

EDN: <https://elibrary.ru/danfbe>

DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-2-109-115>

УДК 613.646, 613.648.2

Коллектив авторов, 2023

Перов С.Ю., Сажина М.В., Коньшина Т.А.

Влияние термической нагрузки среды на электротехнический персонал, использующий экранирующие средства индивидуальной защиты на открытых территориях в тёплый период года

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова», пр-т Будённого, 31, Москва, 105275

Введение. В работе представлены результаты гигиенической оценки уровней напряжённости электрического и магнитного полей промышленной частоты и функционального состояния организма человека при использовании экранирующих средств индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты на открытых распределительных устройствах напряжением 220–750 кВ в тёплый период года.

Цель исследования — исследование функционального состояния организма человека, использующего средства индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты во время работ на открытых распределительных устройствах напряжением 220–750 кВ, и возможность их регламентации в зависимости от тепловой нагрузки среды.

Материалы и методы. Измерения уровней электрических и магнитных полей промышленной частоты осуществлялись в соответствии с МУК 4.3.2491-09. В исследовании по оценке функционального состояния организма человека при использовании средств индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты участвовало 8 добровольцев. Добровольцы выполняли работу электротехнического персонала в течение 60 минут с последующим 30-минутным восстановлением. Контроль параметров окружающей среды проводился на основании измерений индекса тепловой нагрузки среды. Регистрировались показатели, такие как температура и влажность кожи, температура и влажность пододежного пространства, влагопотери.

Результаты. На рассматриваемых электросетевых объектах зафиксированы превышения ПДУ электрического поля промышленной частоты до 30 кВ/м, в связи с этим обязательным является использование средств индивидуальной защиты. Полученные результаты исследований функционального состояния организма человека выявили тенденцию к росту напряжений механизмов терморегуляции организма человека, использующего средства индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты во время проведения работ на открытых распределительных устройствах.

Ограничения исследования. Количество добровольцев было обусловлено ограниченным допуском на производственных объектах.

Выводы. Регламентация режимов труда и отдыха персонала при работе на открытой территории в тёплый период года по индексу тепловой нагрузки среды требует корректировки, поскольку проведённые исследования показали необходимость более строгой регламентации по времени при эксплуатации средств индивидуальной защиты от электрического поля промышленной частоты в нагреваемой среде с учётом их влияния на тепловое и функциональное состояние организма человека. **Этика.** Исследование одобрено Локальным этическим комитетом Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова» (выписка из протокола заседания № 3 от 23.03.2022 г.).

Ключевые слова: тепловое состояние организма человека; электрическое поле промышленной частоты; средства индивидуальной защиты

Для цитирования: Перов С.Ю., Сажина М.В., Коньшина Т.А. Влияние термической нагрузки среды на электротехнический персонал, использующий экранирующие средства индивидуальной защиты на открытых территориях в тёплый период года. *Мед. труда и пром. экол.* 2023; 63(2): 109–115. <https://elibrary.ru/danfbe> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-2-109-115>

Для корреспонденции: Перов Сергей Юрьевич, доктор биологических наук, заведующий лабораторией электромагнитных полей ФГБНУ «НИИ МТ». E-mail: perov@iriioh.ru

Участие авторов:

Перов С.Ю. — концепция, дизайн и организация исследования;

Сажина М.В. — сбор материала и обработка данных, написание текста;

Коньшина Т.А. — сбор материала и обработка данных, написание текста.

Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Дата поступления: 14.01.2023 / Дата принятия к печати: 01.02.2023 / Дата публикации: 25.02.2023

Sergey Yu. Perov, Maria V. Sazhina, Tatyana A. Konshina

The influence of the thermal load of the environment on electrical personnel using shielding personal protective equipment in open areas during the warm season

Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budyonnogo Ave., Moscow, 105275

Introduction. The paper presents the results of a hygienic assessment of the intensity levels of electric and magnetic fields of industrial frequency and the functional state of the human body when using shielding personal protective equipment against electric fields of industrial frequency on open switchgears with a voltage of 220–750 kV in the warm season.

The study aims to explore the functional state of the human body using personal protective equipment against industrial frequency electric fields during work on open switchgears with a voltage of 220–750 kV, and the possibility of their regulation depending on the thermal load of the environment.

Materials and methods. The specialists measured the levels of electric and magnetic fields of industrial frequency in accordance with МУК 4.3.2491-09. Eight volunteers took part in the study to assess the functional state of the human

body when using personal protective equipment against industrial frequency electric fields. Volunteers performed the work of electrical personnel for 60 minutes followed by a 30-minute recovery. We monitored environmental parameters based on measurements of the environmental heat load index and recorded indicators such as skin temperature and humidity, temperature and humidity under clothing, moisture loss.

Results. At the considered electric grid facilities, the researchers recorded the excess of remote adjustment of the electric field of industrial frequency up to 30 kV/m, in this regard, the use of personal protective equipment is mandatory. The obtained results of studies of the functional state of the human body revealed a tendency to increase the voltage of the mechanisms of thermoregulation of the human body using personal protective equipment against electric fields of industrial frequency when working on open switchgear.

Limitations. The number of volunteers was due to limited access to production facilities.

Conclusion. *The regulation of work and rest modes of personnel when working in an open area during the warm season according to the index of the thermal load of the environment requires adjustment, since the studies have shown the need for stricter time regulation when operating personal protective equipment against an electric field of industrial frequency in a heating environment, taking into account their influence on the thermal and functional state of the human body.*

Ethics. The study was approved by the Local Ethics Committee of the Izmerov Research Institute of Occupational Health (extract from the minutes of the meeting No. 3 dated 03/23/2022).

Keywords: *thermal state of the human body; electric field of industrial frequency; personal protective equipment*

For citation: Perov S.Yu., Sazhina M.V., Konshina T.A. The influence of the thermal load of the environment on electrical personnel using shielding personal protective equipment in open areas during the warm season. *Med. truda i prom. ecol.* 2023; 63(2): 109–115. <https://elibrary.ru/danfbc> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-2-109-115> (in Russian)

For correspondence: *Sergey Yu. Perov*, Head of the Laboratory of Electromagnetic Fields, Izmerov Research Institute of Occupational Health, Dr. of Sci. (Biol.). E-mail: perov@iriogh.ru

Information about the authors: Perov S.Yu. <https://orcid.org/0000-0002-6903-4327>

Sazhina M.V. <https://orcid.org/0000-0001-7832-6308>

Konshina T.A. <https://orcid.org/0000-0003-0004-9886>

Contribution:

Perov S.Yu. — concept, design and organization of research;

Sazhina M.V. — collecting material and data processing, writing text;

Konshina T.A. — collecting material and data processing, writing text;

All co-authors — approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Funding. The study had no funding.

Conflict of interests. There is no conflict of interests.

Received: 14.01.2023 / Accepted: 01.02.2023 / Published: 25.02.2023

Введение. Электроэнергетика на сегодняшний день является одной из ведущих отраслей экономики Российской Федерации, а повсеместное расширение сферы применения электроэнергии приводит к увеличению количества высоковольтных электроустановок и численности обслуживающего их персонала. Ведущим производственным фактором для электротехнического персонала, осуществляющего эксплуатацию таких электроустановок высокого и сверхвысокого напряжения, как открытые распределительные устройства (ОРУ), является электрическое (ЭП) и магнитное поля (МП) промышленной частоты (ПЧ). Многочисленные исследования указывают на наличие превышений предельно допустимых уровней (ПДУ) ЭП и МП ПЧ на рабочих местах электросетевых объектов [1–3].

Обеспечение электромагнитной безопасности электротехнического персонала достигается соблюдением ПДУ ЭП и МП ПЧ, регламентированных санитарно-гигиеническими нормативами [4], что на практике представляет собой ограничение времени работы, расстояния до токоведущих частей и применение коллективных или индивидуальных средств защиты (СИЗ).

Одним из наиболее оптимальных способов обеспечения электромагнитной безопасности персонала на ОРУ является применение экранирующих СИЗ типа ЭП [5–7], которые при выполнении работ на электросетевых объектах обеспечивают снижение уровней ЭП ПЧ ниже ПДУ.

Выполнение работ на электросетевых объектах, в том числе на ОРУ, связано с длительным нахождением персонала на открытом воздухе в течение рабочей смены, причём большее количество плановых работ выполняется в тёплое время года, когда температура окружающего воздуха может превышать 30 градусов. При работах на от-

крытых территориях единственным способом защиты от воздействия нагревающей среды является регламентация времени работы и отдыха в помещениях с комфортным микроклиматом и свободным доступом к питьевой воде.

У работников, подвергающихся воздействию нагревающей среды в процессе производственной деятельности, возможно развитие так называемых заболеваний, ассоциированных с тепловым воздействием (*heat-related illnesses*). Было выявлено, что у персонала во время работы в тёплое время года риск их возникновения в 4–7 раз выше, чем при работе в нейтральных температурных условиях [8].

Посменная работа, выполняемая электротехническим персоналом в тёплое время года на открытых территориях, оказывает влияние на показатели функционального состояния организма человека, такие как температура тела, частота сердечных сокращений и вызывает перенапряжение терморегуляторных механизмов организма человека [9–11]. Кроме того, дополнительный вклад в термическую нагрузку среды может вносить использование СИЗ, так как их масса, конструкция и теплофизические свойства материалов, из которых они изготовлены, оказывают влияние на теплообмен организма человека с окружающей средой.

Большинство используемых в настоящее время в РФ СИЗ от ЭП ПЧ изготовлены из арамидных, в частности мета-aramидных волокон, обеспечивающих необходимые защитные свойства. При выполнении физической нагрузки при работе в СИЗ, изготовленных из арамидных материалов, увеличивается теплоотдача организма человека путём повышения скорости потоотделения и увеличения уровня влагопотерь [12]. Соответственно, возрастает уровень теплопотерь человека с потом, что приводит к увеличению влажности кожи [13] и, как следствие, к высоким

значениям влажности пододежного пространства из-за низкой влагопроницаемости материалов СИЗ.

Таким образом, наличие избыточной влаги в виде пота, с одной стороны, может приводить к снижению защитных свойств комплекта и коррозии электропроводящих материалов и фурнитуры, а с другой — к ограниченному влаго- и воздухообмену в пододежном пространстве. В результате этого у работников может иметь место появление выраженного чувства усталости, ослабление концентрации внимания, с последующим снижением работоспособности и производительности труда [14, 15].

Цель исследования — исследование функционального состояния организма человека, использующего средства индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты во время работ на открытых распределительных устройствах напряжением 220–750 кВ, и возможности их регламентации в зависимости от тепловой нагрузки среды.

Материалы и методы. Гигиеническая оценка ЭП и МП ПЧ проводилась на ОРУ напряжением 220, 330, 500 и 750 кВ двух объектов электроэнергетики — ПС 750 кВ и ГРЭС. Измерения уровней ЭП и МП ПЧ осуществлялись измерителем напряженности поля ПЧ ПЗ-50 (ЗАО «ТАНО», Россия) и измерителем ЭП и МП EFA-300 (Narda Safety Test Solutions GmbH, Германия) в соответствии с МУК 4.3.2491-09 [16]. На территории ОРУ ПС 750 кВ было проведено 5238 измерений, ГРЭС — 8100 измерений.

В исследовании по оценке функционального состояния организма человека при использовании СИЗ от ЭП ПЧ принимали участие всего 8 добровольцев: на ПС 750 кВ участвовало 5 добровольцев в возрасте 35 ± 13 лет, весом $61,48 \pm 11,41$ кг, ростом $1,71 \pm 0,09$ м и индексом массы тела (ИМТ) $20,89 \pm 3,26$ кг/м²; на ГРЭС — 7 добровольцев в возрасте 34 ± 12 лет, весом $74,28 \pm 24,11$ кг, ростом $1,74 \pm 0,10$ м и ИМТ $1,88 \pm 0,34$ кг/м². Большая часть добровольцев принимала участие в исследованиях на двух объектах. Исследование одобрено Локальным этическим комитетом ФГБНУ «НИИ МТ» (выписка из протокола заседания № 3 от 23.03.2022 г.), все участники исследования подписали добровольное информированное согласие об участии.

Добровольцы выполняли работу электротехнического персонала с уровнем энерготрат, соответствующим категории работ Па [4]: обход и осмотр электроустановок на указанных объектах. Продолжительность исследования составляла 90 минут, из которых 60 минут выполнялась работа и в течение 30 минут доброволец находился в состоянии относительного покоя (период восстановления).

При проведении работ добровольцы были одеты в комплект СИЗ от ЭП ПЧ, включающий электропроводящие куртку и брюки (выполнены из мета-арамидной и металлизированной ткани с хлопчатобумажной подкладкой), накаски, перчатки и ботинки.

В соответствии с МУК 4.3.1895-04 [17] каждые 10 минут регистрировалась температура кожи на 5 участках тела человека, на основании которой рассчитывалась средневзвешенная температура кожи (СВТК, °С) [17], также определялись следующие показатели, влияющие на теплообмен организма человека с окружающей его средой: влажность кожи ($RH_{\text{к}}$, %) на 5 участках, на основании которой рассчитывалась средневзвешенная влажность кожи (СВВК, °С); температура ($T_{\text{п/о}}$, °С) и влажность ($RH_{\text{п/о}}$, %) пододежного пространства. Исходные

(фоновые) значения показателей теплового состояния организма человека определялись до начала исследования в комфортных температурных условиях. Определялся уровень влагопотерь (ΔP , г/ч) на основании взвешивания добровольца до и после исследования [17] с использованием весов «Seca 703» («Seca GMBH & Co», Германия).

Значения СВТК, $RH_{\text{к}}$, $T_{\text{п/о}}$, $RH_{\text{п/о}}$ регистрировались датчиками температуры и влажности «Thermochron iButton™» («Maxim Integrated Products, Inc», США). Климатические условия: температура воздуха ($T_{\text{в}}$, °С), относительная влажность (RH , %), ТНС-индекс (°С) [18, 19] фиксировались термогигрометром ИВТМ-7 К (АО «ЭКСИС», г. Москва).

Полученные данные обрабатывались с использованием пакетов языка R. Для определения нормальности распределения применялся критерий Шапиро–Уилка. При нормальном распределении значений для описания данных использовалось среднее значение (M) и стандартная ошибка среднего (m).

Результаты. Результаты измерений показали, что в исследуемых точках ПС 750 кВ на высоте 1,7 м от поверхности земли максимальные уровни ЭП ПЧ достигали 30,80 кВ/м, а при нагрузке, приравненной к номинальной, уровни МП ПЧ не превышали 54,15 мкТл. Максимальные значения уровней ЭП и МП ПЧ, присутствующие на территории ОРУ ГРЭС, составили до 19,40 кВ/м и 579,32 мкТл соответственно.

Климатические условия на двух объектах отличались: так, на ОРУ ПС температура воздуха ($T_{\text{в}}$) составляла $33,6 \pm 1,7$ °С, относительная влажность (RH) — $45,8 \pm 3,6$ %, ТНС-индекс — $26,3 \pm 0,8$ °С, на ОРУ ГРЭС: $T_{\text{в}}$ $24,3 \pm 0,4$ °С, RH $38,2 \pm 5,1$ %, ТНС-индекс — $18,8 \pm 0,8$ °С.

На **рисунках 1–3** представлена динамика значений СВТК, СВВК и $RH_{\text{п/о}}$, которые отражают тепловое состояние добровольцев в СИЗ при выполнении работ.

Согласно данным, представленным на рисунке 1, при одинаковом уровне энерготрат значение СВТК было выше, в среднем, на 1,5°С при выполнении добровольцами работ на ПС 750 кВ в условиях нагревающей среды (ТНС-индекс=26,3°С) по сравнению с величиной СВТК, зарегистрированной у добровольцев на ГРЭС (ТНС-индекс=18,8°С). Скорость прироста этого показателя и скорость его восстановления до исходного уровня также были выше при выполнении исследований на ПС 750 кВ.

При выполнении добровольцами работ максимальные значения СВТК на ПС 750 кВ и ГРЭС были зарегистрированы на 60-й минуте (окончание физической нагрузки) и 30-й минуте исследования, соответственно.

Значения СВТК при выполнении работ на ПС 750 кВ выходили за пределы величины этого показателя, соответствующего верхней границе предельно допустимого теплового состояния человека на период 3 часа рабочей смены [17].

При выполнении работ на ПС 750 кВ значения СВВК находились в диапазоне от 47 до 53%, в то время как при работах на ГРЭС — в пределах 30% (**рис. 2**). Значения показателя $RH_{\text{п/о}}$ достигали максимальных значений на 40-й минуте в обоих случаях и составляли, в среднем, 88% и 75%, соответственно (**рис. 3**).

Значения $T_{\text{п/о}}$ при выполнении работ на ПС 750 кВ и ГРЭС находились в диапазоне от 33 до 35°С и восстанавливались до исходных значений в период отдыха. Уровни влагопотерь за весь период исследования составили,

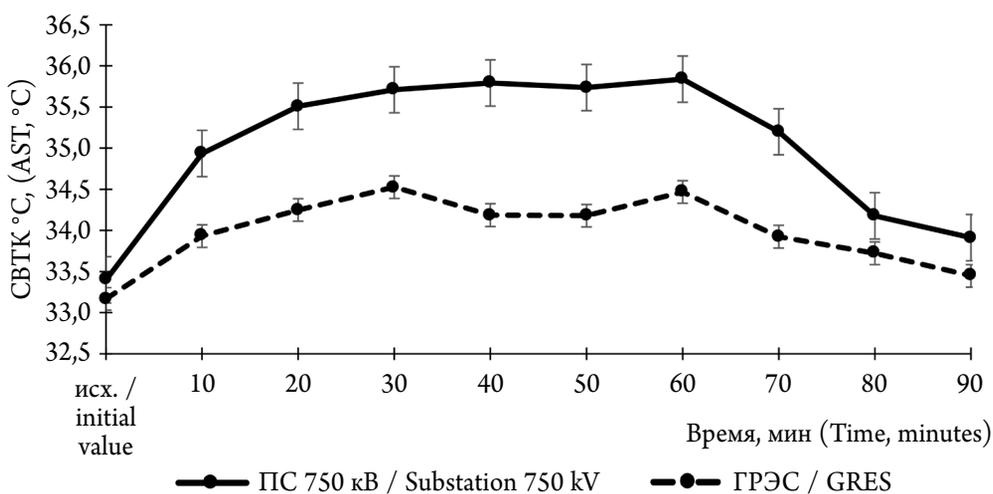


Рис. 1. Динамика значений средневзвешенной температуры кожи человека при выполнении физической нагрузки и периода восстановления ($M \pm m$)
Fig. 1. Average skin temperature (AST, °C) values dynamics during physical load and rest periods ($M \pm m$)

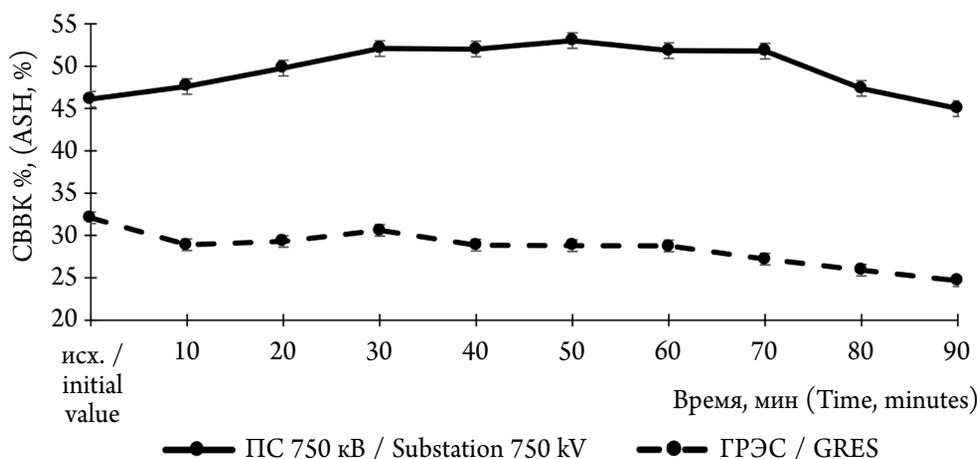


Рис. 2. Динамика значений средневзвешенной влажности кожи человека при выполнении физической нагрузки и периода восстановления ($M \pm m$)
Fig. 2. Average skin humidity (ASH, %) values dynamics during physical load and rest periods ($M \pm m$)

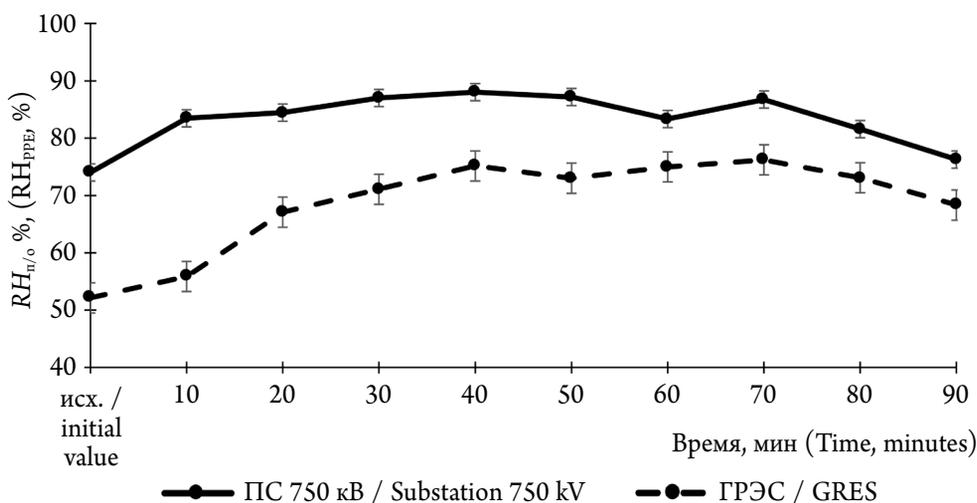


Рис. 3. Динамика значений пододежной влажности при выполнении физической нагрузки и периода восстановления ($M \pm m$)
Fig. 3. Relative humidity under PPE (RH_PPE, %) values dynamics during physical load and rest periods ($M \pm m$)

в среднем, 900 г/ч и 400 г/ч, для ПС 750 кВ и ГРЭС, соответственно.

Обсуждение. Гигиеническая оценка уровней ЭП и МП ПЧ на территории электросетевых объектов указывает на необходимость ограничения времени работы персонала на ОРУ ГРЭС до 35 минут за рабочую смену, либо применения СИЗ без ограничения времени работы, а осуществление работ на территории ОРУ ПС 750 кВ без применения СИЗ запрещается.

Анализируя динамику показателей функционального состояния организма человека, был выявлен непрерывный рост показателя СВТК до 30-й минуты исследования, при этом отмечено, что при более высокой тепловой нагрузке (ПС 750 кВ), наблюдалась более высокая скорость прироста, который составила 0,041°C/мин по сравнению с 0,022°C/мин на ГРЭС.

На *рисунке 1* видно, что после подъёма показателя СВТК с 30-й минуты работы наблюдалось её снижение при работе на ГРЭС. Снижение показателя СВВК после 30-й минуты исследования (*рис. 2*), а также увеличение $RH_{п/о}$ и высокий уровень влагопотерь (400 г/ч) свидетельствует о том, что влияние тепловой нагрузки среды компенсируется теплопотерями путём испарения пота с поверхности тела человека и накопления влаги в подкожном пространстве (*рис. 3*).

При осуществлении работ на ПС 750 кВ компенсаторные механизмы защиты организма человека от перегрева не могли быть реализованы вследствие высокого уровня термической нагрузки среды и значительных влагопотерь (900 г/ч), на что указывает отсутствие снижения показателей СВТК, СВВК и высокие значения $RH_{п/о}$.

Так как работники используют СИЗ от ЭП ПЧ на протяжении всей рабочей смены, необходима регламентация режимов труда и отдыха при выполнении работ в нагревающей среде в соответствии с МР 2.2.8.0017-10 [20]. При работе в условиях нагревающей среды с ТНС-индексом равным 26,3°C (среднее значение при выполнении работ на ПС 750 кВ) допустимая продолжительность суммарного пребывания на рабочем месте за смену не должна превышать 5,5 часов с отдыхом продолжительностью 2,5 часа. При выполнении работ на ОРУ в условиях окружающей среды с ТНС-индексом 18,8°C и ниже ограничения по времени работы электротехнического персонала на открытой территории отсутствуют.

Полученные результаты исследований выявили тенденцию к росту напряжения механизмов терморегуляции организма человека, использующего СИЗ от ЭП ПЧ во время проведения работ на открытых распределительных устройствах напряжением 220–750 кВ, о чём свидетельствуют увеличение значений СВТК, выходящее за пределы допустимых величин (33,4°C) [17], значений СВВК и влажности подкожного пространства, а также значи-

тельные величины влагопотерь. Результаты исследований показали, что скорость изменения показателей теплового состояния определяется уровнем внешней термической нагрузки среды. В нашем случае, значения СВТК, СВВК, влагопотерь были выше у добровольцев, выполняющих работу на ПС 750 кВ (ТНС-индекс=26,3°C) по сравнению с ГРЭС (ТНС-индекс=18,8°C).

Применение СИЗ ЭП ПЧ вносило дополнительный вклад в общую термическую нагрузку среды за счёт массы комплекта, большего значения его теплоизоляции с учётом наличия х/б подкладки, высокой степени изоляции поверхности тела (открыта только область лица), что в совокупности приводило к большому скоплению влаги в подкожном пространстве при ограничении её испарения с поверхности кожи и комплекта, появлению дискомфорта, значительному росту влагопотерь.

Как следствие, подобное изменение показателей теплового состояния организма человека может сказываться как на общем состоянии их здоровья, появлении субъективного дискомфорта, так и дальнейшем снижении работоспособности при продолжительной работе в условиях высокой термической нагрузки среды. Также наиболее вероятно нарушение координации движений, выносливости и увеличение времени простой зрительно-моторной реакции [17].

Выводы:

1. Анализ результатов измерений уровней напряжённости электрических полей промышленной частоты показал необходимость использования экранирующих комплектов на ОРУ 750 кВ, тогда как на объектах более низкого класса напряжения, допускается работа без использования средств защиты, но на период времени не более 1 часа. Для обеспечения необходимого цикла работ без регламентации по времени ведущего производственного фактора (ЭП ПЧ) использование средств индивидуальной защиты является рекомендуемым для всех рассматриваемых классов напряжения.

2. Анализ результатов исследований по оценке теплового состояния организма человека при работе с использованием СИЗ от ЭП ПЧ в условиях термической нагрузки среды показал значительное напряжение механизмов терморегуляции добровольцев, обусловленное физической работой в условиях высокой термической нагрузки среды и использованием СИЗ от ЭП ПЧ.

3. Регламентация режимов труда и отдыха персонала при работе на открытой территории в тёплое время года по ТНС-индексу требует корректировки, поскольку проведённые исследования показали необходимость более строгой регламентации по времени при эксплуатации СИЗ от ЭП ПЧ в нагревающей среде с учётом их влияния на тепловое и функциональное состояние организма человека.

Список литературы

1. Рубцова Н.Б., Токарский А.Ю., Лазаренко Н.В., Самусенко Т.Г. Методические принципы гигиенической оценки электромагнитных полей промышленной частоты на рабочих местах персонала электросетевых объектов и их реализация. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения РАН.* 2006; 3: 7–12.
2. Korpinen L.H., Elovaara J.A., Kuisti H.A. Occupational exposure to electric fields and induced currents associated with 400 kV substation tasks from different service platforms. *Bioelectromagnetics.* 2011; 32(1): 79–83.
3. Nadolny Z. Impact of Changes in Limit Values of Electric and Magnetic Field on Personnel Performing Diagnostics of Transformers. *Energies.* 2022; 15(19): 7230.
4. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М.: Центртраг; 2021.
5. ГОСТ 12.4.172-2019 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты. Комплекты индивидуальные

- экранирующие. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ; 2019.
6. Göcsei G., Berta I.S., Németh B. Safety considerations regarding to the shielding of electric fields during high voltage live-line maintenance. *Acta Technica Jaurinensis*. 2015; 8(2): 153–64. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.v8.n2.368>
 7. Pirkkalainen H., Elovaara J.A., Korpinen L. Decreasing the extremely low-frequency electric field exposure with a Faraday cage during work tasks from a man hoist at a 400 kV substation. *Prog. Electromagn. Res. M*. 2016; 48: 55–66. <https://doi.org/10.2528/PIERM16021501>
 8. Xiang J., Hansen A., Pisaniello D., Bi P. Extreme heat and occupational heat illnesses in South Australia, 2001–2010. *Occup Environ Med*. 2015; 72(8): 580–6. <https://doi.org/10.1136/oemed-2014-102706>
 9. Meade R.D., D'Souza A.W., Krishen L., Kenny G.P. The physiological strain incurred during electrical utilities work over consecutive work shifts in hot environments: A case report. *J Occup Environ Hyg*. 2017; 14(12): 986–94. <https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1365151>
 10. Xu A. Zhang, Shangjie Yu, Beibei Xu, Min Li, Zhiwei Peng, Yongxin Wang et al. Dynamic gating of infrared radiation in a textile. *Science*. 2019; 363(6427): 619–23. <https://doi.org/10.1126/science.aau1217>
 11. Xiang J., Bi P., Pisaniello D., Hansen A. Health impacts of workplace heat exposure: an epidemiological review. *Industrial Health (National Institute of Occupational Safety and Health, Japan)*. 2014; 52(2): 91–101. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2012-0145>
 12. Poirier M.P., Meade R.D., McGinn R., Friesen B.J., Hardcastle S.G., Flouris A.D., Kenny G.P. The Influence of Arc-Flash and Fire-Resistant Clothing on Thermoregulation during Exercise in the Heat. *J Occup Environ Hyg*. 2015; 12(9): 654–67. <https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1029615>
 13. Vargas N., Chapman C., Johnson B., Gathercole R., Schlader Z. Skin wettedness is an important contributor to thermal behavior during exercise and recovery. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2018; 315. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00178.2018>
 14. Spector J.T., Masuda Y.J., Wolff N.H., Calkins M., Seixas N. Heat Exposure and Occupational Injuries: Review of the Literature and Implications. *Curr Envir Health Rpt*. 2019; 6: 286–96. <https://doi.org/10.1007/s40572-019-00250-8>
 15. Mead R.D., D'Souza A.W., Krishen L., Kenny G. The physiological strain incurred during electrical utilities work over consecutive work shifts in hot environments: A case report. *Journal of occupational and environmental hygiene*. 2017; 14(8). <https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1365151>
 16. МУК 4.3.2491-09 Гигиеническая оценка электрических и магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2009.
 17. МУК 4.3.1895-04 Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания: Методические указания. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России; 2004.
 18. Yasmeen S., Liu H. Evaluation of thermal comfort and heat stress indices in different countries and regions — A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 609: 052037. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/609/5/052037>
 19. Kralikova R., Sokolova H., Wessely E. Thermal Environment Evaluation According to Indices in Industrial Workplaces. *Procedia Engineering*. 2014; 69: 158–67. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.216>
 20. МР 2.2.8.0017-10 Режимы труда и отдыха работающих в нагревающем микроклимате в производственных помещениях и на открытой местности в тёплый период года: Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2011.

References

1. Rubtsova N.B., Tokarskiy A.Yu., Lazarenko N.V., Samusenko T.G. Methodological principles of power frequency electromagnetic fields at workplaces of power grid network staff hygienic assessment and its realization. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya RAMN*. 2006; 3: 7–12 (in Russian).
2. Korpinen L.H., Elovaara J.A., Kuisti H.A. Occupational exposure to electric fields and induced currents associated with 400 kV substation tasks from different service platforms. *Bioelectromagnetics*. 2011; 32(1): 79–83.
3. Nadolny Z. Impact of Changes in Limit Values of Electric and Magnetic Field on Personnel Performing Diagnostics of Transformers. *Energies*. 2022; 15(19): 7230.
4. SanPiN 1.2.3685-21 Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and(or) harmlessness of environmental factors for humans. М.: Tsentrimg; 2021.
5. GOST 12.4.172-2019 Occupational safety standards system. Personal protective means from power frequency electric fields. Personal screening suit. General technical requirements. Test methods. М.: Стандартинформ; 2019.
6. Göcsei G., Berta I.S., Németh B. Safety considerations regarding to the shielding of electric fields during high voltage live-line maintenance. *Acta Technica Jaurinensis*. 2015; 8(2): 153–64. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.v8.n2.368>
7. Pirkkalainen H., Elovaara J.A., Korpinen L. Decreasing the extremely low-frequency electric field exposure with a Faraday cage during work tasks from a man hoist at a 400 kV substation. *Prog. Electromagn. Res. M*. 2016; 48: 55–66. <https://doi.org/10.2528/PIERM16021501>
8. Xiang J., Hansen A., Pisaniello D., Bi P. Extreme heat and occupational heat illnesses in South Australia, 2001–2010. *Occup Environ Med*. 2015; 72(8): 580–6. <https://doi.org/10.1136/oemed-2014-102706>
9. Meade R.D., D'Souza A.W., Krishen L., Kenny G.P. The physiological strain incurred during electrical utilities work over consecutive work shifts in hot environments: A case report. *J Occup Environ Hyg*. 2017; 14(12): 986–94. <https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1365151>
10. Xu A. Zhang, Shangjie Yu, Beibei Xu, Min Li, Zhiwei Peng, Yongxin Wang et al. Dynamic gating of infrared radiation in a textile. *Science*. 2019; 363(6427): 619–23. <https://doi.org/10.1126/science.aau1217>
11. Xiang J., Bi P., Pisaniello D., Hansen A. Health impacts of workplace heat exposure: an epidemiological review. *Industrial Health (National Institute of Occupational Safety and Health, Japan)*. 2014; 52(2): 91–101. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2012-0145> ISSN 0019-8366
12. Poirier M.P., Meade R.D., McGinn R., Friesen B.J., Hardcastle S.G., Flouris A.D., Kenny G.P. The Influence of Arc-Flash and Fire-Resistant Clothing on Thermoregulation during Exercise in the Heat. *J Occup Environ Hyg*. 2015; 12(9): 654–67. <https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1029615>
13. Vargas N., Chapman C., Johnson B., Gathercole R., Schlader Z. Skin wettedness is an important contributor to thermal behavior during exercise and recovery. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2018; 315. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00178.2018>
14. Spector J.T., Masuda Y.J., Wolff N.H., Calkins M., Seixas N. Heat Exposure and Occupational Injuries: Review of the Literature and Implications. *Curr Envir Health Rpt*. 2019; 6: 286–296. <https://doi.org/10.1007/s40572-019-00250-8>
15. Mead R.D., D'Souza A.W., Krishen L., Kenny G. The physiological strain incurred during electrical utilities work over consecutive work shifts in hot environments: A case report.

- Journal of occupational and environmental hygiene*. 2017; 14(8). <https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1365151>
16. MUK 4.3.2491-09 Hygienic assessment of power frequency (50 Hz) electric and magnetic fields at work conditions. M.: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor; 2009.
 17. MUK 4.3.1895-04 Assessment of the human thermal state in order to substantiate the hygienic requirements for the microclimate of workplaces and the measures for preventing cooling and overheating: Methodical instructions. M.: Federal'nyi tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii; 2004.
 18. Yasmeeen S., Liu H. Evaluation of thermal comfort and heat stress indices in different countries and regions — a review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 609: 052037. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/609/5/052037>.
 19. Kralikova R., Sokolova H., Wessely E. Thermal Environment Evaluation According to Indices in Industrial Workplaces. *Procedia Engineering*. 2014; 69: 158–67. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.216>
 20. MR 2.2.8.0017-10 Labor and rest regimes working in a heating microclimate in a production area and in an open area in the warm period of the year. M.: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor; 2011.
-