

5. Ницкий Р.А. Роль тетрагональных кристаллов цинка в этиопатогенезе литейной лихорадки // Гиг. труда и проф. заболевания. — 1986. — № 8. — С. 52–54.

6. Потапов А.И., Ракитский В.Н., Тулакин А.В., Луценко Л.А., Ильницкая А.В., Егорова А.М., Гвоздева Л.Л. Особенности воздействия высокодисперсных аэрозолей и актуальные проблемы нанобезопасности. // Вестник Росс. государственного медицинского университета. — 2013. — № 5–6. — С. 119–123.

7. Профессиональная патология: национальное руководство / Под. ред. Н.Ф. Измерова. — М.: Гэотар-Медиа, 2011. — 784 с.

8. Рослый О.Ф., Рослая Н.А., Слышкина Т.В., Федорук А.А. Медицина труда при производстве и обработке сплавов цветных металлов. — Екатеринбург: Режевская типография, 2012. — 223 с.

dispersed aerosols action and topical problems of nano-safety // Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta. — 2013. — 5–6. — P. 119–123 (in Russian).

7. N.F. Izmerov, ed. Occupational diseases: national manual. — Moscow: Geotar-Media, 2011. — 784 p. (in Russian).

8. Roslyy O.F., Roslaya N.A., Slyshkina T.V., Fedoruk A.A. Occupational medicine in production and processing of non-ferrous metals alloys. — Ekaterinburg: Rezhevskaya tipografiya, 2012. — 223 p. (in Russian).

9. Geiser M., Kreyling W. Deposition and biokinetics of inhaled nanoparticles // Part Fibre Toxicol. — 2010. — 1. — P. 2–9.

10. Kreyling W.G., Hirn S., Schleh C. Nanoparticles in the lung // Nat Biotechnol. — 2010. — 28(12). — P. 1275–1276.

Поступила 21.04.2017

REFERENCES

1. Velichkovskiy B.T. On express-method of forecasting possible pathologic influence of nanoparticles on humans // Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya RAMN. — 2009. — 4. — P. 72–76 (in Russian).

2. Velichkovskiy B.T., Petrov B.A., Voznesenskiy N.K. Industrial aerosols in non-ferrous metallurgy. — Kirov: RIO KGMA, 2003. — 132 p. (in Russian).

3. Voznesenskiy N.K., Velichkovskiy B.T. Occupational diseases due to zincum oxide fumes (foundry fever, exogenic fibrosing alveolitis). — Kirov: Izdatel'stvo Kirovskogo oblastnogo Byuro meditsinskoy statistiki, 2000. — 112 p. (in Russian).

4. Lutsenko L.A., Rakitskiy V.N., Il'nitskaya A.V., Egorova A.M., Gvozdeva L.L. Features of nano-dimensional aerosols action, and safety measures // Industr. med. — 2016. — 3. — P. 6–11 (in Russian).

5. Nishiy R.A. Role of tetragonal zincum crystals in etiology and pathogenesis of foundry fever // Occupatinal hygiene. — 1986. — 8. — P. 52–54 (in Russian).

6. Potapov A.I., Rakitskiy V.N., Tulakin A.V., Lutsenko L.A., Il'nitskaya A.V., Egorova A.M., Gvozdeva L.L. Features of high-

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Вознесенский Николай Константинович (Voznesenskiy N.K.), проф. каф. факул. тер. № 2 и проф. болезней с курсом проф. болезней ФДПО ГБОУ ВПО «Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера» МЗ РФ, гл. науч. сотр. ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», д-р мед. наук. E-mail: nikwo@mail.ru.

Величковский Борис Тихонович (Velichkovskiy B.T.), акад. РАН, помощник ректора Российского научно-исследовательского университета им. Н.И. Пирогова по науке. E-mail: Vor-vel0@rambler.ru.

Алексеев Вадим Борисович (Alekseev V.B.), зам. дир. ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», д-р мед. наук. E-mail: vadim@fcrisk.ru.

Малютина Наталья Николаевна (Malyutina N.N.), зав. каф. факул. тер. № 2 и проф. болезней с курсом проф. болезней ФДПО ГБОУ ВПО «Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера» МЗ РФ, д-р мед. наук, проф. E-mail: Dr-malyutina@yandex.ru.

УДК 615.862

Белинский С.О.

ОЦЕНКА РИСКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ПЕРСОНАЛ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

ЧУ ФНПР «Научно-исследовательский институт охраны труда в г. Екатеринбурге», ул. Толмачева, д. 11, Екатеринбург, Россия, 620075

Данная статья посвящена исследованиям параметров низкочастотных магнитных полей, возникающих на рабочих местах персонала, обслуживающего объекты тягового электроснабжения. В публикации рассматриваются результаты экспериментальных данных спектрального анализа индукции магнитного поля и дана оценка степени вредного воздействия данного производственного фактора на здоровье персонала.

Ключевые слова: риск, магнитные поля, индукция, спектр, нормирование, персонал, электроустановки

Belinskiy S.O. **Evaluating risk of low-frequency magnetic fields effects on electric devices personnel**

Scientific research institute of labour protection in the city of Yekaterinburg, 11, ul. Tolmacheva, Ekaterinburg, Russia, 620075

The article covers studies of low frequency magnetic fields parameters at workplaces of personnel servicing traction motors, results of experimental data in spectral analysis of magnetic field induction, evaluation of hazardous influence caused by this occupational factor on the workers' health.

Key words: risk; magnetic fields; induction; spectrum; regulation; personnel; electric devices

К объектам тягового электроснабжения относятся электроустановки (ЭУ) контактной сети и тяговых подстанций электрифицированного транспорта. Условия труда персонала, обслуживающего данные ЭУ, включают комплекс опасных и вредных факторов производственной среды и трудового процесса (опасность наезда подвижного состава, опасность поражения электрическим током, работа на высоте, тяжесть и напряженность труда, повышенный уровень шума). Особое место среди опасных и вредных производственных факторов занимают магнитные поля (МП). Данный фактор оказывает также влияние и на многочисленный персонал, не связанный с эксплуатацией ЭУ, но подвергающийся воздействию МП в процессе трудовой деятельности, а также население, пользующееся пассажирским транспортом и проживающее вблизи электрифицированных линий.

Объекты тягового электроснабжения являются мощным техногенным источником низкочастотных (в диапазоне от 0 до 10 000 Гц) МП, так как имеют ряд технических особенностей по сравнению с дру-

гими ЭУ: используются различные классы напряжений разного рода тока (220; 110; 35; 27,5; 10; 6 кВ переменного тока и 3,3 кВ постоянного тока тяговых подстанций), нагрузка тяговой сети (напряжением 27,5 кВ переменного и 3,3 кВ постоянного тока) имеет резко неравномерный характер, используются не только трехфазные, но и однофазные, многофазные установки и линии переменного тока, а также двухполюсные линии постоянного тока. Такие конструкции и условия работы ЭУ способствуют возникновению высоких уровней напряженности МП спектра частот до 10 кГц, которые возникают в результате преобразования в устройствах электроснабжения напряжения переменного тока в напряжение выпрямленного постоянного тока.

В данной работе представлены отдельные результаты экспериментальных исследований. Результаты экспериментальных исследований параметров МП в ЭУ также опубликованы в [1–3].

Цель исследования. Оценка интенсивности МП в диапазоне частот более 50 Гц на рабочих местах персонала и сравнение с нормируемыми значениями Российских и международных документов.

Материал и методики. Для получения спектральных характеристик МП и их дальнейшего анализа были проведены серии экспериментов путем инструментальных измерений на ряде тяговых подстанций (ТП) с 6-ти пульсовыми выпрямительными преобразователями в основных рабочих зонах персонала, обслуживающего данные ЭУ.

Измерения осуществлялись в соответствии с методикой эксперимента с использованием анализатора электромагнитных полей EFA-300 компании Narda STS (Германия).

Результаты исследования и их обсуждение. В результате измерений были получены спектральные характеристики индукции МП при разной величине тока. На рис. 1 представлена спектральная характеристика индукции МП под шинным мостом ТП.

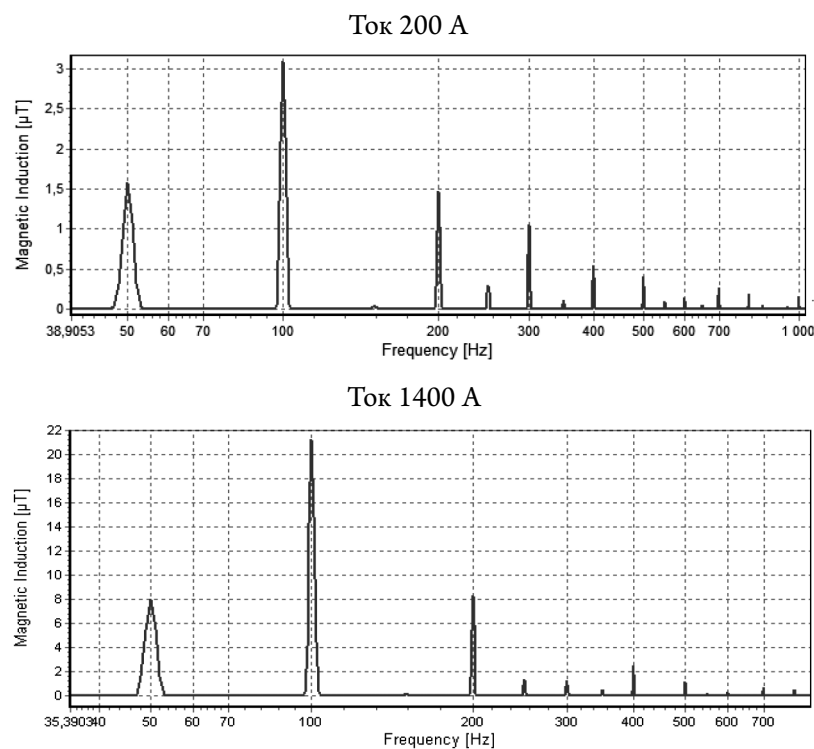


Рис. 1. Спектр индукции МП под шинным мостом ТП при разных токах

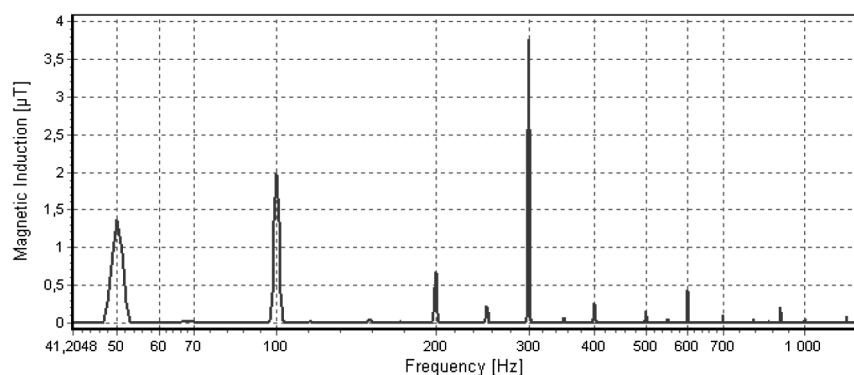


Рис. 2. Спектральная характеристика индукции МП под шинами 3,3 кВ

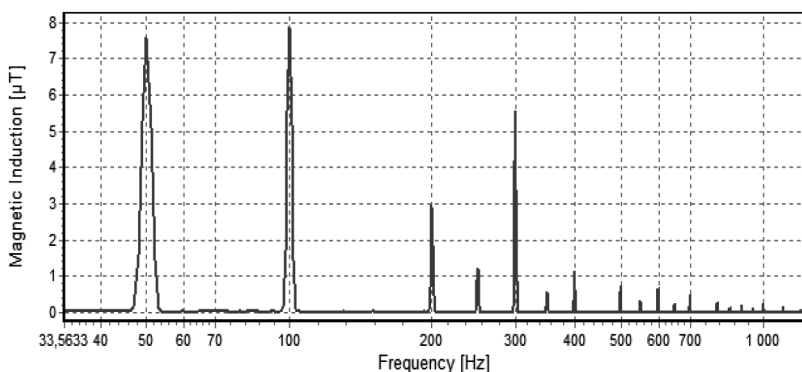


Рис. 3. Спектральная характеристика индукции МП вблизи выпрямителя

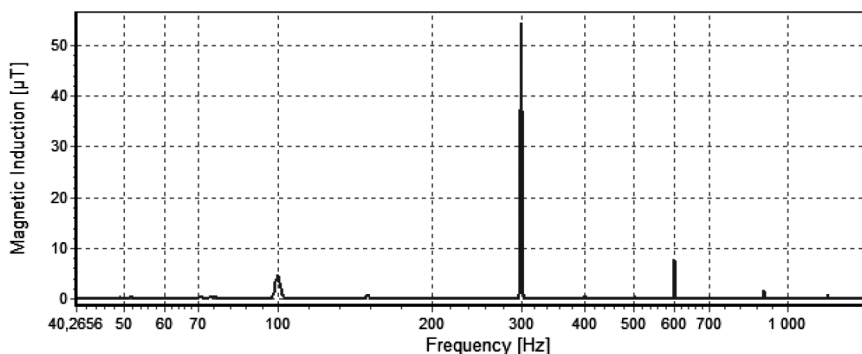
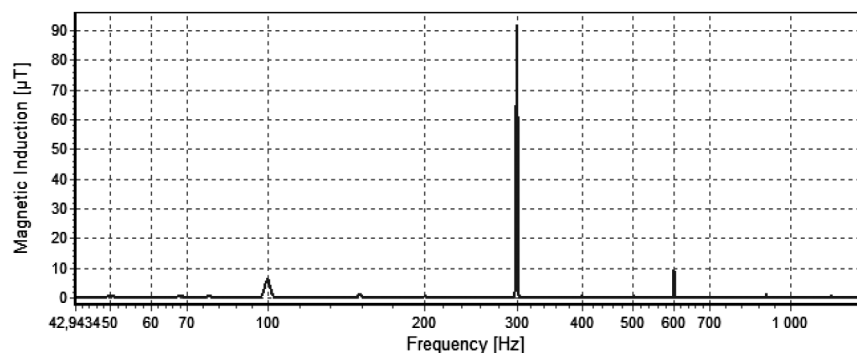


Рис. 4. Спектр индукции МП под фидером КС (сверху) и вблизи помещения реакторной (снизу)

По характеристике видно, что наибольшее значение индукции наблюдается на частоте 100 Гц, а на частоте 200 Гц интенсивность индукции имеет значения близкие к интенсивности на частоте 50 Гц и составляет от 1 до 20 мкТл в зависимости от тока.

применяемым в области оценки качества электрической энергии коэффициентом K_U — суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, % (по EN 50160:2010 *Total Harmonic Distorsions THD*) [4].

На рис. 2 представлен спектр индукции МП под шинами 3,3 кВ при токе 500 А (по этим шинам протекает выпрямленный тяговый ток), а на рис. 3 — спектр в рабочей зоне выпрямительного преобразователя.

Также получены спектральные характеристики индукции МП в помещении реакторной, в ячейке 3,3 кВ и под фидером контактной сети.

Отдельные спектры представлены на рис. 4.

По результатам анализа спектральных характеристик можно сделать вывод, что на рабочих местах персонала ЭУ тягового электроснабжения присутствуют МП широкого спектра частот, МП промышленной частоты 50 Гц, МП с частотой более 50 Гц с выделением таких частот как 100, 200, 300, 400, 600 Гц значительных уровней индукции.

Наибольшие значения индукции МП получены на частоте 50, 100, 200 и 400 Гц под шинным мостом, на частоте 300 Гц — в реакторной, под фидером контактной сети и вблизи ячейки фидера.

Сегодня в России не нормируются параметры МП частотой более 50 Гц на рабочих местах персонала ЭУ [5].

Нормирование данного диапазона частот в РФ установлено только для рабочих мест с ПЭВМ и рабочих мест в медицинских организациях [6,7]. Кроме того имеются международные нормы, содержащиеся в рекомендациях Международной комиссии по защите от неионизирующих излучений (МКЗНИ) [8] (табл. 1).

Для сравнения между собой спектральных характеристик МП в разных рабочих зонах введем коэффициент искажения индукции МП K_B^H по аналогии с

Предлагаемый коэффициент определяется следующим образом:

$$K_B^H = \frac{\sqrt{B_2^2 + B_3^2 + B_4^2 + B_i^2}}{B_1} \times 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n B_i^2}}{B_1} \times 100\%, \quad (1)$$

где B_2, B_3, B_4, B_i — фактическое значение индукции МП соответствующей частоты, начиная со второй гармоники, мкТл;

B_1 — фактическое значение индукции МП основной частоты (1-й гармоники), как правило 50 Гц, мкТл;

n — число рассматриваемых дискретных частот (гармоник) индукции МП, Гц.

Данный коэффициент показывает насколько значения индукции МП гармоник отличаются от индукции основной частоты во всем рассматриваемом диапазоне, т. е. насыщенность спектра гармониками относительно основной гармоники. Данный коэффициент может изменяться от 0 до нескольких сотен% в зависимости от спектра и интенсивности основной гармоники.

Для оценки степени вредного воздействия на здоровье персонала МП с частотным спектром, содержащим целый ряд гармоник, предлагается использовать обобщенный коэффициент индукции $K_B^{ПДВ}$, который показывает средневзвешенное с учетом суммы частотных составляющих относительное значение индукции МП и рассчитывается по формуле:

$$K_B^{ПДВ} = \sqrt{\frac{B_1^2}{B_{ПДВ}^2} + \frac{B_2^2}{B_{ПДВ}^2} + \frac{B_3^2}{B_{ПДВ}^2} + \frac{B_i^2}{B_{ПДВ}^2}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{B_i}{B_{ПДВ}}\right)^2} \leq 1, \quad (2)$$

где B_1, B_2, B_3, B_i — фактическое значение индукции МП на соответствующей i -й дискретной частоте (гармонике), мкТл;

$B_{ПДВ}$ — предельно-допустимое значение индукции МП на соответствующей i -ой дискретной частоте (гармонике), мкТл;

n — число рассматриваемых дискретных частот (гармоник) индукции МП, Гц.

Значение $K_B^{ПДВ}$ не должно превышать 1.

Расчеты указанных коэффициентов по полученным спектрам представлены в табл. 2 и 3.

Для различных рабочих зон K_B^H изменяется от 282 до 6140% (рабочие зоны с основной гармоникой 50 Гц) и от 1219 до 1513% (рабочие зоны с основной гармоникой 100 Гц, гармоника 50 Гц отсутствует). Полученные данные показывают, что в рассматриваемых спектрах присутствуют помимо основной, гармоники других частот. При этом их интенсивность выше, чем у основной гармоники.

Результаты расчета по ф-ле (2) показывают, что значение $K_B^{ПДВ}$ превышает единицу для отдельных рабочих зон, как по нормам СанПиН, так и нормам МКЗНИ — помещения реакторной и под фидером контактной сети. Значения $K_B^{ПДВ}$ близки к единице по нормам МКЗНИ и превышают ее по нормам СанПиН для таких рабочих зон внутри и вблизи ячейки фидера 3,3 кВ. В остальных рабочих зонах значение коэффициента $K_B^{ПДВ}$ не превышает 1, но позволяет выделить зоны с более высоким уровнем воздействия МП на персонал.

Таблица 1

Нормируемые значения индукции МП частотой от 50 до 600 Гц

Частота, Гц	Допустимые уровни индукции, мкТл		
	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 (рабочие места с ПЭВМ)	СанПиН 2.1.3.2630-10 (медицинские организации)	Рекомендации МКЗНИ
50	0,25	62,5	500
100	0,25	62,5	250
200	0,25	62,5	125
300	0,25	62,5	83,3
400	0,25	62,5	62,5
600	0,25	62,5	41,7

Таблица 2

Фактическая и нормируемая индукции МП (основная гармоника 50 Гц)

Частота, Гц	Максимальная с учетом погрешности прибора индукция МП, мкТл, на разных рабочих местах персонала				
	шинный мост	под шинами 3,3 кВ	вблизи выпрямителя	внутри ячейки фидера	в реакторной
50	16,8	11,55	11,55	1,57	3,15
100	38,85	16,8	15,75	0	26,25
200	26,25	4,2	5,25	0	0
300	3,15	19,95	12,6	21	189
400	5,25	1,81	1,68	0	0
600	0	2,63	3,15	2,63	31,5
$K_B^H, \%$	282	230	183	1348	6140
$K_B^{ПДВ}$ по нормам МКЗНИ	0,28	0,26	0,19	0,96	2,39
$K_B^{ПДВ}$ по нормам СанПиН	0,77	0,44	0,36	1,23	3,09

Фактическая и нормируемая индукция МП (основная гармоника 100 Гц)

Частота, Гц	Максимальная с учетом погрешности прибора индукция МП, мкТл на разных рабочих местах персонала	
	вблизи ячейки фидера	под фидером контактной сети
50	–	–
100	6,3	8,4
200	0	0
300	75,6	126
400	–	–
600	13,65	16,8
$K_{В}^H, \%$	1219	1513
$K_{В}^{ПЛАУ}$ по нормам МКЗНИ	0,96	1,57
$K_{В}^{ПЛАУ}$ по нормам СанПиН	1,23	2,04

Выводы:

1. Проведенные исследования показали, что в ЭУ транспорта наряду с постоянным магнитным и электрическим полем присутствуют МП 50 Гц и МП на частоте 100, 200, 300, 600 Гц, которые оказывают наибольшее воздействие на персонал вблизи выпрямителя, в помещении реакторной и в ячейке 3,3 кВ.

2. Персонал ЭУ подвергается интенсивному как по частоте, так и по амплитуде воздействию МП, поэтому необходима его защита от их вредного воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (см. REFERENCES стр. 8)

1. Белинский С.О., Кузнецов К.Б. Оценка параметров электромагнитных полей низкочастотного диапазона в электроустановках тягового электроснабжения // Вестник Юж.-Уральск. гос. ун-та. Сер.: Энергетика. — 2012. — № 16 (275). — С. 62–69.

2. Белинский С.О., Кузнецов К.Б. Оценка параметров электромагнитных полей частотой 50 Гц в РУ–3,3 кВ тяговых подстанций // Безопасность жизнедеятельности. — 2012. — № 7 (приложение). — С. 12–17.

3. Белинский С.О. Электромагнитная совместимость электроустановок тягового электроснабжения и обслуживающего персонала. Монография. — Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2008. — 142 с.

4. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — М.: Стандартинформ, 2014. — 19 с.

5. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях. — М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. — 2011. — 38 с.

6. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.1.3.2630–10. Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность. — М.: Бюлл. нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — № 36, — 2010. — 25 с.

7. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. — М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. — 42 с.

REFERENCES

1. Belinskiy S.O., Kuznetsov K.B. // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika. — 2012. — 16 (275). — P. 62–69 (in Russian).

2. Belinskiy S.O., Kuznetsov K.B. Evaluating parameters of electromagnetic fields with frequency of 50 Hz in RU–3.3 kV electric devices // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. — 2012. — 7 (addition). — P. 12–17 (in Russian).

3. Belinskiy S.O. Electromagnetic compatibility of electric tractive devices and servicing personnel. Monograph. — Ekaterinburg: Izd-vo UrGUPS, 2008. — 142 p. (in Russian).

4. GOST 32144–2013. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical means. Norms of electric energy quality in general electric supply systems. — Moscow: Standartinform, 2014. — 19 p. (in Russian).

5. Sanitary epidemiologic rules and regulations. SanPiN 2.2.4.1191–03. Electromagnetic fields in occupational conditions. — Moscow: Federal'nyy tsentr Gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2011. — 38 p. (in Russian).

6. Sanitary epidemiologic rules and regulations. SanPiN 2.1.3.2630–10. Sanitary epidemiologic requirements to organizations providing medical activities. — Moscow: Byulleten' normativnykh aktov federal'nykh organov ispolnitel'noy vlasti, 1010; 36. — 25 p. (in Russian).

7. SanPiN 2.2.2/2.4.1340–03. Hygienic requirements to personal electronic computers and work organization. — Moscow: Federal'nyy tsentr Gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2003. — 42 p. (in Russian).

8. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz) // Health Physics № 74(4). — 1998. — P. 494–522.

Поступила 28.11.2016

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Белинский Станислав Олегович (Belinskiy S.O.), зав. сект. производств. безопасности ЧУ ФНПР «Научно-исследовательский институт охраны труда в г. Екатеринбург, канд. техн. наук, доц. E-mail: labelectro@bk.ru.