

elektricheskikh setei 0,38 kV // Promyshlennaia energetika. – 2022. – No. 5. – S. 2-14.

13. GOST 30804.4.30-2013. Mezhgosudarstvennyi standart. Metody izmereniia pokazatelei kachestva elektricheskoi energii. Data vvedeniia 2014-01-01. [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://docs.cntd.ru/document/1200104665> (data obrashcheniia: 10 iunia 2022 g.).

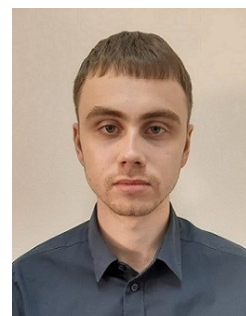
14. Pribory izmereniia pokazatelei kachestva elektroenergii (analizatory i registratory). [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://mirmsk.ru/pribory-pokazateley-kachestva-elektroenergii-analizatory-i-registratory> (data obrashcheniia: 10 iunia 2022 g.).

15. Raschet induktivnykh svyazei – modelirovanie i raschet. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa [https://bstudy.net/715358/estestvoznание/raschet\\_induktivnyh\\_svyazey](https://bstudy.net/715358/estestvoznание/raschet_induktivnyh_svyazey) (data obrashcheniia: 11 iunia 2022 g.).

16. Naumov I.V. Snizhenie poter i povyshenie kachestva elektricheskoi energii v selskikh raspredelitelnykh setiakh 0,38 kV s pomoshchiu simmetririuiushchikh ustroistv / dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni doktora tekhn. nauk. – Sankt-Peterburg; Pushkin, 2002. – 387 s.

17. Kulagin S.A. Metody i sredstva povysheniia kachestva elektricheskoi energii v deistvuiushchikh raspredelitelnykh setiakh 0,38 kV s nesimmetrichnoi nagruzkoi / dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhn. nauk. – Leningrad: LSKhI, 1990. – 190 s.

18. Naumov I.V., Fedorinova E.S., Iakupova M.A. "Unbalance-2". Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii kompiuternoii programmy No. 2022610925. Data registratsii 18.01.2022.



УДК 537.86:331.45  
DOI: 10.53083/1996-4277-2022-216-10-81-89

Е.В. Титов, А.В. Крюков, Д.А. Середкин  
E.V. Titov, A.V. Kryukov, D.A. Seredkin

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ  
К НОРМИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ  
В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ В СООТВЕТСТВИИ  
С РОССИЙСКИМИ И ЕВРОПЕЙСКИМИ НОРМАТИВНЫМИ ДОКУМЕНТАМИ**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF APPROACHES TO NORMING OF ELECTROMAGNETIC FIELD  
UNDER PRODUCTION CONDITIONS IN ACCORDANCE WITH THE RUSSIAN  
AND EUROPEAN REGULATORY DOCUMENTS**

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, контроль электромагнитной обстановки, предельно допустимый уровень, нормативно-правовое регулирование, международные рекомендации, производственные условия, график распределения ЭМП, годографы напряженностей, проблематика санитарно-гигиенического нормирования.

**Keywords:** electromagnetic field (EMF), control of electromagnetic environment, maximum permissible level, legal and regulatory framework, international recommendations, production conditions, EMF distribution chart, strength hodographs, problems of sanitary and hygienic norming.

Проведен детальный анализ российских и европейских нормативно-правовых документов в области контроля составляющих электромагнитного поля в расширенном до 3 ТГц диапазоне частот. Для обеспечения электромагнитной безопасности вблизи компьютерной техники используются нормы, которые учитывают технические возможности мониторов и не основываются на проверенных санитарно-гигиенических исследованиях безопасных уровней. Пороговые предельно допустимые уровни не обновлялись более десяти лет, а некоторые нормы утверждены до того, как проблема электромагнитной безопасности стала актуальной. Действующий в настоящее время принцип контроля в ближней зоне излучения недостаточно корректен. Неравномерно обеспечены нормативами и возможностями контроля общественная сфера и производственные объекты. Полученные результаты компьютерного моделирования показывают, что за счет гармонических искажений уровни напряженностей электрического и магнитного полей могут существенно возрастать и происходит деформация годографов их векторов. Общепринятую методику определения допустимого времени пребывания людей в области пересечения зон опасности возможно использовать только для случаев одновременного воздействия нескольких однотипных источников в ограниченном диапазоне частот. Существующая методика проведения электромагнитного мониторинга не включает обязательный контроль вторичных излучающих источников. В данной статье отдельно выделены противоречивые подходы российских и европейских стандартов в принципах определения предельно допустимых уровней отдельных составляющих электромагнитного поля для производственных условий. Полученные результаты исследования подтверждают, что в России гигиенические нормативы разработаны для дискретных частотных диапазонов, а предельно допустимые уровни международной комиссии по защите от неионизирующего излучения учитывают практически весь их спектр за исключением электростатического поля и переменных полей в диапазоне от 300 ГГц до 3 ТГц. Весьма актуальной остается проблема контроля электромагнитной обстановки в условиях

одновременного воздействия составляющих электромагнитного поля в расширенном до 3 ТГц диапазоне частот.

This paper deals with detailed analysis of Russian and European regulatory documents in the field of control of electromagnetic field components in the frequency range up to 3 THz. To ensure electromagnetic safety near computer equipment, there are the standards that take into account the technical capabilities of monitors and are not based on safe levels tested by sanitary and hygienic studies. Threshold maximum permissible levels were not updated for more than ten years, and some standards were approved before the problem of electromagnetic safety became relevant. The current control principle in the near radiation zone is not correct enough. The standards and control capabilities are developed unevenly for the public sphere and industrial facilities. The obtained results of computer modeling show that due to harmonic distortions, the intensity levels of electric and magnetic fields may increase and the hodographs of their vectors are deformed. The common method for determining the permissible time of stay of people in the area of intersection of danger zones may only be used for cases of simultaneous exposure to several sources of the same type in a limited frequency range. The existing methods of electromagnetic monitoring do not include mandatory monitoring of secondary emitting sources. This paper highlights the contradictory approaches of the Russian and European standards to the principles of determining the maximum permissible levels of individual components of the electromagnetic field for production conditions. The research findings confirm that the Russian hygienic standards are developed for discrete frequency ranges, and the maximum permissible levels of the international commission for protection against non-ionizing radiation take into account almost their entire spectrum with the exception of the electrostatic field and variable fields in the range from 300 GHz to 3 THz. The problem of controlling the electromagnetic environment under the conditions of simultaneous exposure to the components of the electromagnetic field in the frequency range extended to 3 THz remains relevant.

**Титов Евгений Владимирович**, д.т.н., доцент, вед. науч. сотр., ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: 888tev888@mail.ru.

**Крюков Андрей Васильевич**, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: and\_kryukov@mail.ru.

**Середкин Дмитрий Александрович**, аспирант, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: dmitriy987@mail.ru.

**Titov Evgeniy Vladimirovich**, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Leading Researcher, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: 888tev888@mail.ru.

**Kryukov Andrey Vasilevich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: and\_kryukov@mail.ru.

**Seredkin Dmitry Aleksandrovich**, post-graduate student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: dmitriy987@mail.ru.

### Введение

Для обеспечения безопасности технические средства должны функционировать с нормативным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не оказывать неблагоприятного влияния на биологические объекты [1]. Поэтому на основании приказа Минтруда РФ № 334, Федеральных законов РФ № 384 (ст. 27), № 52 (ст. 23 и 27) и № 7 (ст. 55) органы государственной власти Российской Федерации, субъектов РФ местного самоуправления, юридические и физические лица при осуществлении хозяйственной и иной деятельности обязаны принимать необходимые меры по предупреждению и устранению негативного воздействия электромагнитных полей (ЭМП) на окружающую среду [2, 3], в том числе проводить периодический контроль их напряженностей [4, 5].

В настоящее время нормирование и контроль ЭМП проводятся на основе российских и международных нормативных документов, действующих в рамках СНГ, которые охватывают большинство параметров электромагнитных полей, создаваемых техническими средствами. В России система нормативных документов в области электромагнитной безопасности включает государственные стандарты, санитарные правила и нормы, гигиенические нормативы, методические указания и рекомендации.

Санитарные правила и нормы регламентируют гигиенические требования наиболее подробно, при этом рассматриваются конкретные ситуации воздействия ЭМП, а также отдельные виды продукции. Как правило, СанПиНы сопровождаются методическими указаниями по выполнению контроля электромагнитной обстановки и проведению защитных мероприятий.

В зависимости от отношения подвергающегося влиянию ЭМП человека к излучающему источнику выделяются условия воздействия полей для двух укрупненных групп [6-9]:

– персонала, профессионально связанного с эксплуатацией и обслуживанием излучающих источников;

– персонала, профессионально не связанного с их эксплуатацией и обслуживанием; в состав этой группы входят также лица, работа или обучение которых не связаны с пребыванием в зонах влияния излучающих источников, а также люди, не проходящие предварительных и периодических медицинских осмотров по данному

фактору; работающие или учащиеся, не достигшие 18 лет; женщины в состоянии беременности; лица, находящиеся в жилых, общественных, служебных зданиях, на территориях жилой застройки и в местах массового отдыха.

Однако при оценке состояния электромагнитной обстановки возникает ряд трудностей, связанных в том числе с противоречивыми подходами российских и европейских нормативных документов.

**Целью** проводимых исследований является выявление проблематики санитарно-гигиенического нормирования составляющих электромагнитного поля в расширенном до 3 ТГц диапазоне частот для развития методики электромагнитного мониторинга внутри и вне помещений производственных и коммунально-бытовых объектов.

### Объекты и методы

Для достижения поставленной цели проведен детальный анализ российских [2-8] и европейских [1, 10-12] нормативно-правовых документов в области контроля электромагнитной обстановки в широком частотном диапазоне.

В соответствии с [9] субмиллиметровый диапазон определяется как диапазон частот от 300 ГГц до 3 ТГц (диапазон длин волн от 1 до 0,1 мм). Однако в России санитарно-гигиенические нормативы [6-8] не устанавливают предельно допустимые уровни (ПДУ) отдельно для гипервысокого диапазона частот ЭМП. Поэтому, учитывая, что нормируемый частотный диапазон инфракрасного излучения (300 ГГц...429 ТГц) [6] включает гипервысокие частоты электромагнитного поля, нормирование этого диапазона предлагается осуществлять по длинноволновой области инфракрасного излучения.

На рабочих местах с производственными излучающими источниками интенсивность облучения не должна превышать допустимые величины, приведенные в таблице [6].

Таблица

**ПДУ интенсивности облучения поверхности тела работающих от производственных источников**

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> , не более
50 и более	35
25-50	70
25 не более	100

Несмотря на функционирование Государственной системы санитарно-гигиенического нормирования, специфика влияния неионизирующего электромагнитного излучения на биологические объекты полностью не изучена. По мнению многих специалистов, влияние ЭМП гораздо более значительно, чем предусматривают существующие российские [6-8] и международные [10-12] стандарты.

### Результаты исследований и их обсуждение

Так, для обеспечения электромагнитной безопасности вблизи ПЭВМ используются нормы, взятые из шведских стандартов [11, 12]. Эти нормативно-технические документы устанавливают ПДУ на уровни излучений мониторов исходя из технических возможностей, достижимых при функционировании данного вида техники, и не основываются на проверенных санитарно-гигиеническими исследованиями безопасных уровнях [9, 13].

Пороговые ПДУ не обновлялись более десяти лет, а некоторые предельно допустимые уровни утверждены до того, как проблема электромагнитной безопасности стала актуальной. Так, существующие гигиенические нормативы электромагнитного поля радиочастотного диапазона разработаны до распространения подвижной радиосвязи и не учитывают современные условия ежедневного облучения [13].

Учитывая, что аппараты сотовой связи, рации, Bluetooth-гарнитуры и другие переносные средства коммуникации находятся в непосредственном контакте с головным мозгом человека, возникают дополнительные сложности при контроле ЭМП, связанные с неоднородностью распространения излучения в ближней зоне (зоне Фраунгофера). Поэтому действующий в настоящее время принцип контроля такого рода воздействий недостаточно корректен [13, 14], что определяет необходимость разработки нового подхода к определению опасных уровней ЭМП в контролируемом пространстве, в том числе в ближней зоне. Кроме того, неравномерно обеспечены нормативами, следовательно, возможностями контроля обстановки общественная сфера и производственные объекты [14, 15].

Следующим недостатком российского санитарно-гигиенического нормирования ЭМП является отсутствие ПДУ для некоторых диапазонов частот. Так, при нормировании переменных электромагнитных полей для производственных

условий по-прежнему отсутствуют предельно допустимые уровни ЭМП для диапазонов частот (не включая граничные значения) 0,1...5 Гц (для всех источников ЭМП), 5...50 Гц, 50 Гц...10 кГц (за исключением ПК и ИКТ) и 300 ГГц...3 ТГц, а в диапазонах частот 3...30 МГц и 50...300 МГц отсутствуют ПДУ для энергетической экспозиции и параметров магнитного поля [15, 18].

Контроль электромагнитной обстановки на рабочих местах пользователей ПК и других средств ИКТ согласно [6] выполняется только в условиях влияния электростатического поля, электрического и магнитного полей в диапазонах частот 5 Гц...2 кГц и 2...400 кГц, а также электромагнитных полей в диапазоне 300 МГц...300 ГГц. Однако для остальных диапазонов частот ПДУ не разработаны.

В российских стандартах частотный диапазон электрического поля 300 Гц...300 кГц не нормируется (за исключением ПК и других средств ИКТ), несмотря на то, что в этом интервале частот генерируют электромагнитные импульсы сердца: 700...800 Гц, почки: 600...700 Гц, печень: 300...400 Гц [16, 17]. Не разработаны ПДУ магнитных полей для этих наиболее опасных диапазонов частот, совпадающих с собственными электромагнитными колебаниями органов человека [18], а для сотрудников производственной сферы отсутствует нормирование как электрического, так и магнитного полей в указанных частотных диапазонах [6-8].

В рассмотренных выше ненормируемых диапазонах создаются ЭМП от множества электротехнических устройств, таких как транспорт, установки освещения и электроснабжения зданий, медицинское оборудование, системы безопасности и различные производственные электроустановки [1, 9]. Так, результаты компьютерного моделирования, выполненные по методике, описанной в работах [19, 20], показывают, что за счет гармонических искажений, лежащих в диапазоне 150...2000 Гц, уровни напряженностей ЭМП, создаваемой высоковольтной линией электропередачи, могут существенно возрастать (рис. 1). Кроме того, происходит деформация годографов векторов напряженностей (рис. 2).

Необходимость контроля промежуточных частот в указанных выше диапазонах объясняется еще и тем, что на практике возникают эффекты наложения электромагнитных волн с несколькими частотами [21, 22]. Поэтому при измерениях



реально контролируются уровни наложенных полей, которые невозможно оценить на соответствие ПДУ вследствие отсутствия этих норм.

Кроме этого общепринятую методику определения допустимого времени пребывания людей в области пересечения зон опасности возможно использовать только для случаев одновременного воздействия ЭМП в ограниченном диапазоне частот от 30 кГц до 300 ГГц в ситуациях облучения от нескольких однотипных ис-

точников с одним или разными значениями ПДУ. Однако на практике человек подвергается одновременному воздействию полей от различных групп излучающих источников (производственные, бытовые и ПЭВМ) во всем спектре частот, включая дополнительно электростатическое и постоянное магнитное поля, поля промышленной частоты и излучения радиочастотного диапазона от 10 до 30 кГц.

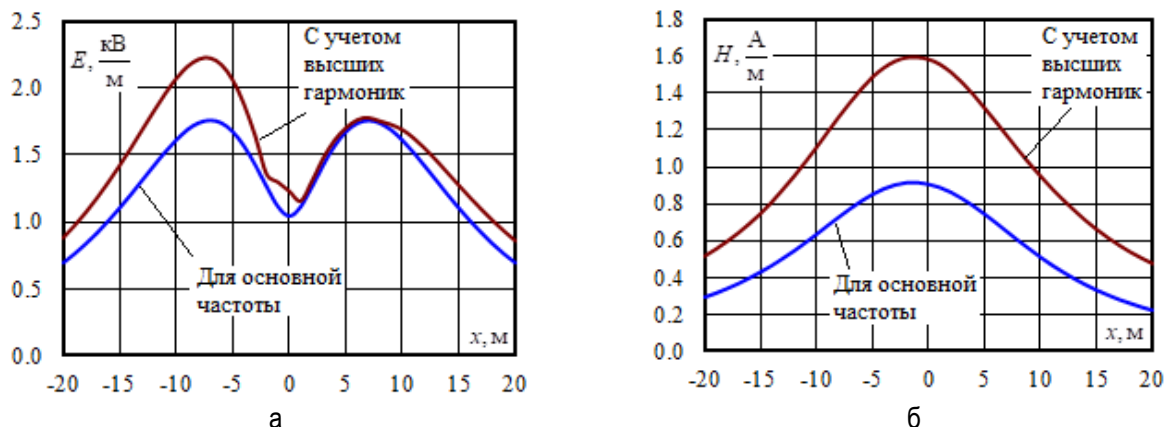


Рис. 1. Распределение напряженности электрического (а) и магнитного (б) полей в сечении ЛЭП на высоте 1,8 м

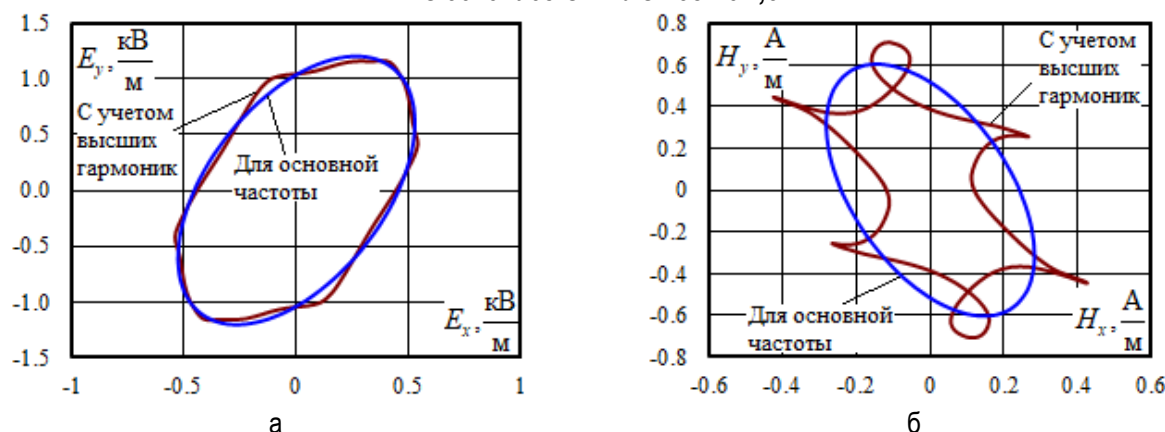


Рис. 2. Годографы векторов напряженности электрического (а) и магнитного (б) полей в точке  $x = 2$

Существующая методика проведения электромагнитного мониторинга не включает обязательный контроль вторичных излучающих источников. Однако повышенный уровень магнитного поля на рабочем месте может иметь место также из-за особенностей монтажа электропроводки и системы заземления. Заземление корпусов электроприборов на элементы арматуры здания, выполненное в виде замкнутых контуров, может стать причиной повышения уровня магнитного поля в помещении. Следовательно, при контроле электромагнитной обстановки необходимо учитывать уровень ЭМП от вторич-

ных источников, особенности монтажа проводки, системы освещения и заземления.

Следует выделить противоречивые подходы российских и европейских стандартов в принципах определения предельно допустимых уровней отдельных составляющих электромагнитного поля и нормируемых параметров [13-15]: российские стандарты [6-8] основываются на определении порога неблагоприятных последствий при длительном воздействии ЭМП, а в основу нормирования европейских гигиенических регламентов [10-12] положен принцип определения порога вредного воздействия ЭМП с учетом преимущественно острых воздействий. Это

можно явно оценить в результате сравнения ПДУ ЭМП для производственного персонала в соответствии с российскими и европейскими

стандартами. Такое сравнение представлено на рисунках 3-5.

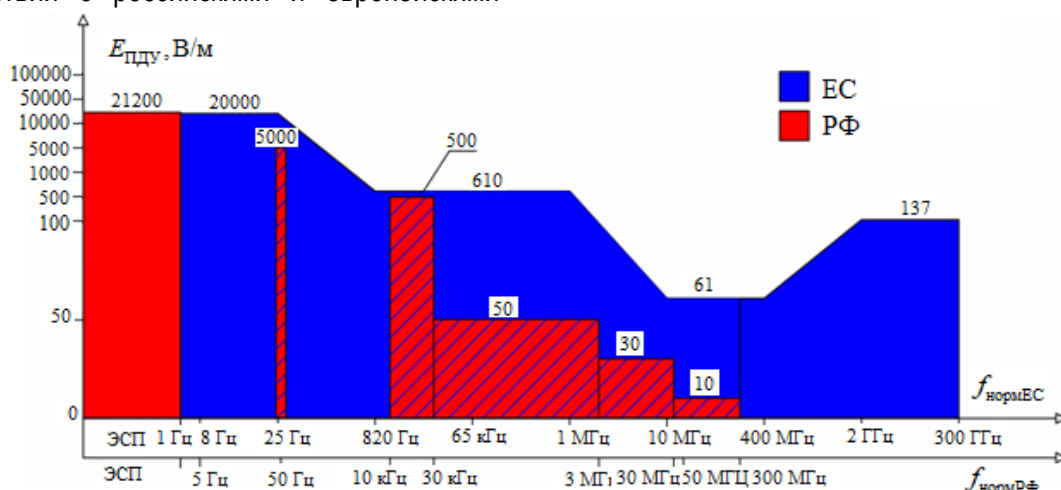


Рис. 3. ПДУ напряженности электрического поля для производственных условий

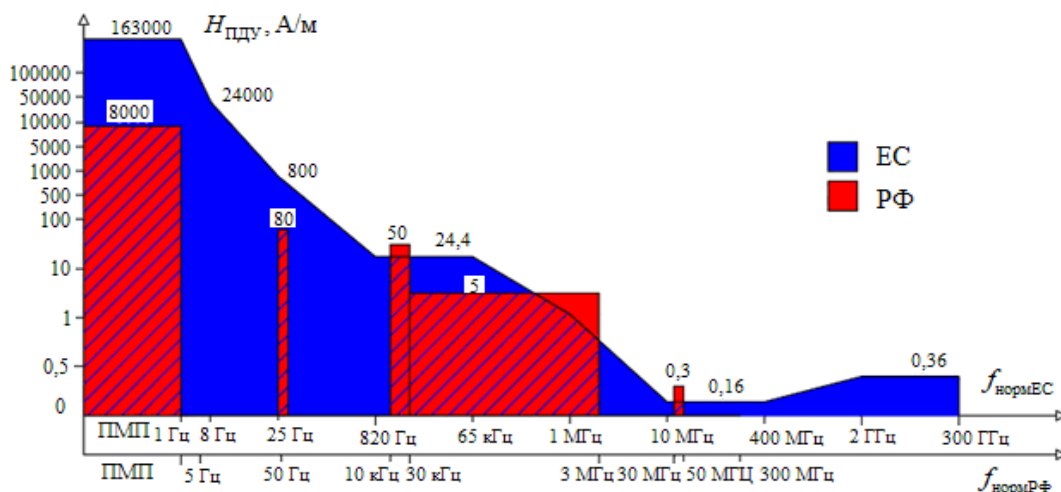


Рис. 4. ПДУ напряженности магнитного поля для производственных условий

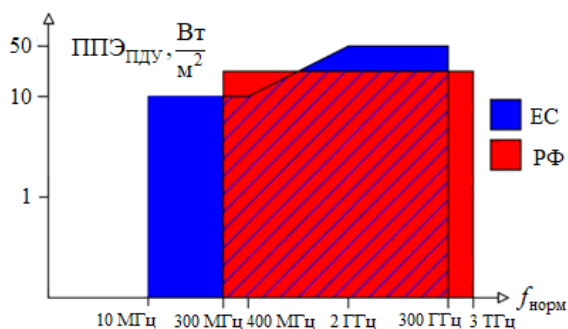


Рис. 5. ПДУ плотности потока энергии для производственных условий

### Заключение

Анализ полученных графиков (рис. 3-5) показывает, что в европейских регламентах реализуется более глубокая проработка частотных диапазонов при нормировании параметров ЭМП. Представленные диаграммы позволяют сделать вывод о том, что в России гигиениче-

ские нормативы разработаны для дискретных частотных диапазонов, тогда как ПДУ международной комиссии по защите от неионизирующего излучения (ICNIRP) учитывают практически весь их спектр за исключением электростатического поля и ЭМП в диапазоне от 300 ГГц до 3 ТГц.

Кроме того, весьма актуальной остается проблема контроля электромагнитной обстановки в условиях одновременного воздействия составляющих электромагнитного поля в расширенном до 3 ТГц диапазоне частот.

### Библиографический список

1. World Health Organization. Electromagnetic Fields and Public Health. – URL: <https://www.who.int/peh-emf/publications/factsheets/en> (дата обращения: 01.10.2022). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

2. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ. – Текст: непосредственный // Совет Федерации. – 1999. – 44 с.
3. Приказ Минтруда РФ № 334н. Специалист по технической поддержке процесса эксплуатации устройств электрификации и электроснабжения железнодорожного транспорта: Профессиональный стандарт. – Москва: Минтруд России, 2020. – Текст: непосредственный.
4. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ. Принят Государственной Думой 20 декабря 2001 года. Одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года. – Москва, 2001. – 99 с. – Текст: непосредственный.
5. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ. Принят Государственной Думой 23 декабря 2009 года. Одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 года. – Москва, 2009. – 32 с. – Текст: непосредственный.
6. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – Москва: Роспотребнадзор, 2021. – 452 с. – Текст: непосредственный.
7. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи. – Москва: Минздрав России, 2003. – 13 с. – Текст: непосредственный.
8. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов. – Москва: Минздрав России, 2007. – 22 с. – Текст: непосредственный.
9. Куликова, Л. В. Основы электромагнитной совместимости / Л. В. Куликова, О. К. Никольский, А. А. Сошников. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2020. – 405 с. – Текст: непосредственный.
10. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). – URL: <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>. – ICNIRP publication, 1998 (дата обращения: 01.10.2022). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
11. MPR 1990: 8 1990-12-01 Test procedure for displays. Visual ergonomic characteristics. Characteristics of emissions. – 1992.
12. MPR 1990:10 1990-12-31 User's reference guide for evaluating the quality of displays. – 1992.
13. Рубцова, Н. Б. Информационные технологии как источник неблагоприятного воздействия на человека электромагнитных полей. Классификация / Н. Б. Рубцова, С. Ю. Перов, Е. В. Богачева. – Текст: непосредственный // Безопасность в техносфере. – 2012. – № 2. – С. 25-29.
14. Пальцев, Ю. П. Современное состояние гигиенической регламентации электромагнитных полей и перспективы гармонизации с зарубежными стандартами / Ю. П. Пальцев, Л. В. Походзей, Н. Б. Рубцова. – Текст: непосредственный // Медицина труда и промышленная экология. – 2008. – № 6. – С. 63-65.
15. Никитина, В. Н. Новые санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах / В. Н. Никитина, Н. И. Калинина, Г. Г. Ляшко. – Текст: непосредственный // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. – 2019. – Т. 5, № 5. – С. 62-65.
16. Большаков, М. А. Физиологические механизмы действия радиочастотных электромагнитных излучений на биообъекты разных уровней организации: диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук: 03.00.13 / Большаков Михаил Алексеевич. – Томск, 2002. – 319 с. – Текст: непосредственный.
17. Гордеева, М. А. Влияние электромагнитных полей на растительные и животные организмы: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: 03.02.08 / Гордеева Мария Андреевна. – Тюмень, 2013. – 198 с. – Текст: непосредственный.
18. Ефимов, А. Г. Исследование взаимодействия комбинированных электромагнитных полей с металлом, разработка эффективных средств электромагнитной дефектоскопии: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.11.13 / Ефимов Алексей Геннадьевич. – Москва, 2012. – 308 с. – Текст: непосредственный.
19. Буюкова, Н. В. Электромагнитная безопасность в системах электроснабжения железных дорог: моделирование и управление / Н. В. Буюкова, В. П. Закарюкин, А. В. Крюков. – Ангарск: АНГТУ, 2018. – 382 с. – Текст: непосредственный.

20. Simulation of Electromagnetic Fields Generated by Overhead Power Lines and Railroad Traction Networks / N. V. Buyakova, V. P. Zakaryukin, A. V. Kryukov, D. A. Seredkin. – DOI 10.38028/esr.2021.02.0007. – Текст: электронный // Energy Systems Research. – 2021. – Vol. 4. – No 2(14). – P. 70-88. – URL: <https://doi.org/10.38028/esr.2021.02.0007> (дата обращения: 01.10.2022). – Режим доступа: свободный.

21. Titov E.V., Soshnikov A.A., Migalev I.E., "Computer Imaging of Electromagnetic Environment in Air Space with Industrial Electromagnetic Field Sources in Conditions of Combined Influence of EM Radiation," Journal of Electromagnetic Engineering and Science. vol. 22, no. 1, pp. 34-40, Jan. 2022. ID No. 20210317-036J. – DOI: <https://doi.org/10.26866/jees.2022.1.r.58> (дата обращения: 01.10.2022). – Режим доступа: свободный.

22. Компьютерное моделирование наложенных электромагнитных волн от источников электромагнитного поля в широком диапазоне частот / Е. В. Титов, А. А. Сошников, В. Ю. Васильев, А. С. Соловской. – DOI 10.53083/1996-4277-2022-209-3-102-108. – Текст: электронный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3 (209). – С. 102-108. – URL: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-209-3-102-108> (дата обращения: 01.10.2022). – Режим доступа: свободный.

### References

1. World Health Organization. Electromagnetic Fields and Public Health. – URL: <https://www.who.int/peh-emf/publications/factsheets/en> (дата обращения: 01.10.2022). – Режим доступа: свободный.

2. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон от 30.03.1999 No. 52-FZ // Совет Федерации. – 1999. – 44 с.

3. Приказ Минтруда РФ No. 334н. Специалист по технической поддержке процесса эксплуатации устройств электрификации и электроснабжения железнодорожного транспорта: Профессиональный стандарт. – Москва: Минтруд России, 2020.

4. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 No. 7-FZ // Совет Федерации. – 2001. – 99 с.

5. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон от

30.12.2009 No. 384-FZ // Совет Федерации. – 2009. – 32 с.

6. SanPiN 1.2.3685-21. Гигиенические нормы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – Москва: Роспотребнадзор, 2021. – 452 с.

7. SanPiN 2.1.8/2.2.4.1190-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи. – Москва: Минздрав России, 2003. – 13 с.

8. SanPiN 2.1.8/2.2.4.1383-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передатчиков радиотехнических объектов. – Москва: Минздрав России, 2007. – 22 с.

9. Kulikova, L.V. Osnovy elektromagnitnoi sovместимости / L.V. Kulikova, O.K. Nikolskii, A.A. Soshnikov. – Москва-Berlin: Direkt-Media, 2020. – 405 с.

10. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). – URL: <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>. – ICNIRP publication, 1998 (дата обращения: 01.10.2022). – Режим доступа: свободный.

11. MPR 1990: 8 1990-12-01 Test procedure for displays. Visual ergonomic characteristics. Characteristics of emissions. – 1992.

12. MPR 1990:10 1990-12-31 User's reference guide for evaluating the quality of displays. – 1992.

13. Rubtsova, N.B. Informatsionnye tekhnologii kak istochnik neblagopriyatnogo vozdeistviia na cheloveka elektromagnitnykh polei. Klassifikatsiia / N.B. Rubtsova, S.Iu. Perov, E.V. Bogacheva // Bezopasnost v tekhnosfere. – 2012. – No. 2. – S. 25-29.

14. Paltsev, Iu.P. Sovremennoe sostoianie gigienicheskoi reglamentatsii elektromagnitnykh polei i perspektivy garmonizatsii s zarubezhnymi standartami / Iu.P. Paltsev, L.V. Pokhodzei, N.B. Rubtsova // Meditsina truda i promyshlennaia ekologiia. – 2008. – No. 6. – S. 63-65.

15. Nikitina, V.N. Novye sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniia k fizicheskim faktoram na rabochikh mestakh / V.N. Nikitina, N.I. Kalinina, G.G. Liashko // Trudy Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnicheskogo universiteta. – 2019. – T. 5, No. 5. – S. 62-65.

16. Bolshakov, M.A. Fiziologicheskie mekhanizmy deistviia radiochastotnykh elektromagnitnykh izlucheniia na bioobjekty raznykh urovnei organi-



zatsii: dis. ... d-ra biol. nauk: 03.00.13 / Bolshakov Mikhail Alekseevich. – Tomsk, 2002. – 319 s.

17. Gordeeva, M.A. Vliianie elektromagnitnykh polei na rastitelnye i zhivotnye organizmy: dis. ... kand. biol. nauk: 03.02.08 / Gordeeva Mariia Andreevna. – Tiumen, 2013. – 198 s.

18. Efimov, A.G. Issledovanie vzaimodeistviia kombinirovannykh elektromagnitnykh polei s metallom, razrabotka effektivnykh sredstv elektromagnitnoi defektoskopii: dis. ... d-ra tekhn. nauk : 05.11.13 / Efimov Aleksei Gennadevich. – Moskva, 2012. – 308 s.

19. Buiakova, N.V. Elektromagnitnaia bezopasnost v sistemakh elektrosnabzheniia zheleznykh dorog: modelirovanie i upravlenie / N.V. Buiakova, V.P. Zakariukin, A.V. Kriukov. – Angarsk: AnGTU, 2018. – 382 s.

20. Simulation of Electromagnetic Fields Generated by Overhead Power Lines and Railroad Traction Networks / N.V. Buyakova, V.P. Zakariukin, A.V. Kryukov, D.A. Seredkin // Energy Systems Research. – 2021. – Vol. 4. – No. 2 (14). – P. 70-88. – DOI: <https://doi.org/10.38028/esr.2021.02.0007> (data obrashcheniia: 01.10.2022). – Rezhim dostupa: svobodnyi.

21. Titov E.V., Soshnikov A.A., Migalev I.E., Computer Imaging of Electromagnetic Environment in Air Space with Industrial Electromagnetic Field Sources in Conditions of Combined Influence of EM Radiation. Journal of Electromagnetic Engineering and Science. vol. 22, no. 1, pp. 34-40, Jan. 2022. ID No. 20210317-036J. – DOI: <https://doi.org/10.26866/jees.2022.1.r.58> (data obrashcheniia: 01.10.2022). – Rezhim dostupa: svobodnyi.

22. Kompiuternoe modelirovanie nalozhennykh elektromagnitnykh voln ot istochnikov elektromagnitnogo polia v shirokom diapazone chastot / E.V. Titov, A.A. Soshnikov, V.Iu. Vasilev, A.S. Solovskoi // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2022. – No. 3 (209). – S. 102-108. – DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-209-3-102-108> (data obrashcheniia: 01.10.2022). – Rezhim dostupa: svobodnyi.

◆ ◆ ◆

УДК 519.876.5

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-216-10-89-100

С.Ю. Еремочкин, Д.В. Дорохов

S.Yu. Eremochkin, D.V. Dorokhov

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЫ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ УСТРОЙСТВОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ

### DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A SINGLE-PHASE ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE OF AN AGRICULTURAL MACHINE WITH A SEMICONDUCTOR SPEED CONTROL DEVICE

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, имитационное моделирование, Matlab, Simulink, векторно-алгоритмическое управление.

Однофазные асинхронные электроприводы широко используются в машинах и агрегатах всех отраслей сельского хозяйства. При этом применяются устаревшие и неэффективные способы питания от сети, например, конденсаторный пуск. Для наиболее эффективного и энергосберегающего питания асинхронного электродвигателя повсеместно используются частотные преобразователи. Однако однофазные частотные преобразователи являются довольно дорогостоящими. Альтернативой использования дорогостоящих частотных преобразователей, а также низкоэффективных конденсаторов в однофазном асинхронном электро-

приводе, может оказаться питание с помощью систем управления векторно-алгоритмического типа. Полупроводниковое устройство регулирования скорости состоит из 4 пар полупроводниковых ключей, подсоединенных к источнику постоянного тока и обмоткам статора. С помощью различных вариантов включения статорных обмоток электродвигателя можно создавать различные типы вращающихся магнитных полей, которые можно использовать для регулирования скорости электродвигателя и обеспечивать возможность реверса электродвигателя. Для снижения денежных затрат на изготовление лабораторных образцов на начальном этапе проектирования полупроводниковых устройств целесообразно провести компьютерное моделирование. Целью работы является разработка однофазного асинхронного электропривода на основе векторно-