

УДК 612.014.426

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЗДОРОВЬЕ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА ЦИФРОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

© 2017 г. Е. Н. Соснина, О. В. Маслеева, Р. Ш. Бедретдинов

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Развитие технологий твердотельной электроники привело к появлению технически усовершенствованных электроустановок, в частности Цифровых трансформаторных подстанций (ЦТП) 10 (20)/0,4 кВ. Однако в силу уникальности и новизны разработки оценка вредного воздействия ЦТП на здоровье обслуживающего персонала в настоящее время отсутствует. В статье приведены результаты теоретических исследований негативного воздействия электромагнитного поля (ЭМП) промышленной частоты на здоровье персонала, обслуживающего высоковольтное оборудование ЦТП. Выполнена оценка показателей ЭМП (напряженность электрического и магнитного поля, емкостной ток через тело человека) при эксплуатации ЦТП 10/0,4 и 20/0,4 кВ различной установленной мощности. Полученные результаты сопоставлены с уровнем ЭМП, создаваемых высоковольтным оборудованием существующих трансформаторных подстанций, а также проверены на соответствие действующим санитарным нормам. Приведены графические зависимости напряженности электрического, магнитного поля и емкостного тока от номинальной мощности, напряжения и состава электрооборудования ЦТП. Показано, что применение ЦТП в распределительных электрических сетях практически не оказывает негативного воздействия на здоровье обслуживающего персонала.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, емкостной ток, обслуживающий персонал, цифровая трансформаторная подстанция

## ASSESSMENT OF ELECTROMAGNETIC FIELD EFFECT ON HEALTH OF OPERATING PERSONNEL WORKING ON THE DIGITAL ELECTRICAL SUBSTATIONS

E. N. Sosnina, O. V. Masleeva, R. Sh. Bedretdinov

Nizhny Novgorod State Technical University R. A. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

The development of solid-state electronics technology has led to the technically advanced electrical installation emergence, in particular Digital transformer substations (DTS) 10 (20)/0,4 kV. However, due to the uniqueness and novelty of the development the adverse health effects of the digital transformer substation are currently absent. The article presents the theoretical studies results of negative effects of the industrial frequency of electromagnetic fields (EMF) on personnel health operating the high-voltage equipment DTS. EMF performance evaluation (intensity of electric and magnetic fields, body current capacitor) during DTS operation in various installed capacity 10/0,4 kV and 20/0,4 kV has been done. The obtained results are compared to EMF level being created by high-voltage equipment of existing transformer substations and checked for compliance with current health standards. The characteristic curve of intensity of electric and magnetic fields, body current capacitor at nominal rating power, voltage and DTS electrical equipment are presented. It is shown that use of DTS in distribution networks scarcely has negative effect on the operating personnel health.

**Keywords:** electromagnetic field, capacitive current, operating personnel, digital transformer substation

### Библиографическая ссылка:

Соснина Е. Н., Маслеева О. В., Бедретдинов Р. Ш. Оценка воздействия электромагнитного поля на здоровье обслуживающего персонала цифровых трансформаторных подстанций // Экология человека. 2017. № 8. С. 8–14.

Sosnina E. N., Masleeva O. V., Bedretdinov R. Sh. Assessment of Electromagnetic Field Effect on Health of Operating Personnel Working on the Digital Electrical Substations. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 8, pp. 8-14.

В современных условиях охрана здоровья трудоспособного населения является одной из наиболее важных задач нашего государства. Решение ее возможно только на основе углубленного изучения условий труда, вредных факторов рабочей среды и установления причинно-следственных связей развития профессиональных заболеваний [13, 20]. При обеспечении безопасности труда персонала, связанного с эксплуатацией электроустановок, наибольшее внимание уделяется предупреждению опасности поражения электрическим током. Однако помимо риска получения электротравм вредным фактором, влияющим на производительность труда и здоровье человека, является воздействие

электромагнитного поля (ЭМП) промышленной частоты [8, 10, 21].

Основными источниками электромагнитного излучения на объектах электроэнергетики являются линии электропередачи, силовые трансформаторы и распределительные устройства. Интенсивность воздействия ЭМП характеризуется такими показателями, как напряженность электрического и магнитного поля, емкостной ток через тело человека. На биологическую реакцию организма кроме интенсивности электромагнитного излучения влияют частота излучения, длительность и периодичность пребывания человека в зоне действия ЭМП.

Многочисленные исследования в области биоло-

гического воздействия ЭМП позволили определить наиболее чувствительные системы организма человека: нервную, иммунную, эндокринную и половую [8, 21]. Переменное электрическое поле вызывает нагрев тканей живых организмов как за счет переменной поляризации диэлектрика (сухожилий, хрящей, костей), так и за счет появления емкостных токов. Наиболее чувствительны к перегреву органы зрения, мозг, почки, желчный и мочевой пузырь [3].

Известно, что превышение предельно допустимых норм (ПДУ) показателей ЭМП может спровоцировать повышенный риск развития хронического лимфолейкоза, рака грудной железы, злокачественной меланомы кожи, опухоли центральной нервной системы (ЦНС), неходжкинской лимфомы, острых лимфатических и миелоидных лейкозов [3]. Исследования влияния ЭМП на эксплуатационный персонал линий электропередач и подстанций напряжением более 500 кВ включительно выявили неблагоприятное воздействие на организм ЭМП и слабое его воздействие при напряжении 220 кВ и ниже [2]. Однако даже слабое воздействие ЭМП на организм человека может привести к развитию отдаленных последствий, включая дегенеративные процессы ЦНС, рак крови (лейкозы), опухоли мозга, гормональные заболевания [3, 6, 7].

Развитие технологий твердотельной электроники привело к появлению в распределительных электрических сетях технически усовершенствованных электроустановок, в частности Цифровых трансформаторных подстанций (ЦТП) 10(20)/0,4 кВ [14, 15]. Отличительной особенностью ЦТП является возможность автоматического регулирования напряжения под нагрузкой управляемыми тиристорами. Основными элементами ЦТП являются силовые трансформаторы с расщепленной обмоткой высокого напряжения, твердотельные (тиристорные) регуляторы напряже-

ния и мощности (ТРНМ), кабельные линии. В силу уникальности и новизны разработки оценка вредного воздействия ЦТП на здоровье обслуживающего персонала в настоящее время отсутствует.

Цель работы заключалась в исследовании негативного воздействия ЭМП промышленной частоты на здоровье персонала, обслуживающего высоковольтное оборудование ЦТП. Задачи исследования состояли в оценке показателей ЭМП — напряженности электрического и магнитного поля, емкостного тока через тело человека при эксплуатации ЦТП 10(20)/0,4 кВ.

### Методы

Объектом исследования является цифровая трансформаторная подстанция. Выполнены расчеты показателей ЭМП, создаваемого высоковольтным электрооборудованием ЦТП класса напряжения 10/0,4 и 20/0,4 кВ для типового ряда номинальных мощностей силовых трансформаторов: 250, 400, 630, 1 000, 1 600, 2 500 кВ · А [16–18]. Расчетная структурная схема расположения электрооборудования ЦТП показана на рис. 1.

Расчетная точка (место нахождения электромонтера, обслуживающего установку) расположена на расстоянии  $a = 1$  м от ТРНМ и  $b = 2,4$  м от силового трансформатора. Расстояние между трансформаторами (Т1 и Т2) выбрано в соответствии с требуемым Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) расстоянием в свету ( $c \geq 1,25$  м) [9]. Расстояние между выводами высокого напряжения силового трансформатора и между фазами ТРНМ обозначено как  $D_T$  и  $D_{ТРНМ}$  соответственно [11].

Согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 [12] расчетная высота  $H_{\text{ч}}$  составляет 1,8 м (на этой высоте находится голова человека).

Напряженность электрического поля [1] определена по формуле:

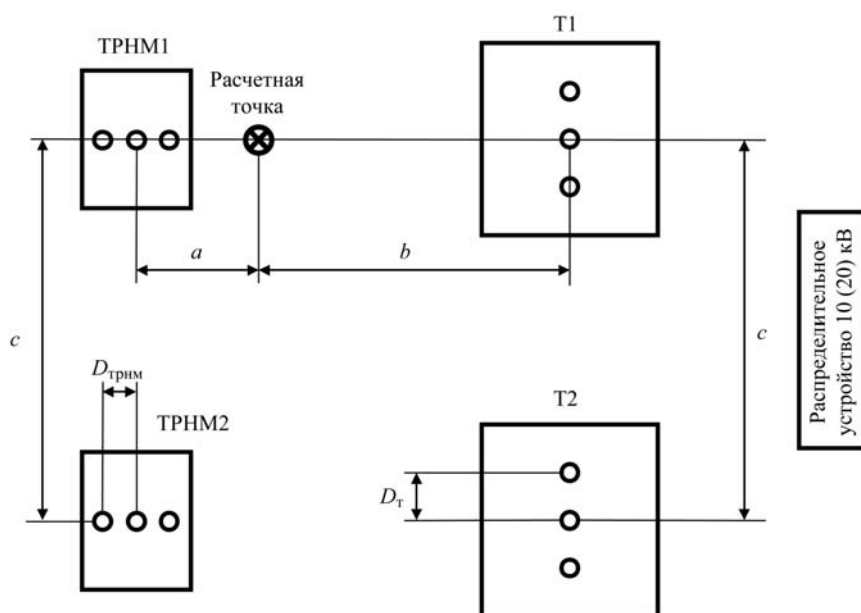


Рис. 1. Структурная схема расположения электрооборудования цифровой трансформаторной подстанции

$$E = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0 H_{\text{ч}}} \left[ \frac{1}{h^2 + x_1^2} - \frac{0,5}{h^2 + x_2^2} - \frac{0,5}{h^2 + x_3^2} \right], \quad (1)$$

где  $C$  — емкость единицы длины кабеля, Ф/м;  $U$  — номинальное напряжение, кВ;  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  — электрическая постоянная, Ф/м;  $H_{\text{ч}}$  — высота расчетной точки, м;  $h$  — высота от расчетной точки до точки с максимальной напряженностью, м;  $x_1$  — расстояние от первой фазы до расчетной точки, м;  $x_2$  — расстояние от второй фазы до расчетной точки, м;  $x_3$  — расстояние от третьей фазы до расчетной точки, м.

Высота от расчетной точки до точки с максимальной напряженностью для силового трансформатора и для ТРНМ рассчитана по формулам:

$$h_{\text{т}} = H_{\text{т}} - H_{\text{ч}}, \quad (2)$$

$$h_{\text{трнм}} = H_{\text{трнм}} - H_{\text{ч}}, \quad (3)$$

где  $H_{\text{т}}$ ,  $H_{\text{трнм}}$  — высота трансформатора и тиристорного коммутатора, м.

Напряженность электрического поля от каждого из трансформаторов и ТРНМ в соответствии с формулой (1) и рис. 1 рассчитана по следующим выражениям:

$$E_{\text{т1}} = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0 H_{\text{ч}}} \left[ \frac{1}{h_{\text{т}}^2 + b^2} - \frac{0,5}{h_{\text{т}}^2 + b^2 + D_{\text{т}}^2} - \frac{0,5}{h_{\text{т}}^2 + b^2 + D_{\text{т}}^2} \right]; \quad (4)$$

$$E_{\text{т2}} = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0 H_{\text{ч}}} \left[ \frac{1}{h_{\text{т}}^2 + b^2 + (c - D_{\text{т}})^2} - \frac{0,5}{h_{\text{т}}^2 + b^2 + c^2} - \frac{0,5}{h_{\text{т}}^2 + b^2 + (c + D_{\text{т}})^2} \right]; \quad (5)$$

$$E_{\text{трнм1}} = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0 H_{\text{ч}}} \left[ \frac{1}{h_{\text{трнм}}^2 + (a - D_{\text{трнм}})^2} - \frac{0,5}{h_{\text{трнм}}^2 + a^2} - \frac{0,5}{h_{\text{трнм}}^2 + (a + D_{\text{трнм}})^2} \right]; \quad (6)$$

$$E_{\text{трнм2}} = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0 H_{\text{ч}}} \left[ \frac{1}{h_{\text{трнм}}^2 + (a - D_{\text{трнм}})^2 + c^2} - \frac{0,5}{h_{\text{трнм}}^2 + a^2 + c^2} - \frac{0,5}{h_{\text{трнм}}^2 + (a + D_{\text{трнм}})^2 + c^2} \right]. \quad (7)$$

Емкость единицы длины проводника:

$$C = \frac{24 \cdot 10^{-12}}{\lg \left( \frac{2D_0}{d_{\text{ж}}} \right)}, \quad (8)$$

где  $D_0$  — расстояние между фазами (для проводника от распределительного устройства высокого напряжения до силового трансформатора  $D_0 = D_{\text{т}}$ ; для проводника от силового трансформатора до ТРНМ  $D_0 = D_{\text{трнм}}$ ), мм;  $d_{\text{ж}}$  — диаметр токопроводящей жилы провода, мм.

Каждая фаза ТРНМ расщеплена на шесть проводов. Радиус расщепленного провода по электрическим параметрам [1] эквивалентен одиночному проводу с радиусом:

$$r_{\text{э}} = \sqrt[n]{n \cdot r_{\text{ж}} \cdot r_{\text{п}}^{n-1}}, \quad (9)$$

где  $n$  — число проводов в фазе;  $r_{\text{ж}}$  — радиус токопроводящей жилы провода, мм;  $r_{\text{п}}$  — среднее расстояние между проводами (равен наружному диаметру провода  $d_{\text{н}}$ ), мм.

Оценка воздействия магнитного поля, создаваемого трансформаторным оборудованием, выполнена на основе коэффициентов пропорциональности [19] между рабочим током проводников и максимальным значением напряженности магнитного поля:

$$H = \gamma \cdot I, \quad (10)$$

где  $\gamma$  — коэффициент пропорциональности между рабочим током проводника и напряженностью магнитного поля (для напряжения 10 и 20 кВ  $\gamma = 0,0893$ );  $I$  — рабочий ток проводника, А.

Через тело человека, находящегося вблизи действующих электроустановок переменного тока, то есть в области создаваемого ими электрического поля, постоянно проходит в землю ток. Выражение для емкостного тока, проходящего через тело человека [5], находящегося в электрическом поле промышленной частоты и стоящего на полу в токопроводящей обуви, выглядит следующим образом:

$$I_{\text{ч}} = k \cdot E, \quad (11)$$

где  $k = 12$  — постоянный множитель, Ф·м/с.

Допустимый уровень напряженности электрического и магнитного полей установлен в СанПиН 2.2.4.1191-03 [12].

Согласно нормам и правилам [12] допустимый уровень напряженности электрического поля промышленной частоты на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м. Предельно допустимое значение напряженности магнитного поля при 8-часовом пребывании в зоне воздействия [12] составляет 80 А/м при общем воздействии (на все тело). Рекомендованное допустимое значение тока, длительно проходящего через человека и обусловленного воздействием электрического поля, составляет 50–60 мкА [5].

При статистической обработке результатов расчета использовано программное обеспечение Microsoft Excel 2010.

## Результаты

На основе проведенных расчетов получены графические зависимости показателей ЭМП от номинальной мощности, напряжения и состава электрооборудования ЦТП (рис. 2–4). При эксплуатации ЦТП источником ЭМП являются силовые трансформаторы с расщепленной обмоткой высокого напряжения, ТРНМ и высоковольтные кабельные линии. На рис. 2 показана зависимость напряженности электрического поля от номинальной мощности и напряжения трансформаторного оборудования.

Зависимость напряженности магнитного поля от номинальной мощности и напряжения трансформаторного оборудования показана на рис. 3.

На рис. 4 приведена зависимость емкостного тока, проходящего через тело человека, от номинальной мощности и напряжения трансформаторного оборудования.

Как видно из рис. 2, наименьшая напряженность электрического поля создается трансформаторной

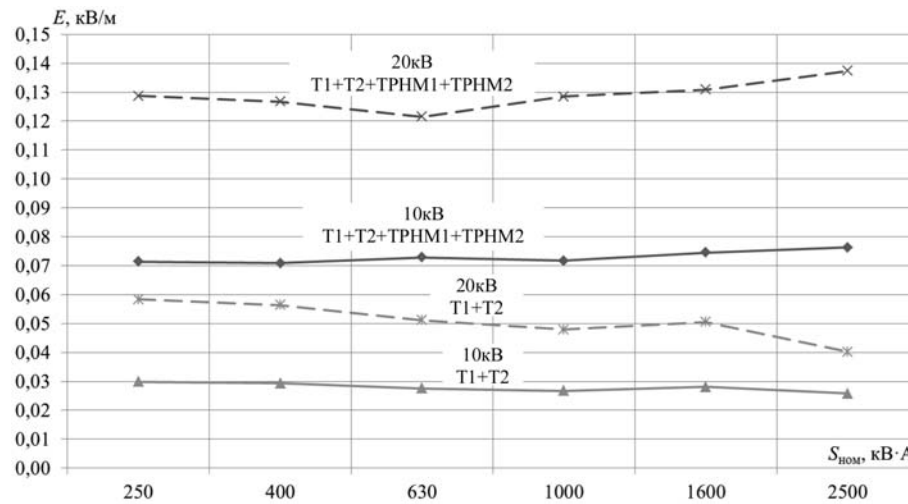


Рис. 2. Зависимость напряженности электрического поля от номинальной мощности и напряжения трансформаторного оборудования

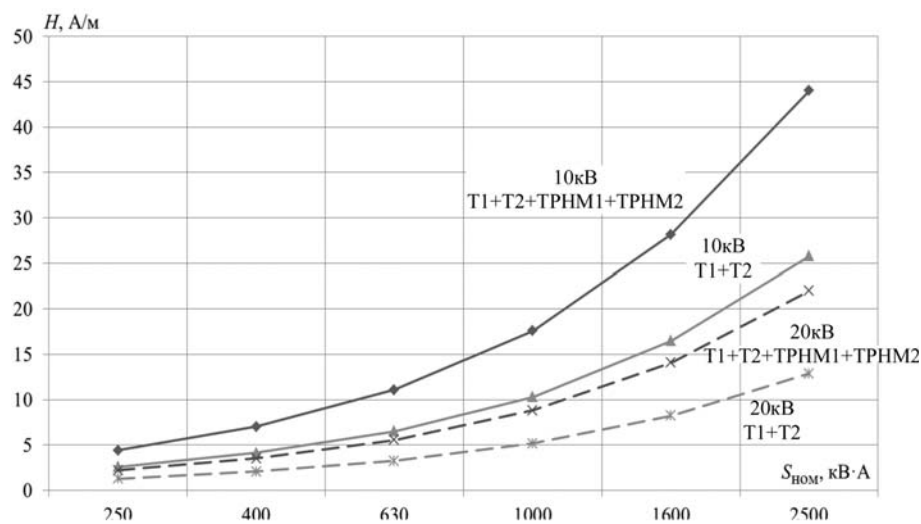


Рис. 3. Зависимость напряженности магнитного поля от номинальной мощности и напряжения трансформаторного оборудования

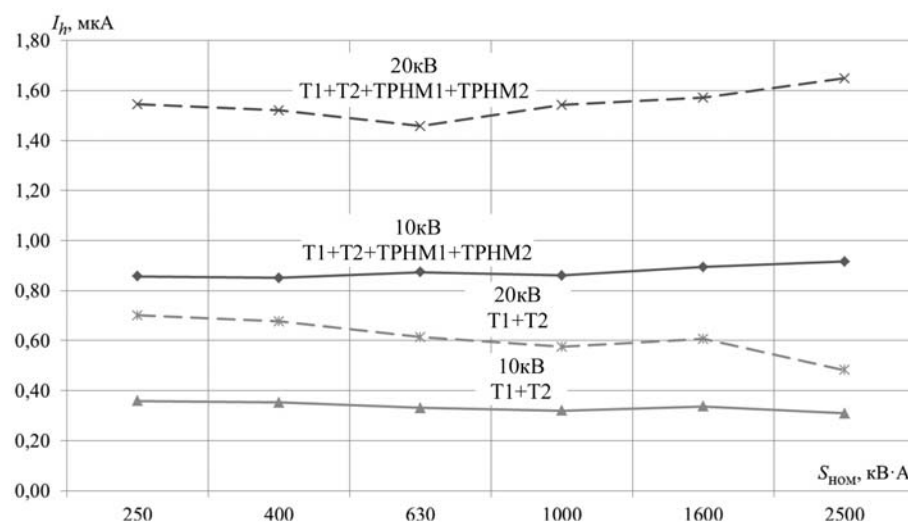


Рис. 4. Зависимость емкостного тока от номинальной мощности и напряжения трансформаторного оборудования

подстанцией (ТП) 10/0,4 кВ. Использование ТРНМ на ЦТП увеличивает напряженность электрического поля в среднем на 57–66 % (для подстанций 10/0,4 кВ) и на 53–70 % (для подстанций 20/0,4 кВ). По сравнению с ПДУ 5 кВ/м данное увеличение незначительно и составляет 0,8–1,6 %. Для подстанций 20/0,4 кВ по сравнению с подстанциями 10/0,4 кВ напряженность выше примерно в два раза, поскольку напряженность электрического поля прямо пропорциональна напряжению.

Из рис. 3 следует, что напряженность магнитного поля сильно зависит от мощности трансформаторного оборудования и увеличивается примерно в 10 раз при увеличении мощности от 250 до 2 500 кВА. Это связано с увеличением протекающего в цепи тока, прямо пропорционального напряженности магнитного поля. Для подстанций 20/0,4 кВ по сравнению с подстанциями 10/0,4 кВ напряженность магнитного поля ниже примерно в два раза, так как при одной и той же номинальной мощности трансформатора протекающий в цепи ток меньше в два раза. При использовании ТРНМ на ЦТП напряженность магнитного поля увеличивается не более чем на 41 %. Полученные значения напряженности магнитного поля не превышают ПДУ в 80 А/м.

График изменения емкостного тока (рис. 4), проходящего через тело человека, аналогичен графику напряженности электрического поля, поскольку величина тока пропорциональна напряженности электрического поля. Величина тока через тело человека в рассмотренных случаях составляет 0,5–2,8 % от рекомендованного допустимого значения 50–60 мкА.

### Обсуждение результатов

Мировой общественностью признано, что ЭМП техногенного происхождения является важным экологическим фактором с высокой степенью биологической активности, под влиянием которого протекает трудовая деятельность рабочих, связанных с обслуживанием электроустановок [8, 10, 21]. У людей, находящихся (в основном по долгу службы) в зоне облучения непрерывно, возникают изменения в структуре костного мозга в сторону увеличения скорости регенерации. Через 1–3 года у некоторых появляется чувство внутренней напряженности, суетливость. Нарушаются внимание и память. Возникают жалобы на малую эффективность сна и на утомляемость. Имеются также данные о возникновении психических расстройств у людей, в течение 5 лет и более систематически подвергавшихся облучению ЭМП с напряженностью, близкой к предельно допустимой.

Результаты проведенных исследований показали, что расчетная величина напряженности магнитного поля ниже допустимой в два раза, а напряженность электрического поля меньше допустимого значения более чем в 30 раз. В работе [4] проведена качественная оценка влияния ЭМП промышленной частоты на живые организмы путем проведения лабораторного эксперимента с облучением кубинских тараканов.

В качестве источника ЭМП использовался генератор, показатели плотности потока энергии которого соответствовали линии электропередач (ЛЭП) 220 кВ, что достигалось благодаря высокой магнитной составляющей. Электрическая же составляющая была гораздо ниже и соответствовала ЛЭП 10 кВ. Данный эксперимент позволял определить влияние именно магнитной составляющей на живые организмы. Несмотря на превышение численности рожденной молодежи в опыте над контролем в абсолютных значениях почти в 2 раза, статистически значимых различий не выявлено. Следовательно, достоверного эффекта воздействия исследованного источника ЭМП на тараканов не было выявлено. Можно сделать вывод, что магнитное поле, создаваемое источниками ЭМП, играет меньшую роль в воздействии на живые организмы, чем электрическое.

Для внедрения ЦТП в системы электроснабжения потребителей необходимо, чтобы экологическое воздействие оборудования на условия труда соответствовало действующим санитарным нормам и правилам [12]. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что наравне с существующими ТП цифровые трансформаторные подстанции не оказывают вредного воздействия на здоровье человека и не ухудшают условий труда обслуживающего персонала. Воздействие электромагнитного поля в несколько раз ниже нормативных значений. Кроме того, следует учесть, что обслуживающий персонал проводит ежедневный плановый осмотр электрооборудования ЦТП в течение 10–15 минут, в то время как предельно-допустимые уровни показателей ЭМП соответствуют 8-часовому пребыванию в зоне воздействия.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (соглашение № 14.577.21.0098 о предоставлении субсидии от 26.08.2014, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57714X0098).*

### Список литературы

1. Александров Г. Н. Передача электрической энергии. 2-е изд. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 412 с.
2. Вагин Г. Я., Лоскутов А. Б., Севостьянов А. А. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. М.: Изд. центр «Академия», 2010. 224 с.
3. Гичев Ю. П., Гичев Ю. Ю. Влияние электромагнитных полей на здоровье человека: аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН. Серия: Экология, 1999. Вып. 52. 90 с.
4. Гордеева М. А. Влияние электромагнитных полей на растительные и животные организмы: автореф. ...канд. биол. наук. Тюмень, 2013. 18 с.
5. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984. 488 с.
6. Кострюкова Н. К., Карпин В. А., Гудков А. Б. Смертность населения, проживающего в местах локальных разломов земной коры // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2005. № 4. С. 17–19.
7. Кострюкова Н. К., Карпин В. А., Гудков А. Б. Не-

которые патогенетические механизмы биотропных эффектов слабых физических полей // Экология человека. 2006. № 8. С. 52–57.

8. Пальцев Ю. П., Походзей Л. В., Рубцова Н. Б., Перов С. Ю., Богачева Е. В. Проблема изучения влияния электромагнитных полей на здоровье человека. Итоги и перспективы // Медицина труда и промышленная экология. 2013. № 6. С. 35–40.

9. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы 6 и 7 изданий. М.: КНОРУС, 2015. 491 с.

10. Рубцова Н. Б., Пальцев Ю. П., Походзей Л. В., Токарский А. Ю., Леонов М. Л. Обеспечение электромагнитной безопасности производственной и окружающей среды. Проблемы и перспективы // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11, № 1–6. С. 1366–1369.

11. Сайт ЗАО «Энергомаш (Екатеринбург)-Уралэлектротяжмаш». URL: <http://www.uetm.ru/products/147/185> (дата обращения: 19.02.2016).

12. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях: утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 19 февраля 2003 г. № 10. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. 38 с.

13. Соколова Л. А., Попова О. Н., Калинина М. М., Богданов М. Ю., Кочешова Г. Ф., Гудков А. Б. Прогнозирование риска развития профессиональных заболеваний среди сборщиков корпусов металлических судов машиностроительного предприятия // Экология человека. 2015. № 1. С. 10–14.

14. Соснина Е. Н., Бедретдинов Р. Ш. О трансформаторно-тиристорном регуляторе напряжения и мощности // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013. № 4. С. 24–26.

15. Соснина Е. Н., Лоскутов А. Б., Дмитриев С. М., Чивенков А. И., Лоскутов А. А. Опытная цифровая трансформаторная подстанция с активно-адаптивной системой управления и автоматическим плавным регулированием напряжения и мощности // Промышленная энергетика. 2013. № 12. С. 8–13.

16. Соснина Е. Н., Маслеева О. В., Бедретдинов Р. Ш. Оценка опасных факторов при работе цифровой трансформаторной подстанции // Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы техносферной безопасности», Улан-Удэ, 14–17 сентября, 2015. Улан-Удэ, 2015. С. 117–120.

17. Соснина Е. Н., Маслеева О. В., Пачурин Г. В., Бедретдинов Р. Ш. Исследование воздействия цифровой трансформаторной подстанции на условия труда обслуживающего персонала // Фундаментальные исследования. 2015. № 5-1. С. 143–148.

18. Соснина Е. Н., Маслеева О. В., Пачурин Г. В., Бедретдинов Р. Ш. К вопросу о безопасности силовых трансформаторов // Фундаментальные исследования. 2013. № 10. С. 1023–1026.

19. Степанов И. М. Исследование электромагнитных полей в электроустановках высокого напряжения и разработка мер по снижению их интенсивности: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2009. 149 с.

20. Сюрин С. А., Гицин И. В., Никанов А. Н. Профессиональная патология работников различных производств медно-никелевой промышленности Крайнего Севера // Экология человека. 2012. № 6. С. 8–12.

21. Bukhtiyarov I. V., Rubtsova N. B., Paltsev Yu. P., Pokhodzey L. V., Perov S. Yu. Electromagnetic field as

human health risk factor: emf safety ensuring by hygienic standardization. In: Progress in Electromagnetics Research Symposium. Series «PIERS 2013 Stockholm - Progress in Electromagnetics Research Symposium, Proceedings», 2013. P. 1077-1081.

## References

1. Aleksandrov G. N. *Peredacha elektricheskoi energii* [Power transmission]. 2nd ed. Saint Petersburg, Polytechnic University Publ., 2009, 412 p.

2. Vagin G. Ya., Loskutov A. B., Sevostyanov A. A. *Elektromagnitnaya sovmestimost' v elektroenergetike* [Electric power electromagnetic compatibility]. Moscow, Academy Publ., 2010, 224 p.

3. Gichev Yu. P., Gichev Yu. Yu. *Vliyanie elektromagnitnykh polei na zdorov'e cheloveka. Analiticheskii obzor* [Electromagnetic-field effect on human health. Analytical review]. Novosibirsk, The State Public Scientific Technological Library of the Siberian of the Russian Academy of Sciences Publ. Ecology series. 1999, iss. 52, 90 p.

4. Gordeeva M. A. *Vliyanie elektromagnitnykh polei na rastitel'nye i zhivotnye organizmy (avtoref. cand. diss.)* [Electromagnetic-field effect on plants and animal organism. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Tyumen, 2013, 18 p.

5. Dolin P. A. *Osnovy tekhniki bezopasnosti v elektroustanovkakh* [Power system basic's safety]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1984, 488 p.

6. Kostryukova N. K., Karpin V. A., Gudkov A. B. Mortality of population living in areas of local Earth's crust ruptures. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny* [Problems of social hygiene, health and medical history]. 2005, 4, pp. 17-19. [in Russian]

7. Kostryukova N. K., Karpin V. A., Gudkov A. B. Some pathogenetic mechanisms of biological effects of weak physical fields. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2006, 8, pp. 52-57. [in Russian]

8. Pal'tsev Yu. P., Pokhodzey L. V., Rubtsova N. B., Perov S. Yu., Bogacheva E. V. Electromagnetic-field effect study problem on human health. Results and prospects. *Medsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Occupational medicine and industrial ecology]. 2013, 6, pp. 35-40. [in Russian]

9. *Pravila ustroystva elektroustanovok. Vse deistviyushchie razdely 6 i 7 izdaniy* [Electrical installation code. All applicable sections of 6 and 7 editions]. Moscow, KNORUS Publ., 2015, 491 p.

10. Rubtsova N. B., Paltsev Yu. P., Pokhodzey L. V., Tokarskii A. Yu., Leonov M. L. Occupational and environment electromagnetic safety. Problems and prospects. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2009, 11 (1-6), pp. 1366-1369. [in Russian]

11. *Sait ZAO «Energomash (Ekaterinburg)-Uralelektrotiazhmash»* [CJSC «Energomash (Ekaterinburg)-Uralelektrotiazhmash» web site]. Available at: <http://www.uetm.ru/products/147/185> (accessed 19.02.2016). [in Russian]

12. *SanPiN 2.2.4.1191-03. Elektromagnitnye polya v proizvodstvennykh usloviyakh* [SanRaN 2.2.4.1191-03. Electromagnetic field under factory conditions]. Approved by a decision chief public health official of the Russian Federation from February 19, 2003, no. 10. Moscow, Center for Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of Russia, 2003, 38 p.

13. Sokolova L. A., Popova O. N., Kalinina M. M., Bogdanov M. Yu., Kocheshova G. F., Gudkov A. B. Prediction of occupational diseases risk among assemblers of vessel metal hull of machine building plant. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2015, 1, pp. 10-14. [in Russian]
14. Sosnina E. N., Bedretdinov R. Sh. About transformer-thyristor voltage and power regulator. *Elektrooborudovanie: ekspluatatsiya i remont* [Electrical equipment: operation and repair]. 2013, 4, pp. 24-26. [in Russian]
15. Sosnina E. N., Loskutov A. B., Dmitriev S. M., Chivenkov A. I., Loskutov A. A. Demonstration digital transformer substation with active-adaptive control system and voltage and power automatic smoth regulation. *Promyshlennaya energetika* [Industrial power engineering]. 2013, 12, pp. 8-13. [in Russian]
16. Sosnina E. N., Masleeva O. V., Bedretdinov R. Sh. Otsenka opasnykh faktorov pri rabote tsifrovoy transformatornoi podstantsii [Evaluation hazards in the digital transformer substation operation]. In: *Materialy VIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Aktual'nye voprosy tekhnosfernoi bezopasnosti», Ulan-Ude, 14-17 sentyabrya, 2015* [Proceedings of VIII Russian National research and application conference «Technosphere safety topical issues», Ulan-Ude, September 14-17, 2015]. Ulan-Ude, 2015, pp. 117-120. [in Russian]
17. Sosnina E. N., Masleeva O. V., Pachurin G. V., Bedretdinov R. Sh. Study the impact of digital transformer substation working conditions crew. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research]. 2015, 5-1, pp. 143-148. [in Russian]
18. Sosnina E. N., Masleeva O. V., Pachurin G. V., Bedretdinov R. Sh. Revisited safety of power transformers. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research]. 2013, 10, pp. 1023-1026. [in Russian]
19. Stepanov I. M. *Issledovanie elektromagnitnykh polei v elektroustanovkakh vysokogo napryazheniya i razrabotka mer po snizheniyu ikh intensivnosti (avtoref. cand. diss.)* [Electromagnetic field research to high-voltage installation and measure development to decrease their intensity. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Novosibirsk, 2009, 149 p.
20. Syurin S. A., Gushchin I. V., Nikanov A. N. Occupational pathology of the Far North different production copper nickel industry workers. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 6, pp. 8-12. [in Russian]
21. Bukhtiyarov I. V., Rubtsova N. B., Paltsev Yu. P., Pokhodzey L. V., Perov S. Yu. Electromagnetic field as human health risk factor: emf safety ensuring by hygienic standardization. Conference information package: Progress in Electromagnetics Research Symposium. «PIERS 2013 Stockholm - Progress in Electromagnetics Research Symposium, Proceedings» ser. 2013, pp. 1077-1081.

**Контактная информация:**

Бедретдинов Рустам Шамилович — научный сотрудник кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева» Министерства образования и науки России  
Адрес: 603950, ГСП-41, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24  
E-mail: rsb88@yandex.ru