Научная статья
УДК 621.317
DOI: 10.14529/power260211

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ ВБЛИЗИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С УЧЕТОМ ВНУТРИДИАПАЗОННЫХ ЧАСТОТНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

***Е.В. Титов**, 888tev888@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-3847-1313*
***А.А. Сошников**, aa@soshnikov.info, http://orcid.org/0000-0002-1990-1680*
***А.М. Новокрещенов**, novor84@mail.ru*
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

Аннотация. Целью исследования является разработка практической методики для оценки электромагнитной обстановки на промышленных предприятиях с учетом внутридиапазонных частотных составляющих электромагнитного поля (ЭМП), не подлежащих обязательному контролю. Применен комплексный подход, включающий в себя инструментальный контроль параметров ЭМП и компьютерное моделирование для визуализации зон опасности. Исследования проводились в помещениях реального агропромышленного объекта. Установлено значительное превышение предельно допустимых уровней плотности потока энергии именно на внутридиапазонных частотах (400 МГц, 760 МГц и др.). В то же время на регламентированных граничных частотах превышений не зафиксировано. На основе полученных результатов разработаны карты опасности электромагнитной обстановки, которые наглядно отображают допустимое время пребывания персонала в опасных зонах. Предложенная методика позволяет более обоснованно планировать и внедрять организационные мероприятия по защите персонала от вредного воздействия ЭМП: определять безопасные маршруты перемещения, зоны отдыха, регламентировать время работы вблизи источников ЭМП и выбирать эффективные средства экранирования. Использование методики способствует значительному повышению уровня электромагнитной безопасности на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: электромагнитная безопасность, охрана труда, плотность потока энергии, предельно допустимый уровень, карта опасности, внутридиапазонные частоты, допустимое время пребывания

Для цитирования: Титов Е.В., Сошников А.А., Новокрещенов А.М. Оценка опасности электромагнитной обстановки вблизи промышленного оборудования с учетом внутридиапазонных частотных составляющих электромагнитного поля // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2026. Т. 26, № 2. С. 99–106. DOI: 10.14529/power260211

Original article
DOI: 10.14529/power260211

ASSESSING THE HAZARD OF ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT NEAR INDUSTRIAL EQUIPMENT TAKING INTO ACCOUNT THE INTRA-BAND FREQUENCY COMPONENTS OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD

***E.V. Titov**, 888tev888@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-3847-1313*
***A.A. Soshnikov**, e-aa@soshnikov.info, http://orcid.org/0000-0002-1990-1680*
***A.M. Novokreschenov**, novor84@mail.ru*
Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

Abstract. This research aims to develop a practical methodology for assessing the electromagnetic environment at industrial enterprises taking into account the intra-band frequency components of the electromagnetic field (EM field) that are not subject to mandatory control. It is based on an integrated approach, including instrumental monitoring of EM field parameters and computer modeling to visualize hazardous zones. The research was conducted at a real agricultural enterprise. During the study, a significant excess of the maximum permissible levels of energy flux density was

© Титов Е.В., Сошников А.А., Новокрещенов А.М., 2026

detected at specific intra-band frequencies (400 MHz, 760 MHz, etc.), while no exceedances were recorded within the regulated frequency limits. The obtained results were used to develop electromagnetic hazard maps, which clearly indicate the permissible time personnel can safely spend in hazardous areas. The proposed methodology allows for more informed planning and implementation of organizational measures to protect personnel from the harmful effects of EM field. This includes determining safe movement routes and rest areas, regulating working hours near sources of EM field, and selecting effective shielding means. The use of this methodology significantly improves electromagnetic safety levels at industrial enterprises.

Keywords: electromagnetic safety, occupational safety, power flux density, maximum permissible level, hazard map, intra-band frequencies, permissible time of stay

For citation: Titov E.V., Soshnikov A.A., Novokreschenov A.M. Assessing the hazard of electromagnetic environment near industrial equipment taking into account the intra-band frequency components of the electromagnetic field. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2026;26(2):99–106. (In Russ.) DOI: 10.14529/power260211

Введение

Обеспечение электромагнитной безопасности персонала на промыш-ленных предприятиях является актуальной задачей. Существующие регламенты [1–3] предписывают контроль уровней электромагнитного поля (ЭМП) на граничных и рабочих частотах. Однако источники электромагнитного поля, в частности промышленное электротехнологическое оборудование, системы питания и управления, могут генерировать значительные по уровню составляющие на внутридиапазонных частотах, не подлежащих обязательному контролю [4]. Игнорирование этих составляющих приводит к недооценке реального риска [5, 6] и снижает эффективность защитных мероприятий, ориентированных на защиту временем и расстоянием [7, 8].

Цель работы: разработать практическую методику оценки электромагнитной обстановки, позволяющую учитывать внутридиапазонные частотные составляющие для обоснованного выбора организационных и технических мер защиты персонала.

Задачи:

1) провести инструментальный контроль спектра ЭМП вблизи про-мышленной установки в широком частотном диапазоне;

2) выявить частоты с превышением предельно допустимого уровня (ПДУ);

3) с использованием компьютерного моделирования построить про-странственные картины распределения составляющих ЭМП и карты опасности электромагнитной обстановки (по критерию допустимого времени пребывания);

4) разработать практические рекомендации для системы управления охраной труда.

Материалы и методы

Для решения поставленных задач был выбран комплекс методов, включающий спектральный анализ – как наиболее точный способ выявления значимых частотных составляющих, компьютерное моделирование – как эффективный инструмент визуализации и экстраполяции результатов точечных измерений в исследуемом пространстве рабочей зоны.

Практическая реализация методики оценки электромагнитной обста-новки с учетом влияния составляющих на внутридиапазонных частотах для выбора организационных мероприятий рассмотрена на примере производственного помещения тепличного предприятия Сибири ОАО «Индустриальный» с установкой для орошения сельскохозяйственных культур. Трехмерная компьютерная модель помещения с исследуемой установкой приведена на рис. 1.

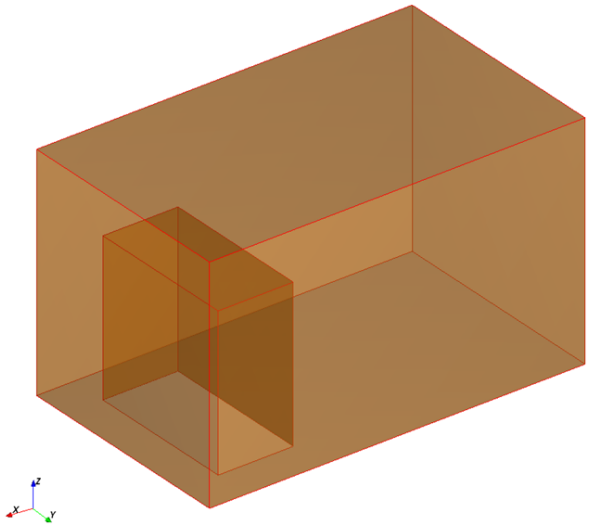

Рис. 1. Трехмерная модель помещения с установкой для орошения
Fig. 1. 3D model of a room with an irrigation system

При оценке электромагнитной обстановки использовалось следующее аппаратное обеспечение: анализатор спектра АКС-1201 – устройство контроля радиочастотных ЭМП (30 МГц – 30 ГГц) и измеритель уровней электромагнитных излучений П3-41. Инструментальные измерения проводились на расстоянии 10 см от центральной зоны каждой стенки установки. По результатам спектрального анализа выявлена высокая интенсивность плотности потока энергии (ППЭ) на внутридиапазонных частотах, превышающая предельно допустимый уровень (до 133,7 мкВт/см^2 при норме 25 мкВт/см^2). При этом превышение ПДУ для составляющих ЭМП

на граничных и рабочих частотах (50 Гц, 30 кГц, 3 МГц, 30 МГц и 300 МГц) не зафиксировано.

Результаты исследований

Результаты контроля плотности потока энергии (см. таблицу) показали, что на ряде внутридиапазонных частот (400, 740 и 760 МГц) зафиксировано значительное превышение ПДУ (25 мкВт/см^2), в то время как на регламентированных частотах превышений не выявлено. Это подтверждает гипотезу о наличии «слепой зоны» в действующей системе контроля.

На основе данных измерений построены объемные модели распределения ЭМП (рис. 2–4) и, что наиболее важно для практики охраны труда, карты опасности (рис. 5–7). Эти карты наглядно демонстрируют зоны, в которых допустимое время пребывания персонала ограничено. Например, вблизи установки на частоте 760 МГц время пребывания не должно превышать 1 ч 32 мин, а при удалении на 1 м оно увеличивается до 1 ч 49 мин.

С учетом геометрической структуры объекта и наличия только одного источника ЭМП сформированы горизонтальные точечные карты опасности, построенные в соответствии с принципами, представленными в [9]. На рис. 5–7 приведены карты опасности электромагнитной обстановки на частотах 400 МГц, 760 МГц и 28,37 ГГц.

Результаты контроля плотности потока энергии вблизи установки
Results of monitoring the energy flux density near the installation

Частота	Плотность потока энергии ППЭ, мкВт/см^2	
	боковые стенки	передняя и задняя стенки
400 МГц	**57,774**	**97,471**
520 МГц	20,888	**55,313**
590 МГц	22,817	**49,792**
720 МГц	**25,156**	**55,549**
740 МГц	**62,264**	**107,837**
760 МГц	**73,235**	**133,732**
28,37 ГГц	**35,266**	**69,719**

Примечания:

1. Предельно допустимый уровень (25 мкВт/см^2) приведен для 8-часового рабочего дня.
2. Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДУ.

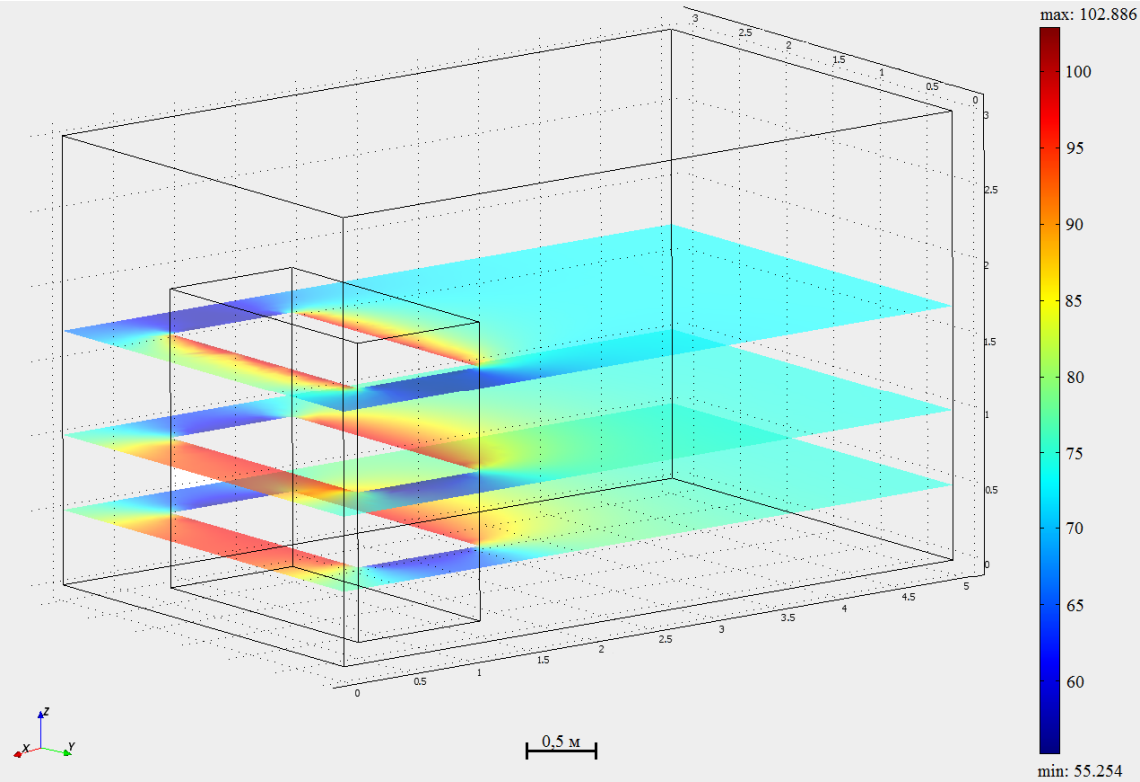

Рис. 2. Объемная картина распределения электромагнитного поля (мкВт/см^2) на частоте 400 МГц
Fig. 2. Volumetric distribution of the electromagnetic field (μW/cm^2) at a frequency of 400 MHz

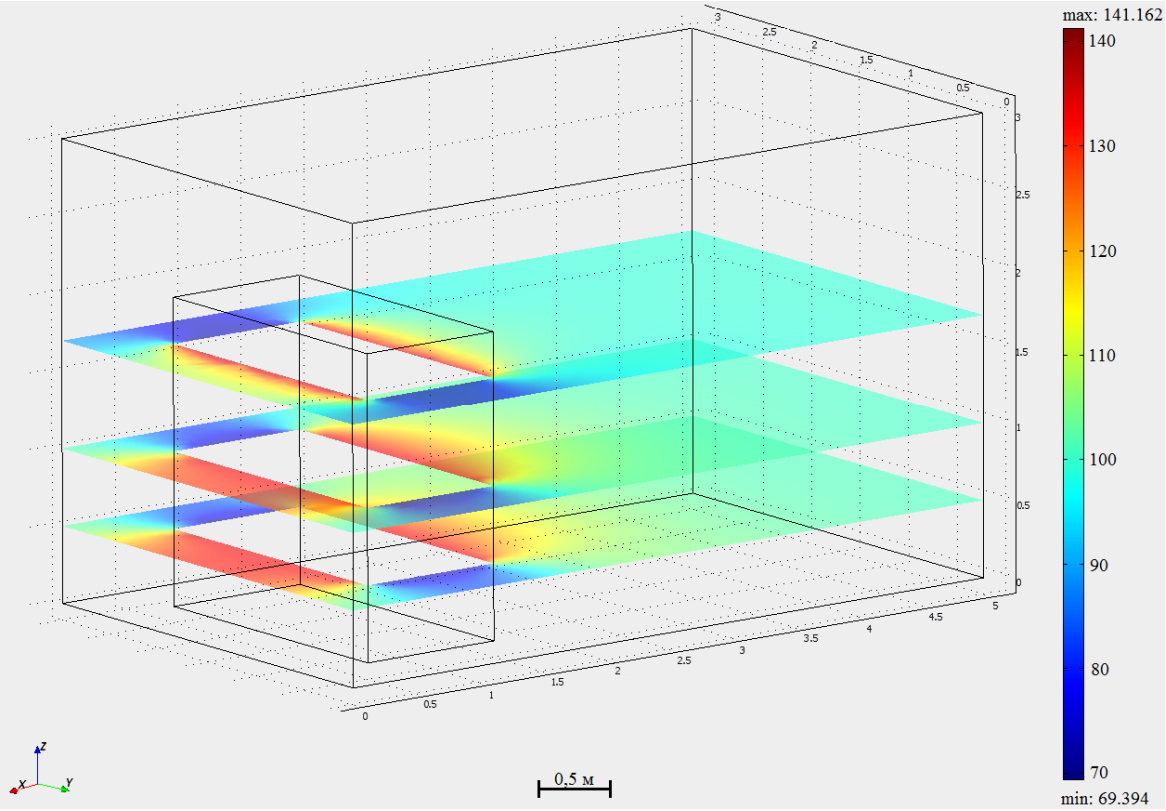

Рис. 3. Объемная картина распределения электромагнитного поля (мкВт/см^2) на частоте 760 МГц
Fig. 3. Volumetric distribution of the electromagnetic field (μW/cm^2) at a frequency of 760 MHz

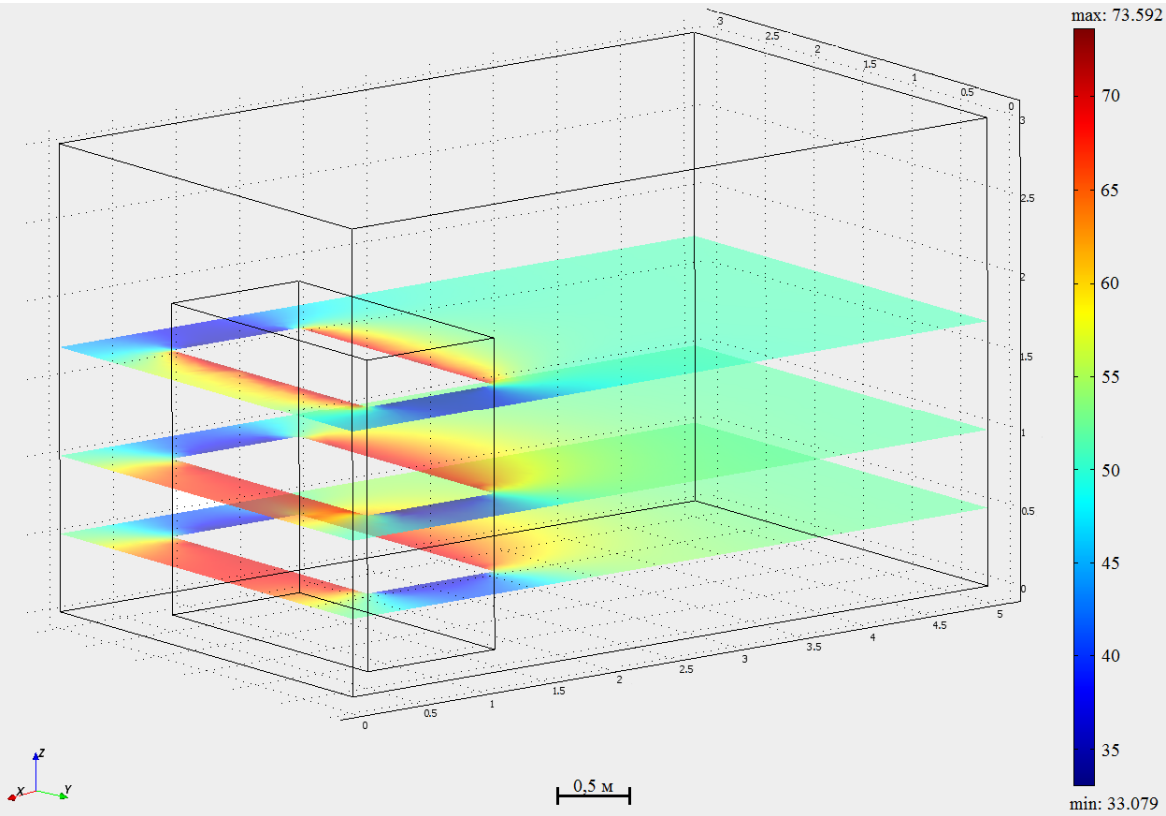

Рис. 4. Объемная картина распределения электромагнитного поля (мкВт/см^2) на частоте 28,37 ГГц
Fig. 4. Volumetric distribution of the electromagnetic field (μW/cm^2) at a frequency of 28.37 GHz

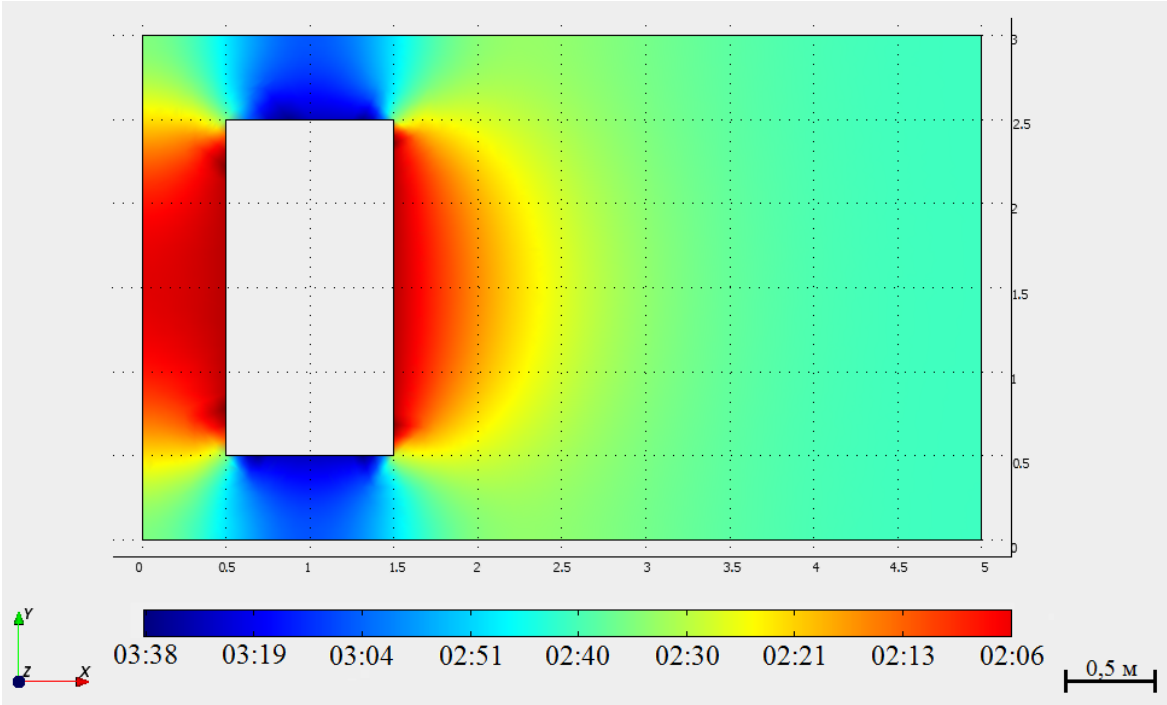

Рис. 5. Горизонтальная точечная карта опасности электромагнитного поля (ч:мин) на частоте 400 МГц
Fig. 5. Horizontal dot map of electromagnetic field hazard (h:min) at a frequency of 400 MHz

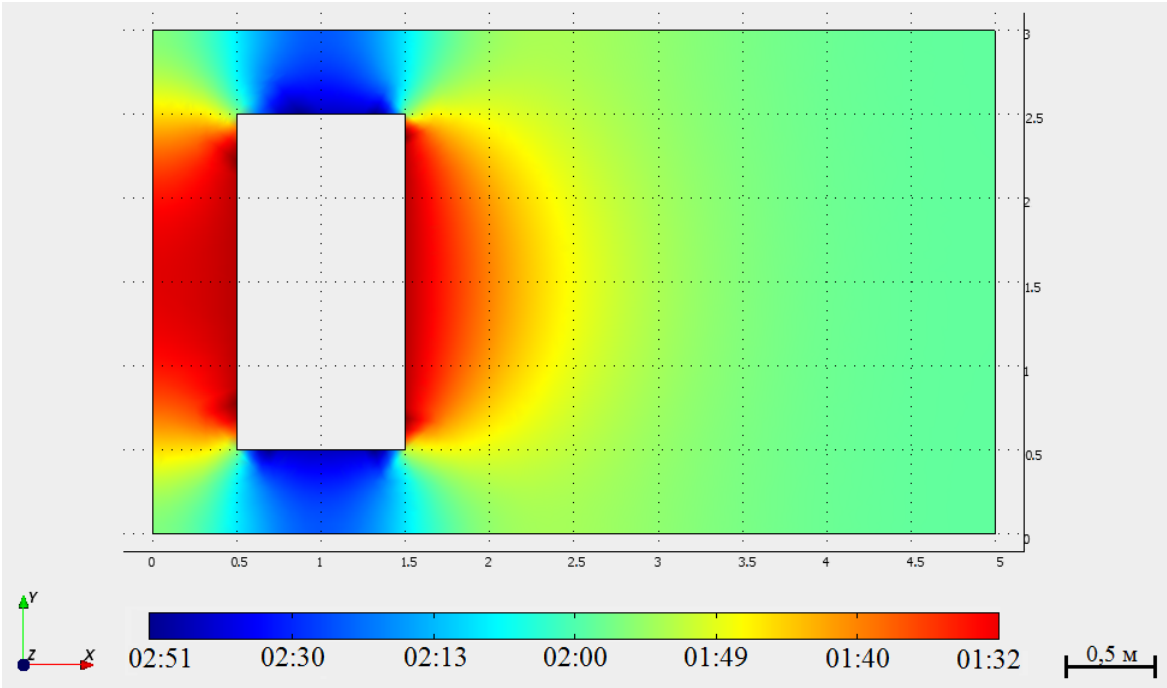

Рис. 6. Горизонтальная точечная карта опасности электромагнитного поля (ч:мин) на частоте 760 МГц
Fig. 6. Horizontal dot map of electromagnetic field hazard (h:min) at a frequency of 760 MHz

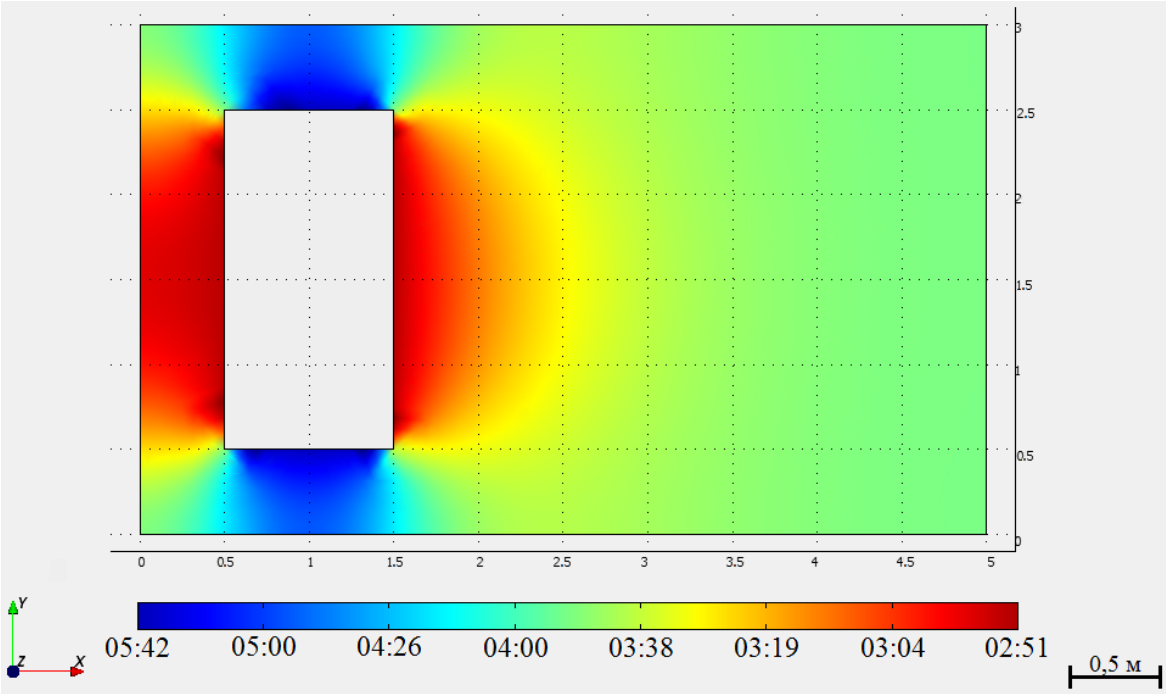

Рис. 7. Горизонтальная точечная карта опасности электромагнитного поля (ч:мин) на частоте 28,37 ГГц
Fig. 7. Horizontal dot map of electromagnetic field hazard (h:min) at a frequency of 28.37 GHz

Анализ и новизна

Предложенная методика является развитием ранее разработанных подходов [9]. Ее новизна заключается в комплексном использовании спектрального анализа для выявления потенциально опасных внутридиапазонных частот ЭМП и последующего преобразования полученных данных в интуитивно понятные для специалиста по охране труда карты опасности электромагнитной обстановки. В отличие от известных аналогов, методика позволяет количественно обосновать необходимость защитных мероприятий для конкретного рабочего места.

Области применения и практические рекомендации

1. Для инженера по охране труда: полученные карты опасности (см. рис. 5–7) предлагается включить в паспорт рабочего места. На их основе возможно:

– разработать и утвердить безопасные маршруты перемещения персонала;

– установить знаки безопасности, регламентирующие время работы в опасных зонах;

– планировать графики работы, соблюдая принцип «защиты временем».

2. Для проектировщика: при модернизации производства или размещении нового оборудования использовать методику для предварительной оценки электромагнитной обстановки и оптимального размещения излучающего оборудования.

3. Для принятия решения о защите: при невозможности снижения уровня ЭМП до ПДУ карты опасности служат основанием для выбора и расчета эффективности экранирующих средств (тип материала, конфигурация экрана).

Выводы и рекомендации

1. Разработана и апробирована методика оценки электромагнитной обстановки, учитывающая внутридиапазонные частотные составляющие ЭМП, что повышает достоверность оценки по сравнению со стандартными методами.

2. Установлено, что для обследованного промышленного оборудования основной вклад в ухудшение электромагнитной обстановки вносят именно внутридиапазонные частоты, что подтверждает необходимость совершенствования нормативной базы контроля.

3. Практическая ценность работы подтверждена разработкой конкретных рекомендаций по применению результатов для защиты персонала, включая создание карт опасности и регламентацию времени пребывания.

4. Перспективой работы является разработка типовых отраслевых решений на основе предложенной методики для различных видов электротехнологического оборудования.

Список литературы

1. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М.: Роспотребнадзор, 2021. 1143 с.

2. ICNIRP guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz) // Health Physics. 2020. Vol. 118, no. 5. P. 483–524.

3. Quantifying EMI: A Methodology for Determining and Quantifying Radiation for Practical Design Guidelines / Y.S. Cao, Y. Wang, L. Jiang et al. // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. 2017. Vol. 59, no. 5. P. 1424–1432.

4. Силин Н.В. Оценка технического состояния электроэнергетического оборудования по спектральным характеристикам излучаемого им электромагнитного поля: дис. … д-ра техн. наук: 05.09.05. Владивосток, 2009. 308 с.

5. Бастрон А.В., Исаев А.В., Мещеряков А.В. Эффективные режимы предпосевной обработки семян рыжика в электромагнитном поле сверхвысокой частоты // Вестник АПК Ставрополья. 2019. № 1 (33). С. 4–7.

6. Проведение эксперимента по обеззараживанию воды обработкой высоковольтными разрядами / А.А. Белов, А.А. Мусенко, А.Н. Васильев, В.Н. Топорков // Вестник НГИЭИ. 2019. № 8 (99). С. 34–43.

7. Сподобаев Ю. М. Электромагнитная безопасность современных беспроводных технологий: документы ICNIRP // Электросвязь. 2020. № 4. С. 21–24. DOI: 10.34832/ELSV.2020.5.4.001

8. Григорьев О.А., Зубарев Ю.Б. Управление электромагнитной обстановкой: баланс между здоровьем и технологиями // Вестник связи. 2020. № 12. С. 20–27.

9. Soshnikov A., Migalyov I., Titov E. Principles of Functioning of Technological Module for Danger Estimation of Combined Electromagnetic Field // Procedia Engineering. 2016. Vol. 165. P. 1027–1034. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.815

References

1. SanPiN 1.2.3685-21. *Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya* [SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness to humans of environmental factors]. Moscow: Rospotrebnadzor Publ., 2021. 1143 p. (In Russ.).

2. ICNIRP guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Physics*. 2020;118(5):483–524.

3. Cao Y.S., Wang Y., Jiang L., Ruehli A.E., Fan J., Drewniak J.L. Quantifying EMI: A Methodology for Determining and Quantifying Radiation for Practical Design Guidelines. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 2017;59(5):1424–1432.

4. Silin N.V. *Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya elektroenergeticheskogo oborudovaniya po spektral'nym kharakteristikam izluchaemogo im elektromagnitnogo polya: dis. d-ra tekhn. nauk: 05.09.05* [Assessment of the technical condition of electric power equipment by the spectral characteristics of the electromagnetic field emitted by it. Doct. sci. diss.: 05.09.05]. Vladivostok, 2009. 308 p. (In Russ.)

5. Bastron A.V., Isaev A.V., Meshcheryakov A.V. Effective modes of processing presowing seed false flax in an electromagnetic field of super-high frequency. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2019;1(33):4–7. (In Russ.)

6. Belov A. A., Musenko A. A., Vasilyev A. N., Toporkov V. N. Conducting the experiment on water disinfection by treating with high-voltage discharges. *Bulletin NGIEI*. 2019;8(99):34–43. (In Russ.)

7. Spodobaev Yu.M. Electromagnetic security of modern wireless technologies: ICNIRP documents. *Elektrosvyaz*. 2020;(4):21–24. (In Russ.) DOI: 10.34832/ELSV.2020.5.4.001

8. Grigoriev O.A., Zubarev Yu.B. Electromagnetic environment management: balance between public health and new communication technology. *Vestnik svyazi*. 2020;(12):20–27. (In Russ.)

9. Soshnikov A., Migalyov I., Titov E. Principles of Functioning of Technological Module for Danger Estimation of Combined Electromagnetic Field. *Procedia Engineering*. 2016;165:1027–1034. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.815

Информация об авторах

Титов Евгений Владимирович, д-р техн. наук, доц., ведущий научный сотрудник кафедры электрификации производства и быта, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия; 888tev888@mail.ru.

Сошников Александр Андреевич, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры электрификации производства и быта, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия; aa@soshnikov.info.

Новокрещенов Анатолий Михайлович, аспирант группы 0-Мех31, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия; novor84@mail.ru.

Information about the authors

Evgeny V. Titov, Dr. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Leading Researcher of the Department of Electrification of Production and Life, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia; 888tev888@mail.ru.

Alexander A. Soshnikov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Prof. of the Department of Electrification of Production and Life, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia; aa@soshnikov.info.

Anatoly M. Novokreschenov, Graduate Student of group 0Mech-31, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia; novor84@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 08.10.2025; одобрена после рецензирования 11.11.2025; принята к публикации 11.11.2025.

The article was submitted 08.10.2025; approved after review 11.11.2025; accepted for publication 11.11.2025.