is carried out in a complex electromagnetic environment. A specific feature of working conditions is the effect on the body of multi-frequency, modulated electromagnetic fields of varying intensity and duration of exposure. These characteristics of radio frequency signals are essential adverse parameters that affect the formation of body responses. When choosing devices measuring the levels of electromagnetic fields, it is necessary to take into account the modulation parameters of radio frequency signals.

Keywords: electromagnetic fields, electromagnetic safety, electromagnetic environment, aviation.

For citation: Nikitina VN, Kalinina NI, Dubrovskaya EN, Plekhanov VP. Hygienic studies of electromagnetic fields in the work environment during operation of ground-based radio navigation and aircraft landing. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2023;31(5):70–77. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-5-70-77>

Введение. На объектах гражданской авиации для радиотехнического обеспечения полетов используются средства наблюдения, радионавигации и посадки, авиационной электросвязи, средства автоматизации управления воздушным движением¹. В зависимости от целей и направления, в котором используется летательный аппарат, применяются различные навигационные системы. Аэропорты являются важными стратегическими объектами транспортной инфраструктуры страны, требующими современного оснащения. Федеральным проектом «Развитие региональных аэропортов и маршрутов» запланирована модернизация 48 аэродромных комплексов². Анализ литературных данных показывает, что в последние годы значительное число опубликованных работ было посвящено организации приаэродромных территорий. В исследованиях обсуждаются вопросы организации санитарно-защитных зон с учетом, прежде всего, авиационного шума [1–5]. Проводится анализ проектных решений по установлению приаэродромной территории по электромагнитному фактору [6]. Однако опубликовано ограниченное число работ, посвященных оценке электромагнитных полей (ЭМП) на рабочих местах персонала, обслуживающего многочисленное обслуживание радиотехнического обеспечения полетов. Наиболее детальные исследования уровней ЭМП и других сопутствующих неблагоприятных факторов на рабочих местах персонала, обслуживающего средства радиолокации, радионавигации и связи в аэропортах гражданской авиации, были выполнены в 2003 году сотрудниками НИИ медицины труда РАМН³. Развитие средств и методов навигационного обеспечения в последнее время проходит в обстановке постоянно возрастающей интенсивности воздухоплавания, усиления требований к точности, объему и надежности навигационной информации и оперативности ее обработки. Данные факторы обуславливают необходимость обслуживания большого количества сложной, разнотипной аппаратуры [7]. С целью обеспечения безопасности полетов, в том числе в Арктической зоне, разрабатываются и внедряются новые технологии в аэронавигационной системе России [8]. В нашей предыдущей работе основное внимание было уделено гигиенической оценке электромагнитных полей, создаваемых современными средствами авиационной радиосвязи на рабочих местах специалистов, при эксплуатации передатчиков на передающих радиоцентрах [9].

Цель исследования: выполнить исследование и гигиеническую оценку электромагнитной обстановки на рабочих местах персонала, осуществляющего обслуживание и эксплуатацию современных средств радионавигации и посадки воздушных судов.

Методы исследования. Гигиенические исследования ЭМП радиочастот проведены на трех объектах (двух аэропортах и аэродроме) гражданской авиации. На первом этапе работы определялся состав средств радионавигации и посадки воздушных судов, изучались режимы их работы и технические характеристики оборудования, создающего ЭМП (частотный диапазон и мощности радиопередающих устройств, параметры модуляции радиочастотных сигналов, типы и высоты установки антенн, азимуты излучения). Формировалась программа проведения измерений уровней электромагнитных полей. Исследования выполнялись в 2021–2022 гг. Измерения уровней ЭМП проводились на рабочих местах персонала, занятого обслуживанием и эксплуатацией средств радионавигации и посадки воздушных судов (должности: инженер радионавигации, радиолокации и связи, техник радионавигации, радиолокации и связи), и на рабочих местах диспетчеров службы движения. Согласно Трудовому кодексу РФ⁴, рабочее место – место, где работник должен находиться или куда ему необходимо прибыть в связи с его работой и которое прямо или косвенно находится под контролем работодателя. Для измерения уровней ЭМП использован измеритель уровней электромагнитных излучений ПЗ-42, внесенный в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений, имеет действующее свидетельство о поверке. Прибор предназначен для определения среднеквадратического значения напряженности электрического и/или магнитного полей и средних значений плотности потока энергии (ППЭ) ЭМП в режиме непрерывной генерации в диапазонах частот 0,01–95000 МГц. Измерения ЭМП, создаваемых радиопередающими устройствами (РПУ) на рабочих местах, проводились на высоте 0,5; 1,0 и 1,4 м от пола (при рабочей позе «сидя») и на высоте 0,5; 1,0 и 1,7 м (рабочая поза «стоя»). Выполнялись также измерения ЭМП от антенн на технической территории (маршрутах следования персонала на высоте 1,7 м от поверхности земли) при максимальной используемой мощности оборудования. В каждой точке выполнялось не менее 4 измерений ЭМП. Время регистрации уровней ЭМП составляло не менее 1 минуты. Определяющим являлось максимальное за время регистрации усредненное значение уровней ЭМП. Гигиеническая оценка уровней ЭМП выполнена в соответствии с СанПиН 1.2.3685–21⁵. Измерения уровней ЭМП выполнены от 23 радиопередающих устройств, входящих в состав средств радионавигации и посадки воздушных судов. Статистическая обработка результатов выполнена с помощью программы Epi Info 7.2.2.6.

¹ Приказ Министерства транспорта РФ от 20 октября 2014 г. № 297 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов и авиационная электросвязь в гражданской авиации». С изменениями и дополнениями от 2 октября 2017 г., 4 июня 2018 г., 9 января 2019 г.

² Федеральный проект «Развитие региональных аэропортов и маршрутов» // [Электронный ресурс.] Режим доступа: <http://www.techinform-press.ru/images/stories/pdf/KATALOGAERO.pdf>

³ Рубцова Н.Б., Походзей Л.В., Курьеров Н.Н. и др. Изучение условий труда и состояния здоровья специалистов, обслуживающих средства радиолокации, радионавигации и связи в аэропортах гражданской авиации // Ежегодник Российского Национального Комитета по защите от неионизирующих излучений // Сборник трудов. М.: РУДН, 2003. С. 106–135.

⁴ Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (редакция, действующая с 11 января 2023 года). Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901807664>.

⁵ 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 года). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2021. 88 с.

Результаты исследований. Исследования показали, что на территориях объектов были размещены радиомаячные системы, включающие: ближние приводные радиомаяки (БПРМ), глиссидные радиомаяки (ГРМ), курсовые радиомаяки (КРМ), дальние приводные радиостанции с радиомаркерами (ДПРМ), дальномерные курсовые радиомаяки (ДКРМ), азимутальные маяки DME (DVOR-DME), дальномерные маяки DME (DVOR-DME), радиотехническая система ближней навигации РСБН-4Н. В табл. 1 приведены технические характеристики радиопередающих устройств ближних и дальних приводных радиомаяков. В табл. 2 указаны технические характеристики радиопередающего оборудования глиссидных, курсовых радиомаяков, азимутального маяка DVOR-DME, дальномерного маяка DVOR-DME, радиотехнической системы ближней навигации РСБН-4Н.

В табл. 1 и 2 указано, что при эксплуатации средств радионавигации применяется оборудование различной мощности и частотных диапазонов. Так, в настоящее время применяется оборудование, работающее в диапазонах средних частот 0,3–3,0 МГц, очень высоких частот диапазона 30,0–300,0 МГц, ультравысоких частот 0,3–3 ГГц. РПУ отличаются по конструкции, диаграммам направленности и азимутам излучения антенн. Используемые средства радионавигации создают ЭМП с различными типами модуляции радиочастот-

ных сигналов (фазовой, амплитудной, частотной, импульсной). Анализ технических характеристик оборудования показал, что при эксплуатации азимутального маяка DVOR-DME, дальномерного маяка DVOR-DME, радиотехнической системы ближней навигации РСБН-4Н создаются импульсные электромагнитные излучения. Инструментальные исследования интенсивности ЭМП при эксплуатации данных объектов не проводились, так как, согласно руководству по эксплуатации, прибор ПЗ-42 предназначен для измерения плотности потока энергии, среднеквадратических значений напряженности электрического и магнитного полей в режиме непрерывной генерации. В табл. 3 представлены измеренные уровни напряженности электрического поля (Е) на рабочих местах при эксплуатации РПУ дальних и ближних приводных радиомаяков.

Согласно СанПиН 1.2.3685–21 оценка уровней воздействия ЭМП осуществляется с учетом времени воздействия. Результаты измерений показали, что при эксплуатации радиопередающих устройств дальних и ближних приводных маяков на рабочих местах в помещениях аппаратных уровни ЭМП, превышающие ПДУ, установленные для 8-часового рабочего дня (50 В/м), были зарегистрированы только при работе РПУ приводной аэродромной радиостанции (ПАР). Основным источником ЭМП были неэкранированные фидерные линии

Таблица 1. Технические характеристики радиопередающих устройств, установленных на ближних и дальних приводных радиомаяках

Table 1. Technical characteristics of radio transmitting devices installed on near and far marker beacons

№	Объект / Object	Радиопередающее устройство / Radio transmitting device	Частота / Frequency	Мощность, Вт / Power, W
1	БПРМ / Near marker beacon	ПАР-10С / PAR-10S	334 кГц / kHz	400
		РМП 200 / RMP 200	960 кГц / kHz	200
		ПАР-9М2 / PAR-9M2	0,15–1,75 МГц / MHz	400
		МРМ-В / MRM-V	75 МГц / MHz	0,5
2	ДПРМ / Far marker beacon	ПАР-10С / PAR-10-S	690 кГц / kHz	200
		АРМ-150М / ARM-150M	690 кГц / kHz	200
		P-862 / R-862	100,0–149,9 МГц / MHz	25
		МРМ / MRM	75 МГц / MHz	0,5

Таблица 2. Технические характеристики радиопередающего оборудования глиссидных, курсовых радиомаяков, азимутального и дальномерного маяков DVOR-DME, радиотехнической системы ближней навигации РСБН-4Н

Table 2. Technical characteristics of the radio transmitting equipment of landing beam, radio range station beacons, azimuth and range beacons DVOR-DME, short-range navigation radio system RSBN-4H

№	Объект / Object	Частота, МГц / Frequency, MHz	Мощность, Вт / Power, W
1	ГРМ-80 / GRM-80	333	5,0
2	ГРМ-90 / GRM-90	333	2,5
3	КРМ-80 / KRM-80	111,7	2,5
4	КРМ-90 / KRM-90	111,7	2,5
5	ДКРМ-5 / DKRM-5	905,1–932,4	40,0
6	РСБН-4Н / RSBN-4H	939,6–1000,5	30,0
7	Азимутальный маяк DME (DVOR-DME) / Azimuth beacon DME (DVOR-DME)	113,4	100,0
8	Дальномерный маяк DME (DVOR-DME) / Rangefinder beacon DME (DVOR-DME)	1168,0	1000,0

(у неэкранированного фидера передатчика уровни ЭМП достигали 346,9 В/м). На открытой территории в зонах временного пребывания персонала при работе РПУ ПАР и АРМ-150М также регистрируются наиболее высокие уровни ЭМП, особенно у снижений антенн.

В табл. 4 представлены измеренные уровни плотности потока энергии (ППЭ) на рабочих местах, создаваемые радиопередающим оборудованием глissадных и курсовых радиомаяков.

В табл. 4 указано, что при эксплуатации глissадных и курсовых радиомаяков уровни ППЭ были существенно ниже, чем при работе оборудования, установленного на ближних и дальних приводных радиомаяках, и не превышали предельно допустимых значений.

Были выполнены измерения уровней ЭМП, создаваемых на рабочих местах диспетчеров службы движения. Характеристика РПУ, установленных на рабочих местах диспетчеров службы движения, и результаты измерений напряженности электрического поля представлены в табл. 5.

На рабочих местах диспетчеров интенсивность ЭМП не превышала предельно допустимых уровней.

Обсуждение. Настоящее исследование посвящено гигиенической оценке электромагнитной обстановки на рабочих местах персонала на объектах радионавигации и посадки воздушных судов в аэропортах и на аэродроме гражданской авиации и на рабочих местах диспетчеров службы движения. Электромагнитная обстановка – это совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, в частотном и временном диапазонах. Оборудование на объектах нашего исследования работает в широком диапазоне частот (от 0,3 МГц до 3 ГГц). При эксплуатации глissадных и курсовых радиомаяков и радиопередающих устройств на рабочих местах диспетчеров не создаются уровни плотности потока энергии и напряженности электрического поля, превышающие гигиенические нормативы. В помещениях аппаратных дальних и ближних приводных маяков при эксплуатации приводной автоматической радиостанции зарегистрировано превышение гигиенических

Таблица 3. Уровни напряженности электрического поля на рабочих местах при эксплуатации РПУ дальних и ближних приводных радиомаяков

Table 3. Levels of electric field strength at workplaces during operation of radio transmitters and near and far marker beacons

№	РПУ	Частота / Frequency	E, В/м помещение / E, V/m room	E, В/м территория / E, V/m territory
1	ПАР-10С / PAR-10S	334 кГц / kHz	16,4–75,8	93,8–397,4
2	РМП 200 / RMP 200	960 кГц / kHz	1,3–49,5	12,6–300,0
3	ПАР-10С / PAR-10S	690 кГц / kHz	18,5–64,5	37,2–108,5
4	ПАР 10 / PAR-10S	0,15–1,75 МГц / MHz	2,5–33,0	1,1–33,0
5	АРМ-150М / ARM-150M	690 кГц / kHz	8,06–10,0	103,44–616,4
6	ПАР-9М2 Р = 100 Вт / PAR-9M2 P = 100 W	0,15–1,75 МГц / MHz	3,9–18,5	6,6–25,5
7	Р-862 / R-862	100,0–149,9 МГц / MHz	0,4–1,2	1,1–4,2

Примечание: E – уровень напряженности электрического поля.

Notes: E – level of electric field strength.

Таблица 4. Результаты измерений на рабочих местах при работе глissадных и курсовых радиомаяков

Table 4. The results of measurements at the workplace during operation of landing beam, radio range station beacons

№	Объект / Object	Частота, МГц / Frequency, MHz	ППЭ, мкВт/см ² , помещение / EFD, MW/cm ² , room	ППЭ, мкВт/см ² , территория / PPE, MW/cm ² , territory
1	ГРМ-80 / GRM-80	333	0,51–0,89	0,47–0,56
2	ГРМ-5 / GRM-5	939,6–966,9	< 0,26	0,3–1,6
3	ДКРМ-5 / DKRM-5	905,1–932,4	< 0,26	1,4–5,2

Примечание: ППЭ – плотность потока энергии.

Notes: EFD – energy flow density.

Таблица 5. Характеристика РПУ, установленных на рабочих местах диспетчеров службы движения и результаты измерений напряженности электрического поля

Table 5. Characteristics of radio transmitters installed at the workplaces of traffic controllers and the results of measurements of the electric field strength

№	Тип радиопередающего устройства / Type of radio transmitting device	Частота, МГц / Frequency, MHz	Мощность, Вт / Power, W	E, В/м / E, V/m
1	Гранит / Granite	163	10	0,59–1,6
2	Фазан 19 Р5 / Pheasant 19 P5	118	5	1,4–1,67
3	Стандарт / Standard	163	10	0,76–1,18
4	Р-845 / R-845	124	40	0,3–1,1

нормативов напряженности электрического поля средневолнового диапазона, установленных для 8-часового рабочего дня; на территории излучения от антенн не превышали максимальные предельно допустимые уровни.

Профессиональная деятельность персонала, обслуживающего современные средства радионавигации и посадки воздушных судов, осуществляется в условиях сложной электромагнитной обстановки. Специфической особенностью условий труда является воздействие на организм многочастотных, модулированных (в том числе с импульсной модуляцией) электромагнитных полей различной интенсивности и продолжительности облучения. Указанные характеристики радиочастотных сигналов являются существенными биотропными параметрами, влияющими на формирование ответных реакций организма. Модулированные ЭМП обладают более высокой эффективностью в сравнении с немодулированными излучениями⁶ [10, 11]. Электромагнитные поля с импульсной модуляцией радиочастотного сигнала создаются на рабочих местах РПУ азимутального маяка DVOR-DME, дальномерного маяка DVOR-DME, радиотехнической системы ближней навигации РСБН-4Н. На открытой территории персонал может подвергаться также воздействию импульсно-прерывистых ЭМП, создаваемых антеннами радиолокационных станций. На более высокую биологическую эффективность импульсных ЭМП, по сравнению с неимпульсными излучениями, исследователи обратили внимание в 60–70-е годы прошлого века. Было показано, что импульсные излучения оказывают более выраженное влияние в сравнении с непрерывными ЭМП на поведение животных, формирование условных рефлексов⁷ [12]. Результаты исследования влияния импульсных ЭМП радиочастот рассматриваются в работах многих авторов [13–17]. В экспериментальных исследованиях на животных показано, что неионизирующее излучение нетепловой интенсивности при наличии импульсной модуляции и одновременном действии нескольких несущих частот может модифицировать общую возбудимость ЦНС животных [18]. Электромагнитные поля с беспорядочно меняющимися биотропными параметрами обладают наибольшим биологическим эффектом⁸. Любое мгновенное изменение величины активно действующего параметра внешней среды, как правило, вызывает выраженный отклик воспринимающей системы. Более того, биологический организм зачастую откликается не на абсолютное значение величины какого-либо действующего параметра внешней среды, а на изменение (или скорость изменения) этой величины, т. е. импульсный режим излучения оказывается более выраженным фактором действия, чем непрерывный. Особенность электромагнитной обстановки являются дополнительным фактором, усугубляющим воздействие электромагнитного поля радиочастотного диапазона на здоровье персонала.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом активно обсуждаются вопросы нормирования электромагнитных излучений радиочастотного диапазона для населения в связи с интенсивным развитием технологий мобильной радиосвязи [19–21]. Однако требуют уточнения и гигиенические нормативы ЭМП радиочастотного диапазона для рабочих мест со сложной электромагнитной обстановкой. Нельзя не отметить, что существуют проблемы с аппаратным обеспечением контроля уровней ЭМП [22–25].

Заключение. При эксплуатации современного оборудования, генерирующего ЭМП радиочастотного диапазона, создаются электромагнитные излучения со сложными характеристиками радиочастотных сигналов. Исследования показывают, что при гигиенической оценке условий труда персонала, обслуживающего РПУ, изучение технических характеристик оборудования является важнейшим этапом гигиенической оценки фактора на рабочих местах для определения соответствия измерительной аппаратуры параметрам не только частоты, но и модуляции электромагнитных полей, создаваемых источником. При определении уровней импульсных ЭМП прибор должен обеспечивать измерение среднеквадратичных значений напряженности и средних значений ППЭ импульсно модулированных электромагнитных излучений с параметрами модуляции (длительность импульса, частота следования, скважность), создаваемых конкретным источником. В инструкции по эксплуатации приборов должны быть указаны параметры импульсно модулированных излучений, измерение которых обеспечивает прибор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исаева А.М., Зибарев Е.В. Проблемные вопросы проведения санитарно-эпидемиологической экспертизы проектов санитарно-защитных зон аэропортов // Медицина труда и промышленная экология. 2015. № 2. С. 41–43.
2. Картышев О.А., Николайкин Н.И. Проекты санитарно-защитных зон аэропортов, аэродромов, вертодромов и посадочных площадок как основа оценки соответствия их деятельности экологическим требованиям // Научный вестник МГТУ ГА. 2017. № 20 (4). С. 146–155. doi: 10.26467/2079-0619-2017-20-4-146-155
3. Лебедев К.Ю., Копытенкова О.И., Выучейская Д.С., Леванчук А.В., Афанасьева Т.А. Гигиенические аспекты градостроительной деятельности на приаэродромных территориях // Здоровье населения и среда обитания. 2019. № 10 319. С. 46–49. doi: 10.35627/2219-5238/2019-319-10-46-49
4. Чубирко М.И., Клепиков О.В., Куропат С.А., Кульнев В.В., Кизеев А.Н., Никанов А.Н., Чашин В.П. Верификация установления проектных границ седьмой подзоны приаэродромной территории по шумовому и канцерогенному факторам // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 8. С. 878–885. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-8-878-885. EDN: EMCBRN

⁶ Холодов Ю.А. О модулирующем действии электромагнитных полей на нервную систему // Влияние электромагнитных полей на организм человека // Сборник научных статей. М.: фонд «Новое тысячелетие», 1998. С. 68–93.

⁷ Савин Б.М., Рубцова Н.Б. Влияние радиоволновых излучений на центральную нервную систему // В кн.: Физиология человека и животных. Т. 22. М.: ВИНТИ АН СССР, 1978. С. 105–111.

⁸ Тигранян Р.Э. Вопросы электромагнитобиологии. М.: Физматлит, 2009. 352 с.

5. Зинкин В.Н., Рыженков С.П., Солдатов С.К. и др. Гигиеническая обстановка на территориях, примыкающих к глиссаде аэродрома // Здоровье населения и среда обитания. 2014. № 6 (255). С. 38–40.
6. Никитина В.Н., Калинина Н.И., Ляшко Г.Г., Панкина Е.Н., Плеханов В.П. Анализ проектных решений об установлении приаэродромной территории по электромагнитному фактору // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99. № 6. С. 557–562. doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-6-557-562
7. Степаненко А.С. Развитие навигационных систем в гражданской авиации // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2017. Т. 20. № 1. С. 123–131.
8. Диденко Н.И., Елисеев Б.П., Саута О.И., Шатраков А.Ю., Юшкова А.В. Радиотехническое обеспечение полетов военной и гражданской авиации – стратегическая проблема Арктической зоны России // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2017. Т. 20. № 5. С. 8–19. doi: 10.26467/2079-0619-2017-20-5-8-19. EDN ZQTOJB.
9. Ляшко Г.Г., Никитина В.Н., Дубровская Е.Н., Калинина Н.И., Плеханов В.П. Гигиеническая оценка электромагнитных полей средств радиосвязи аэропортов гражданской авиации // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2020. Т. 15. № 1. С. 382–393.
10. Лукьянова С.Н., Григорьев Ю.Г., Степанов В.С. К вопросу об эффективности ЭМП, модулированных частотами в диапазоне ритмов ЭЭГ // Радиационная биология. Радиоэкология. 2021. Т. 61. № 1. С. 69–78. doi: 10.31857/S0869803121010082. EDN: BFZTMB
11. Лукьянова С.Н. Фундаментальная характеристика нейроэффектов слабых электромагнитных воздействий (от нейрона к отделу мозга, ЦНС, организму). М.: ФГБУ ГНЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2023. 140 с.
12. Павлова Л.Н., Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В., Глушакова В.С., Посадская В.М. Экспериментальная оценка реакций ЦНС на воздействие импульсных ЭМИ низкой интенсивности // Радиация и риск. 2010. Т. 19. № 3. С. 104–119.
13. Schmid MR, Loughran SP, Regel SJ, et al. Sleep EEG alterations: effects of different pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. *J Sleep Res.* 2012;21(1):50–58. doi: 10.1111/j.1365-2869.2011.00918.x
14. Regel SJ, Gottselig JM, Schuderer J, et al. Pulsed radio frequency radiation affects cognitive performance and the waking electroencephalogram. *Neuroreport.* 2007;18(8):803–807. doi: 10.1097/WNR.0b013e3280d9435e
15. Guo L, Lin JJ, Xue YZ, et al. Effects of 220 MHz pulsed modulated radiofrequency field on the sperm quality in rats. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(7):1286. doi: 10.3390/ijerph16071286
16. Fereidouni F, Mohammadi ST, Faramarzi Shahraki V, Jahantigh F. Human health risk assessment of 4–12 GHz radar waves using CST STUDIO SUITE software. *J Biomed Phys Eng.* 2022;12(3):285–296. doi: 10.31661/jbpe.v0i0.1272
17. Singh S, Mani KV, Kapoor N. Effect of occupational EMF exposure from radar at two different frequency bands on plasma melatonin and serotonin levels. *Int J Radiat Biol.* 2015;91(5):426–434. doi: 10.3109/09553002.2015.1004466
18. Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В., Павлова Л.Н., Колганова О.И., Посадская В.М. Влияние широкополосного импульсно-модулированного ЭМП низкой интенсивности на общую возбудимость ЦНС // Радиация и риск. 2011. Т. 20. № 2. С. 64–74.
19. Рахманин Ю.А., Онищенко Г.Г., Григорьев Ю.Г. Современные проблемы и пути обеспечения электромагнитной безопасности сотовой связи для здоровья населения // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 11. С. 1175–1183
20. Григорьев О.А., Гошин М.Е., Прокофьева А.В., Алексеева В.А. Особенности национальной политики, определяющей подходы к гигиеническому нормированию электромагнитного поля радиочастот в различных странах // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 11. С. 1184–1190.
21. International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields (ICBE-EMF). Scientific evidence invalidates health assumptions underlying the FCC and ICNIRP exposure limit determinations for radiofrequency radiation: implications for 5G. *Environ Health.* 2022;21(1):92. doi: 10.1186/s12940-022-00900-9
22. Pawlak R, Krawiec P, Zurek J. On measuring electromagnetic fields in 5G technology. *IEEE Access.* 2019;7:29826–29835. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2902481
23. Bhatt CR, Henderson S, Brzozek C, Benke G. Instruments to measure environmental and personal radiofrequency electromagnetic field exposures: an update. *Phys Eng Sci Med.* 2022;45(3):687–704. doi: 10.1007/s13246-022-01146-y
24. Migault L, Bowman JD, Kromhout H, et al. Development of a job-exposure matrix for assessment of occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields (3 kHz – 300 GHz). *Ann Work Expo Health.* 2019;63(9):1013–1028. doi: 10.1093/annweh/wxz067
25. Sagar S, Adem SM, Struchen B, et al. Comparison of radiofrequency electromagnetic field exposure levels in different everyday microenvironments in an international context. *Environ Int.* 2018;114:297–306. doi: 10.1016/j.envint.2018.02.036

REFERENCES

1. Isayeva AM, Zibaryov EV. Topical problems of sanitary and epidemiologic examination concerning projects of sanitary protection zones in airports. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya.* 2015;(2):41–43. (In Russ.)
2. Kartyshev OA, Nikolaykin NI. Projects on airports, airfields, helicopter aerodromes and landing grounds sanitary protection areas as the basis of their activity compliance assessment to ecological requirements. *Nauchnyy Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta Grazhdanskoy Aviatsii.* 2017;20(4):146–155. (In Russ.) doi: 10.26467/2079-0619-2017-20-4-146-155
3. Lebedev KYu, Kopytenkova OI, Vyucheiskaya DS, Levanchuk AV, Afanas'eva TA. Hygienic aspects of urban planning on the aerodrome environs. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya.* 2019;(10(319)):46–49. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2019-319-10-46-49
4. Chubirko MI, Klepikov OV, Kurolap SA, et al. Verification of the establishment of the project borders of the seventh subzone of the near-airdrome territories by noise and carcinogenic factors. *Gigiena i Sanitariya.* 2022;101(8):878–885. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-8-878-885
5. Zinkin VN, Ryzhenkov SP, Soldatov SK, et al. Hygienic situation on the territory adjacent to the airport glide path. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya.* 2014;(6(255)):38–40. (In Russ.)
6. Nikitina VN, Kalinina NI, Lyashko GG, Pankina EN, Plekhanov VP. Analysis of design decisions on establishing an aerodrome territory based on the electromagnetic

- factor. *Gigiena i Sanitariya*. 2020;99(6):557-562. (In Russ.) doi: 10.33029/0016-9900-2020-99-6-557-562
7. Stepanenko AS. The development of navigation systems in civil aviation. *Nauchnyy Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta Grazhdanskoy Aviatsii*. 2017;20(1):123-131. (In Russ.)
 8. Didenko NI, Eliseev BP, Sauta OI, Shatrakov AYU, Yushkov AV. Radio-technical flight support military and civil aviation – the strategic problem of Russia Arctic zone. *Nauchnyy Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta Grazhdanskoy Aviatsii*. 2017;20(5):8-19. (In Russ.) doi: 10.26467/2079-0619-2017-20-5-8-19
 9. Lyashko GG, Nikitina VN, Dubrovskaya EN, Kalinina NI, Plekhanov VP. Hygienic assessment of electromagnetic fields of radio communication facilities at civil aviation airports. *Zdorov'e – Osnova Chelovecheskogo Potentsiala: Problemy i Puti Ikh Resheniya*. 2020;15(1):382-393. (In Russ.)
 10. Lukyanova SN, Grigoryev YuG, Stepanov VS. To the question of efficiency of EMF modulated by frequencies in the range of EEG rhythms. *Radiatsionnaya Biologiya. Radioekologiya*. 2021;61(1):69-78. (In Russ.) doi: 10.31857/S0869803121010082
 11. Lukyanova SN. [Fundamental Characteristics of Neuroeffects of Weak Electromagnetic Influences (from Neuron to Brain Department, CNS, Organism).] Moscow: A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center Publ.; 2023. (In Russ.)
 12. Pavlova LN, Zhavoronkov LP, Dubovick BV, Glushakova VS, Posadskaya VM. Experimental estimation of the central nervous system's responses to the exposure with pulsed-modulated electromagnetic irradiation of low intensity. *Radiatsiya i Risk*. 2010;19(3):104-119. (In Russ.)
 13. Schmid MR, Loughran SP, Regel SJ, et al. Sleep EEG alterations: effects of different pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. *J Sleep Res*. 2012;21(1):50-58. doi: 10.1111/j.1365-2869.2011.00918.x
 14. Regel SJ, Gottselig JM, Schuderer J, et al. Pulsed radio frequency radiation affects cognitive performance and the waking electroencephalogram. *Neuroreport*. 2007;18(8):803-807. doi: 10.1097/WNR.0b013e3280d9435e
 15. Guo L, Lin JJ, Xue YZ, et al. Effects of 220 MHz pulsed modulated radiofrequency field on the sperm quality in rats. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(7):1286. doi: 10.3390/ijerph16071286
 16. Fereidouni F, Mohammadi ST, Faramarzi Shahraki V, Jahantigh F. Human health risk assessment of 4–12 GHz radar waves using CST STUDIO SUITE software. *J Biomed Phys Eng*. 2022;12(3):285-296. doi: 10.31661/jbpe.v0i0.1272
 17. Singh S, Mani KV, Kapoor N. Effect of occupational EMF exposure from radar at two different frequency bands on plasma melatonin and serotonin levels. *Int J Radiat Biol*. 2015;91(5):426-434. doi: 10.3109/09553002.2015.1004466
 18. Zhavoronkov LP, Dubovick BV, Pavlova LN, Kolganova OI, Posadskaya VM. The influence of wideband pulsed-modulated electromagnetic field of low intensity on the whole excitability of the central nervous system. *Radiatsiya i Risk*. 2011;20(2):64-74. (In Russ.)
 19. Rakhmanin YuA, Onishchenko GG, Grigoriev YuG. Contemporary issues and the ways of ensuring electromagnetic safety of mobile communication to the health of the population. *Gigiena i Sanitariya*. 2019;98(11):1175-1183. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-11-1175-1183
 20. Grigoriev OA, Goshin ME, Prokofyeva AS, Alekseeva VA. Features of national policy in approaches to electromagnetic field safety of radio frequencies in different countries. *Gigiena i Sanitariya*. 2019;98(11):1184-1190. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-11-1184-1190
 21. International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields (ICBE-EMF). Scientific evidence invalidates health assumptions underlying the FCC and ICNIRP exposure limit determinations for radiofrequency radiation: implications for 5G. *Environ Health*. 2022;21(1):92. doi: 10.1186/s12940-022-00900-9
 22. Pawlak R, Krawiec P, Zurek J. On measuring electromagnetic fields in 5G technology. *IEEE Access*. 2019;7:29826-29835. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2902481
 23. Bhatt CR, Henderson S, Brzozek C, Benke G. Instruments to measure environmental and personal radiofrequency-electromagnetic field exposures: an update. *Phys Eng Sci Med*. 2022;45(3):687-704. doi: 10.1007/s13246-022-01146-y
 24. Migault L, Bowman JD, Kromhout H, et al. Development of a job-exposure matrix for assessment of occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields (3 kHz – 300 GHz). *Ann Work Expo Health*. 2019;63(9):1013-1028. doi: 10.1093/annweh/wxz067
 25. Sagar S, Adem SM, Struchen B, et al. Comparison of radiofrequency electromagnetic field exposure levels in different everyday microenvironments in an international context. *Environ Int*. 2018;114:297-306. doi: 10.1016/j.envint.2018.02.036

Сведения об авторах:

✉ **Никитина** Валентина Николаевна – д.м.н., старший научный сотрудник, заведующая отделением изучения электромагнитных излучений; 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; e-mail: n.kalinina@s-znc.ru; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9475-0176.

Дубровская Екатерина Николаевна – научный сотрудник отделения изучения электромагнитных излучений; e-mail: nikanorushka@mail.ru; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4235-378X.

Плеханов Владимир Павлович – научный сотрудник отделения изучения электромагнитных излучений; e-mail: v.plehanov@s-znc.ru; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8141-7179.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Никитина В.Н.*; сбор данных: *Дубровская Е.Н., Калинина Н.И.*; анализ и интерпретация результатов: *Никитина В.Н.*; литературный обзор: *Плеханов В.П.*; подготовка рукописи: *Никитина В.Н., Дубровская Е.Н., Калинина Н.И.* Все авторы ознакомлены с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных разрешающих документов.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 07.04.23 / Принята к публикации: 16.05.23 / Опубликовано: 31.05.23

Author information:

✉ Valentina N. **Nikitina**, Dr. Sci. (Med.), Senior Researcher, Head of the Department for the Study of Electromagnetic Radiation, 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, Department for the Study of Electromagnetic Radiation, Northwest Public Health Research Center; e-mail: n.kalinina@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9475-0176>.

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

Vladimir P. **Plekhanov**, Researcher, Department for the Study of Electromagnetic Radiation, Northwest Public Health Research Center; e-mail: v.plehanov@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8141-7179>.

Author contributions: study conception and design: *Nikitina V.N.*; data collection: *Dubrovskaya E.N., Kalinina N.I.*; analysis and interpretation of results: *Nikitina V.N.*; literature review: *Plekhanov V.P.*; draft manuscript preparation: *Nikitina V.N., Dubrovskaya E.N., Kalinina N.I.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

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

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: April 7, 2023 / Accepted: May 16, 2023 / Published: May 31, 2023