

Читать
онлайн
Read
online

Бурмистрова О.В., Перов С.Ю., Сажина М.В.

Физиологические сдвиги в организме при работе в нагревающей среде в шунтирующих экранирующих средствах индивидуальной защиты

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», 105275, Москва, Россия

Введение. В статье представлены результаты исследования функционального состояния организма человека, использующего комплект экранирующей спецодежды при моделировании профессиональной деятельности электротехнического персонала в условиях нагревающей среды.

Материалы и методы. Исследования проводились в микроклиматической камере ФГБНУ «НИИ МТ» при температуре воздуха $35,5 \pm 0,5$ °C и ТНС-индексе $30 \pm 0,8$ °C. Исследования функционального состояния организма человека проводились с участием 12 добровольцев, использовавших комплект шунтирующих экранирующих средств индивидуальной защиты и контрольный комплект одежды. Регистрировались значения температуры тела, температуры и влажности кожи, температуры и влажности пододёжного пространства, оценивались общие теплоощущения и локальные влагоощущения. В процессе исследований проводилась регистрация частоты сердечных сокращений (ЧСС) и уровня энергозатрат методом непрямой калориметрии. Проводился расчёт значений средневзвешенной температуры кожи человека, средней температуры тела, прироста ЧСС, изменения теплосодержания, а также показателей влагообмена.

Результаты. Результаты оценки физиологической стоимости свидетельствуют о том, что в заданных условиях применение экранирующего комплекта по сравнению с контрольным комплектом приводило к большему приросту глубокой температуры тела (на 47,7%), большему значению средней температуры тела (на 1,3%), теплоаккумуляции (на 24,2%), ЧСС (на 24,7%), уровня энергозатрат (на 20,7%), влагопотерь (на 55,6%).

Ограничения исследования. Исследование имело ограничения в виде объёма выборки добровольцев.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют о значительном ухудшении функционального состояния организма человека и критическом риске перегрева при использовании экранирующих Средств индивидуальной защиты (СИЗ). Использование экранирующего комплекта увеличивает физиологическую и энергетическую стоимость работы, выражающейся в увеличении уровня энергозатрат, потребления кислорода и в повышении категории работ с IIa до IIb.

Ключевые слова: тепловое состояние; экранирующие средства индивидуальной защиты; физиологическая стоимость

Соблюдение этических стандартов. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. акад. Н.Ф. Измерова», протокол № 2 от 23.03.2022 г. Все 12 добровольцев подписали информированное согласие об участии в исследовании.

Для цитирования: Бурмистрова О.В., Перов С.Ю., Сажина М.В. Физиологические сдвиги в организме при работе в нагревающей среде в шунтирующих экранирующих средствах индивидуальной защиты. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(9): 921-927. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-9-921-927> <https://elibrary.ru/zdjzgz>

Для корреспонденции: Сажина Мария Владимировна, мл. науч. сотр. лаб. средств индивидуальной защиты и промышленных экзоскелетов ФГБНУ «НИИ МТ», 105275, Москва. E-mail: ppe-lab@iriioh.ru

Участие авторов: Бурмистрова О.В. — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, написание текста; Перов С.Ю. — концепция, дизайн и организация исследования; Сажина М.В. — сбор материала и обработка данных, написание текста. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 30.06.2023 / Принята к печати: 26.09.2023 / Опубликовано: 30.10.2023

Olga V. Burmistrova, Sergey Yu. Perov, Maria V. Sazhina

Physiological deviations in the body when working in a heating environment in shunt shielding personal protective equipment

Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, 105275, Russian Federation

Introduction. The article presents results of the study of the human body functional state when using a set of shielding personal protective equipment during modelling of electrical staff occupational activity in a hot environment.

Materials and methods. The studies were carried out in the climatic chamber with an air temperature 35.5 ± 0.5 °C and a WBGT index of 30.0 ± 0.8 °C. Studies of the human body functional state were conducted with the participation of twelve volunteers who used a set of shunting shielding personal protective equipment and a control clothing set. The values of body temperature, skin both temperature and humidity, clothing temperature and humidity under dressing were recorded. General heat and local moisture perceptions were evaluated. During the research, the heart rate and metabolic rate were recorded by indirect calorimetry. The values of the average skin & body temperature, heart rate increase, changes in heat storage rate, as well as moisture exchange indicators were calculated.

Results. The results of the physiological cost assessment indicate that the use of a shielding personal protective equipment set compared to the control set led to a greater increase in core temperature (by 47.7%), higher values of average body temperature (by 1.3%), heat storage rate (by 24.2%), heart rate (by 24.7%), the metabolic rate (by 20.7%), moisture loss (by 55.6%).

Limitations. The study had limitations due to sample size of the included volunteers.

Conclusion. The data obtained indicate a significant change in the human body functional state and a critical risk of overheating when using shielding personal protective equipment. The use of a shielding clothing increases the physiological and energy cost of work, which is expressed in a gain in the metabolic rate level, oxygen consumption, and a work category elevation from IIa to IIb.

Keywords: thermal state; personal protective equipment; physiological cost

Compliance with ethical standards. The Local ethics committee of the FSBSI «Izmerov Research Institute of Occupational Health» approved this study carried out under the WMA Declaration of Helsinki (record No. 2 from 22.03.2022). All 12 volunteers signed an informed consent form to participate in the study.

For citation: Burmistrova O.V., Perov S.Yu., Sazhina M.V. Physiological deviations in the body when working in a heating environment in shunt shielding personal protective equipment. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(9): 921-927. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-9-921-927> <https://elibrary.ru/zdjzgg> (In Russ.)

For correspondence: Maria V. Sazhina, MD, junior researcher of the laboratory of personal protective equipment and industrial exoskeleton, Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, 105275, Russian Federation. E-mail: ppe-lab@iriokh.ru

Information about the authors:

Burmistrova O.V., <https://orcid.org/0000-0002-8233-4017> Perov S.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-6903-4327> Sazhina M.V., <https://orcid.org/0000-0001-7832-6308>

Contribution: *Burmistrova O.V.* – the concept and design of the study, collection and processing of material, writing a text; *Perov S.Yu.* – the concept, organization and design of the study; *Sazhina M.V.* – collection and processing of material, writing a text. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: June 30, 2023 / Accepted: September 26, 2023 / Published: October 15, 2023

Введение

Ведущими неблагоприятными факторами производственной среды при осуществлении профессиональной деятельности электротехнического персонала на открытой территории в тёплый период года являются уровень напряжённости электрического поля промышленной частоты (ЭП ПЧ) и климатические параметры. Работа на участках подстанций и на высоковольтных линиях электропередачи с превышением предельно допустимого уровня (ПДУ) ЭП ПЧ проводится с использованием средств индивидуальной защиты (СИЗ) – экранирующих шунтирующих комплектов, так как применение средств коллективной защиты, а также защиты временем и расстоянием не представляется возможным вследствие особенностей технологического процесса и работ вне производственных помещений. Применение экранирующих комплектов при работе в нагревающей среде вносит существенный вклад в термическую нагрузку наряду с климатическими параметрами, уровнем физической нагрузки и продолжительностью воздействия неблагоприятных факторов [1–5].

Работники, выполняющие свои профессиональные обязанности на открытом воздухе, особенно в тёплое время года, представляют собой особую группу риска в связи с продолжительным воздействием на них нагревающей среды, физической нагрузки, а также с использованием СИЗ, затрудняющих тепловлагообмен с окружающей средой [6]. Под воздействием данного комплекса факторов в организме человека происходит напряжение механизмов терморегуляции, что может оказывать влияние на функции различных органов и систем [7].

Физиологическую стоимость работы можно рассматривать как величину изменения функциональных показателей организма человека по сравнению с состоянием покоя, в процессе выполнения работы, а также после её окончания в восстановительном периоде [8, 9]. Для изучения вклада СИЗ в формирование термической нагрузки проводятся исследования без их использования при прочих равных условиях [3].

Для оценки физиологической стоимости работы могут использоваться показатели, отражающие напряжение различных систем организма человека при осуществлении профессиональной деятельности [8–10]. Оценка физиологической стоимости работы в нагревающей среде может быть проведена по изменению показателей функционального состояния системы терморегуляции и тесно связанной с ней кардиореспираторной системой (КРС) [3].

Проведение исследований по изучению влияния экранирующего комплекта на функциональное состояние организма человека в производственных условиях ограничено вследствие небольшого числа добровольцев из-за ограниченного допуска к работе на режимном объекте, а также относительно небольшого количества методов определения показателей теплового состояния, изменчивости климатических параметров в течение суток и дней.

Таким образом, для более детального изучения степени напряжения механизмов терморегуляции человека, использующего экранирующий комплект в нагревающей среде, и оценки физиологической стоимости работы были проведены исследования в микроклиматической камере, в которой были смоделированы условия проведения работ на открытом воздухе как по параметрам внешней среды (температура и относительная влажность воздуха, тепловое излучение), по уровню физической нагрузки, так и по продолжительности воздействия.

Материалы и методы

Исследования проводились в микроклиматической камере ФГБНУ «НИИ МТ» при температуре воздуха $35,5 \pm 0,5$ °С, его относительной влажности $52,5 \pm 4,7$ %. Уровень теплового облучения 25% площади поверхности тела составлял 67 ± 3 Вт/м². Значение интегрального показателя термической нагрузки среды, ТНС-индекса, находилось в пределах $30 \pm 0,8$ °С.

Исследования функционального состояния организма человека проводились с участием 12 добровольцев, подписавших информированное согласие об участии (протокол № 2 от 23.03.2022 г. заседания локального этического комитета ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. акад. Н.Ф. Измерова»).

Добровольцы использовали комплект СИЗ от ЭП ПЧ, состоящий из куртки и брюк, электропроводящих ботинок, перчаток и нагасника (комплект № 1), и контрольный комплект одежды – футболка, шорты, головной убор (комплект № 2).

Моделирование климатических условий проводилось с использованием инфракрасных электрических обогревателей Ballu BIN-LW-1.2 (Ballu, Китай) и ультразвукового увлажнителя воздуха BONECO Air-O-Swiss 7135 (Boneco AG, Швейцария). Микроклиматические параметры регистрировались термогигрометром ИВТМ-7 К (АО «ЭКСИС», г. Москва).

Модель трудовой деятельности включала в себя выполнение общей физической работы в виде ходьбы по электрической беговой дорожке Xiaomi WalkingPad C1 (Xiaomi, Китай) со скоростью 2,5 км/ч, имитируя обход и осмотр территории электроустановок электротехническим персоналом.

Циклограмма проведения исследований включала четыре этапа:

1. Подготовительный, во время которого на теле добровольца крепились датчики и регистрировались фоновые (исходные) показатели терморегуляторных реакций (температура тела и кожи, тепло- и влажноощущения, ЧСС, масса тела, вес всех элементов, входящих в состав комплекта, и исходный уровень энерготрат в комфортных условиях).

2. Адаптационный – доброволец в течение 10 мин находился в состоянии относительного покоя в положении сидя в условиях нагревающей среды.

Таблица 1 / Table 1

Показатели теплового состояния человека при использовании различных комплектов одежды, $M \pm \sigma$
Thermal state indices when using different types of clothing, $M \pm \sigma$

Показатель Index	№ комплекта одежды № of clothing set	Период исследований / Research period			
		подготовительный Preparation	адаптационный Adaptation	рабочий Working	восстановительный Remedial
		Время от начала испытаний, мин / Research time, minutes			
		0	10	70	80
$T_{т}$, °C Body temperature, °C	1	36.22 ± 0.38	36.96 ± 0.14*	37.87 ± 0.21*	37.89 ± 0.22*
	2	36.41 ± 0.28	37.09 ± 0.26*	37.52 ± 0.29*	37.48 ± 0.27*
$\Delta Q_{тс}$, кДж/кг Heat storage rate change, kJ/kg	1	—	3.48 ± 0.91	7.70 ± 0.52*	7.82 ± 0.71*
	2	—	3.85 ± 0.86	6.20 ± 0.78*	6.21 ± 0.82*
$T_{свк}$, °C Average skin temperature, °C	1	33.76 ± 0.99	35.17 ± 0.82*	37.12 ± 0.46*	37.22 ± 0.33*
	2	32.79 ± 1.21	35.25 ± 0.63*	36.38 ± 0.35*	36.54 ± 0.27*
ЧСС, уд. в 1 мин Heart rate, beats/min	1	76 ± 11	90 ± 16*	121 ± 19*	104 ± 16*
	2	79 ± 12	90 ± 13*	97 ± 12*	88 ± 10*
Δ ЧСС, уд. в 1 мин HR increase, beats/min	1	—	14 ± 7	45 ± 16*	28 ± 14
	2	—	12 ± 5	19 ± 12*	9 ± 11*
$T_{п/о}$, °C Clothing temperature, °C	1	31.06 ± 2.26	35.03 ± 1.15*	37.51 ± 0.64*	36.78 ± 0.85*
	2	32.01 ± 2.25	35.51 ± 0.93*	37.04 ± 1.12*	36.35 ± 0.90*
$RH_{п/о}$, % Clothing humidity, %	1	56.72 ± 16.19	63.98 ± 19.81*	88.99 ± 1.97*	90.37 ± 1.66*
	2	50.56 ± 17.61	65.34 ± 15.94*	91.78 ± 4.25*	92.84 ± 3.30*

Примечание. Здесь и в табл. 2: комплект одежды: № 1 – экранирующий; № 2 – контрольный (без СИЗ); * – статистически значимые изменения по отношению к значениям, зарегистрированным в подготовительном периоде (фоновые значения) при $p < 0,05$.

Note: Here and in Table 2: set of clothes: No. 1 – screening; No. 2 – control (without PPE); * – statistically significant differences with indices registered in preparation period (baseline values), when $p < 0.05$.

3. Рабочий – доброволец выполнял общую физическую работу в течение 1 ч в условиях нагревающей среды.

4. Восстановительный – отдых в состоянии относительного покоя в положении сидя в тех же микроклиматических условиях в течение 15 мин.

В соответствии с МУК 4.3.1895-04¹ и ГОСТ Р ИСО 9886–2008² с использованием беспроводных датчиков «Thermochron iButton™» («Maxim Integrated Products, Inc», США) проводилась регистрация значений температуры ($T_{к}$, °C) и влажности ($RH_{к}$, %) кожи по пяти точкам (лоб, грудь, кисть, бедро и голень), а также значений температуры ($T_{п/о}$, °C) и влажности ($RH_{п/о}$, %) пододежного пространства. Измерения температуры тела ($T_{т}$, °C) проводили цифровым медицинским термометром Thermoval Standard («PAUL HARTMANN», Германия). Общие теплоощущения ($T_{о}$, балл) доброволец оценивал в соответствии со шкалой¹, локальные влагоощущения ($V_{о}$, балл) на пяти участках тела определялись по 4-балльной системе (1 – «кожа сухая»; 2 – «кожа слегка влажная»; 3 – «кожа влажная»; 4 – «ощутимое потоотделение»). Регистрация ЧСС (уд./мин) проводилась с применением «ПОЛИ-СПЕКТР-СМ» (ООО «Нейрософт», г. Иваново). Значения энергозатрат (M , Вт/м²), потребления кислорода (VO_2 , л/мин) и минутного объёма дыхания (МОД, л/мин) регистрировались при использовании метода непрямой калориметрии портативным эргоспирометрическим комплексом «Metamax 3В» (Cortex, Германия). Уровень M рассчитывался с использованием методик, представленных в ГОСТ Р ИСО 8996–2008³.

¹ МУК 4.3.1895–04 Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России; 2004.

² ГОСТ Р ИСО 9886–2008. Эргономика термальной среды. Оценка температурной нагрузки на основе физиологических измерений. М.: Стандартинформ; 2009.

³ ГОСТ Р ИСО 8996–2008 Эргономика термальной среды. Определение скорости обмена веществ. М.: Стандартинформ; 2009.

До начала и по окончании исследования фиксировались значения массы тела (кг) добровольцев весами «Seca 703» («Seca GMBH&Co», Германия) для анализа влагообмена.

Расчёт значений средневзвешенной температуры кожи человека ($T_{свк}$, °C), средней температуры тела ($T_{ст}$, °C), прироста ЧСС (Δ ЧСС, уд./мин), теплосодержания ($Q_{тс}$, кДж/кг) и изменения теплосодержания (теплонакопление) ($\Delta Q_{тс}$, кДж/кг), а также общих влагопотерь (ΔP , г/ч) проводился на основании зарегистрированных значений показателей функционального состояния организма человека в соответствии с Методическими указаниями¹.

Статистическая обработка результатов осуществлялась с применением пакета прикладных программ Statistica 14.0 (Statsoft, США). Нормальность распределения значений была проверена с использованием критериев Колмогорова – Смирнова и Шапиро – Уилка, а также графическим способом. Дальнейший анализ проводился с помощью непараметрического критерия Уилкоксона или параметрического непарного критерия Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Динамику балльных значений тепло- и влагоощущений анализировали с помощью непараметрического критерия Фридмана для множественных сравнений связанных выборок с дальнейшим попарным сравнением групп по критерию Даннета. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

В табл. 1, 2 приведены наиболее значимые усреднённые по периодам исследования показатели теплового и функционального состояния организма человека, использующего экранирующий комплект (комплект № 1) и контрольный комплект одежды (без СИЗ – комплект № 2), зарегистрированные до начала проведения исследований (исходные значения показателей в подготовительном периоде), в конце периода адаптации, рабочего периода и на 10-й минуте восстановительного периода.

Таблица 2 / Table 2

Субъективные показатели теплового состояния человека при использовании различных комплектов одежды, $Me [Q_1; Q_3]$
 Thermal state perception indices when using different types of clothing, $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель Index	№ комплекта No. of clothing set	Период исследований / Research period			
		подготовительный Preparation	адаптационный Adaptation	рабочий Working	восстановительный Remedial
		Время от начала испытаний, мин / Research time, minutes			
		0	10	70	80
Т _о , балл Thermal perception, point	1	4 [4; 4]	6 [4; 6]*	7 [7; 7]*	7 [7; 7]*
	2	4 [4; 4]	5 [4; 5]*	7 [7; 7]*	7 [7; 7]*
В _о , балл Moisture perception, point	1	1 [1; 1]	1.07 [1; 1.88]	4 [4; 4]*	4 [4; 4]*
	2	1 [1; 1]	1 [1; 1.57]*	3.37 [3.12; 3.57]*	3.57 [3.38; 3.75]*

Результаты исследований показали, что наименее выраженные различия в значениях $T_{\text{вк}}$ при использовании обоих комплектов наблюдались в течение всего периода адаптации и первых 15 мин физической нагрузки, после чего несколько больший рост этого показателя имел место при использовании экранирующего комплекта (см. табл. 1). Номинальные значения $T_{\text{вк}}$ к концу рабочего периода составляли $37,12 \pm 0,46$ и $36,38 \pm 0,35$ °C при использовании комплектов № 1 и № 2 соответственно.

На рис. 1 представлена динамика усреднённых значений средней температуры тела добровольцев, одетых в исследуемые комплекты СИЗ за весь период проведения исследований.

Динамика средней температуры тела (см. рис. 1) показывает на существенные различия в её величинах с 30-й минуты рабочего периода при использовании экранирующего и контрольного комплектов, что обусловлено более значительным ростом глубокой температуры тела, прирост которой к концу рабочего периода при использовании комплектов № 1 и № 2 составлял соответственно $1,64 \pm 0,3$ и $1,11 \pm 0,28$ °C по отношению к значениям, полученным в подготовительном периоде (см. табл. 1). При этом наиболее выраженный прирост $T_{\text{ст}}$ при использовании комплекта № 1 имел место с 40-й по 60-ю минуту рабочего периода. Скорость увеличения $T_{\text{ст}}$ за этот отрезок времени составила $0,02$ °C/мин. Значение этого показателя при использовании контрольного комплекта составило менее $0,01$ °C/мин, что свидетельствует о его незначительном изменении (относительной стабилизации).

Усреднённые значения $\Delta Q_{\text{тс}}$ как интегрального показателя теплового состояния (см. табл. 1), к концу рабочего периода при использовании комплекта № 1 ($7,7 \pm 0,52$ кДж/кг) были выше, чем при эксплуатации комплекта № 2 ($6,2 \pm 0,78$ кДж/кг). Динамика значений теплонакопления при применении экранирующего комплекта указывает на постоянный рост значений этого показателя (без периода стабилизации), который продолжался и в первые минуты восстановительного периода, что связано с ростом глубокой температуры тела, продолжающимся и после окончания физической нагрузки.

Субъективная оценка теплового состояния добровольцев (см. табл. 2), оцениваемая по баллу общих теплоощущений, не выявила различий при применении обоих комплектов: во всех случаях добровольцы оценивали свои теплоощущения во время рабочего периода баллом 7 («жарко»). Незначительно также отличались между собой баллы теплоощущений в периоды адаптации и восстановления.

Представленные в табл. 1 данные свидетельствуют о различиях как в номинальных значениях ЧСС при использовании исследуемых комплектов, так и различной скорости прироста этого показателя в период физической нагрузки и в восстановительном периоде. Максимальное значение ЧСС на конец рабочего периода составляло 121 и 97 уд./мин при использовании экранирующего и контрольного комплектов соответственно. В период восстановления (прекращение

физической нагрузки) наблюдалось небольшое снижение ЧСС в первые минуты с последующим ростом показателя, поскольку продолжалось воздействие на человека температурного фактора.

Увеличение ЧСС (ДЧСС) является одним из критериев тепловых показателей теплового состояния организма человека. Данные, представленные в табл. 1, показывают, что в конце периода адаптации значение ДЧСС за счёт термического воздействия среды составляло 14 ± 7 уд./мин при использовании экранирующего комплекта, а при применении контрольного — 12 ± 5 уд./мин. К окончанию рабочего периода различия в ДЧСС при использовании экранирующего и контрольного комплектов были более значительными и составляли 45 ± 16 и 19 ± 12 уд./мин соответственно, что свидетельствует о большем напряжении механизмов терморегуляции у человека, одетого в экранирующий комплект. При анализе величин ДЧСС также были выявлены индивидуальные различия, связанные как с полом, конституцией, так и степенью физической подготовки добровольцев.

На рис. 2 представлена динамика усреднённых значений уровня энерготрат добровольцев.

Динамика уровня энерготрат добровольцев показала, что при использовании экранирующего и контрольного комплектов исходные значения M различались между собой незначительно. К концу периода адаптации наблюдалось небольшое увеличение уровня энерготрат при использовании комплекта № 1, а его значение при использовании

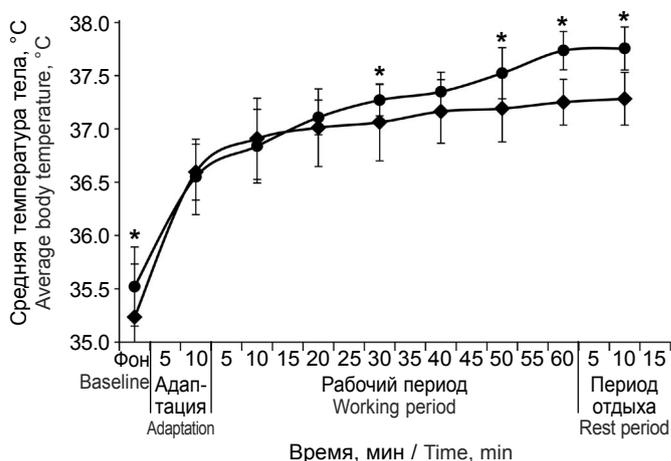


Рис. 1. Динамика средней температуры тела добровольцев, одетых в комплекты № 1 (●) и № 2 (◆), за весь период исследования, $M \pm \sigma$; * – статистически значимые изменения по отношению к контрольному комплекту № 2 при $p < 0,05$.

Fig. 1. Average body temperature dynamics in volunteers wearing clothing sets No. 1 (●) and No. 2 (◆) during research periods, $M \pm \sigma$; * – statistically significant differences with clothing set No. 2, when $p < 0,05$.

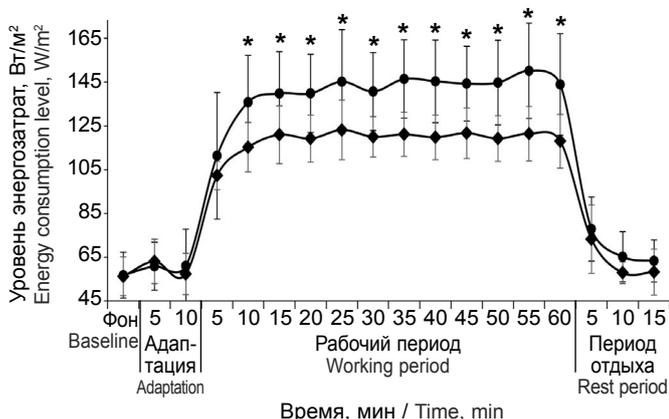


Рис. 2. Динамика уровня энерготрат добровольцев, одетых в комплекты № 1 (●) и № 2 (◆), за весь период исследования, $M \pm \sigma$; * – статистически значимые изменения по отношению к контрольному комплекту при $p < 0,05$.

Fig. 2. Metabolic rate trend in volunteers wearing clothing sets No. 1 (●) and No. 2 (◆) during research periods, $M \pm \sigma$; * – statistically significant differences with clothing set No. 2, $p < 0.05$.

комплекта № 2 практически не менялось по отношению к исходному уровню. Средние значения уровня энерготрат за рабочий период при использовании комплектов № 1 и № 2 составляли соответственно $143,9 \pm 23,2$ и $119,2 \pm 13,8$ Вт/м². Достоверные различия в значениях метаболического уровня в период выполнения физической нагрузки добровольцами при применении экранирующего и контрольного комплектов подтверждаются также и значениями показателей газообмена, которые в различной степени увеличивались в период нагрузки. Так, среднее значение VO_2 к концу рабочего периода при использовании комплекта № 1 ($0,79 \pm 0,2$ л/мин) было на 27% больше, чем значение этого показателя при эксплуатации комплекта № 2 ($0,62 \pm 0,12$ л/мин). Усред-

нённые значения МОД к концу рабочего периода при эксплуатации комплектов № 1 и № 2 составляли $23,96 \pm 4,18$ и $18,96 \pm 2,95$ л/мин соответственно.

В период восстановления различия в значениях уровня энерготрат и параметрах газообмена при использовании обоих комплектов сглаживались и выходили на уровень номинальных значений периода адаптации.

Средние медианные значения показателей влагообмена добровольцев при использовании различных комплектов одежды представлены в табл. 3.

Представленные в табл. 3 данные указывают на достоверные различия в медианных значениях влагопотери при использовании комплектов № 1 и № 2: наибольшие значения имели место применительно к комплекту СИЗ от ЭП ПЧ (№ 1). На это также указывает значительное накопление влаги (349,3 г) в предметах одежды и низкое значение эффективности испарения влаги (52,6%) при его использовании по сравнению с аналогичными показателями применительно к комплекту № 2 (52,3 г и 86% соответственно).

Полученные данные субъективной оценки степени увлажнения кожи различных участков поверхности тела показали, что средневзвешенный балл V_0 , равный 3 (кожа влажная), регистрировался при использовании комплекта № 1 на 15-й минуте рабочего периода, комплекта № 2 – на 30-й минуте, что свидетельствует о том, что время наступления активной фазы потоотделения было самым коротким при использовании комплекта СИЗ от ЭП ПЧ. Различия в значениях средневзвешенного балла V_0 на конец рабочего периода были более выраженными и составляли при применении комплектов № 1 и № 2 4 и 3,37 балла соответственно (см. табл. 2). В восстановительном периоде средние значения V_0 при применении обоих комплектов не только не уменьшались, а наоборот, увеличивались по сравнению с показателями рабочего периода, что свидетельствует о накоплении влаги в пододёжном пространстве и в элементах комплектов одежды.

Ещё одним показателем, характеризующим влагообмен человека с окружающей средой, является температура воздуха и его относительная влажность в пододёжном пространстве, значения которых на конец рабочего периода

Таблица 3 / Table 3

Показатели влагообмена человека при использовании экранирующего и контрольного комплектов в нагревающей среде, $M \pm \sigma$, $Me [Q_1; Q_3]$

Indicators of human moisture exchange when using shielding and control clothing sets in a hot environment, $M \pm \sigma$, $Me [Q_1; Q_3]$

№ комплекта No. of clothing set	Эффективность испарения влаги, % Moisture evaporation efficiency, %	Общие влагопотери, г Total moisture losses, g	Количество испарившейся влаги, г Amount of evaporated moisture, g	Количество влаги в одежде, г Amount of moisture in clothing, g
1	$52.6 \pm 6.3^*$	700 [550; 1050]	328.75 [290.63; 444.12]	349.3 [277.4; 417.0]*
2	86 ± 5.1	450 [337; 500]	389.75 [292.50; 410.63]	52.3 [48.4; 68.8]

Примечание. Q_1 (нижний квартиль) – 25%; Q_3 (верхний квартиль) – 75%; * – статистически значимые различия по сравнению с комплектом № 2 ($p < 0,05$).

Note: Q_1 (lower quartile) – 25%; Q_3 (third quartile) – 75%; * – statistically significant changes in compare with clothing type No. 2 ($p < 0.05$).

Таблица 4 / Table 4

Усреднённые значения показателей функционального состояния человека в конце рабочего периода при использовании экранирующего и контрольного комплектов, $M \pm \sigma$

Averaged values of the functional state indicators at the end of the work period when wearing clothing sets No. 1 and No. 2, $M \pm \sigma$

Показатель Indice	№ комплекта / No. of clothing set		Разность в величинах Difference in values
	1	2	
$\Delta T_r, ^\circ C$ / Body temperature change, $^\circ C$	$1.64 \pm 0.30^*$	1.11 ± 0.28	0.53
$T_{сr}, ^\circ C$	$37.74 \pm 0.18^*$	37.25 ± 0.21	0.49
$\Delta Q^{TC}, \text{кДж/кг}$ / Heat storage rate change, kJ/kg	$7.70 \pm 0.52^*$	6.20 ± 0.78	1.50
$T_{н/о}, ^\circ C$ / Clothing temperature, $^\circ C$	$37.51 \pm 0.64^*$	37.04 ± 1.12	0.47
$M, \text{Вт/м}^2$ / Metabolic rate, W/m^2	$143.9 \pm 23.2^*$	119.2 ± 13.8	24.7

Примечание. * – статистически значимые различия по сравнению с комплектом № 2 ($p < 0,05$).

Note: * – statistically significant changes in comparison with clothing type No. 2 ($p < 0.05$).

при использовании комплектов № 1 и № 2 составляли соответственно $37,51 \pm 0,64$ °C и $88,99 \pm 1,97\%$ и $37,04 \pm 1,12$ °C и $91,78 \pm 4,25\%$. При использовании комплекта № 1 с 40-й минуты рабочего периода наблюдался рост значений влажности пододёжного пространства, свидетельствующий о существенном накоплении влаги в пододёжном пространстве как вследствие больших влагопотерь, так и большего сопротивления испарению влаги с поверхности кожи через трёхслойный пакет материалов одежды в области туловища (футболка, подкладка и основной материал куртки).

Оценка физиологической стоимости физической работы при применении экранирующего и контрольного комплектов одежды работы в нагревающей среде проводилась как по номинальным значениям показателей функционального состояния организма человека на конец рабочего периода, так и по степени их отклонений от значений, зарегистрированных в состоянии покоя в комфортных условиях (табл. 4).

По усреднённым показателям влагообмена различия между комплектами № 1 и № 2 по общим влагопотерям составляли 55,6%, по эффективности испарения влаги – 38,8%.

Обсуждение

При данных уровнях физической активности и термической нагрузки наиболее выраженные изменения показателей теплового и функционального состояния организма, проявляющиеся в большем накоплении тепла, влагопотерях, увеличении ЧСС и балле влагоощущений, наблюдались при использовании экранирующего комплекта по сравнению с контрольным. Значения этих показателей превышали величины критериальных показателей предельно допустимого теплового состояния для продолжительности не более 1 ч за рабочую смену при выполнении работ категории Пб. Значения теплонакопления ($\Delta Q_{\text{тс}} > 7$ кДж/кг) при использовании экранирующего комплекта к концу рабочего периода свидетельствуют о критическом риске перегревания [11]. Динамика изменений таких показателей теплового состояния, как $T_{\text{ст}}$, $\Delta Q_{\text{тс}}$, ЧСС, при использовании комплекта № 1 показала их выраженный рост с 40-й минуты рабочего периода, что свидетельствует о срыве стабилизации вследствие снижения компенсаторных возможностей организма, направленных на поддержание глубокой температуры тела. При использовании комплекта № 1 к 40-й минуте рабочего периода значение $T_{\text{ст}}$ достигало $37,35$ °C с последующим ростом до $37,74$ °C к концу рабочего периода (см. рис. 1), что согласуется с данными других исследователей, согласно которым верхним уровнем стабилизации $T_{\text{ст}}$ является температура $37,3$ °C, а дальнейший рост этого показателя может приводить к срыву стабилизации [12].

Сочетанное воздействие климатических параметров и уровня физической активности приводило к снижению градиента температуры между температурой кожи и температурой тела (см. табл. 1) и вследствие этого к снижению ра-

диационно-конвективных теплопотерь, преимущественной теплоотдаче испарением с поверхности кожи, увеличению глубокой температуры тела и уровня влагопотерь. Кроме того, наличие маски на лице для мониторинга уровня энергозатрат ограничивало теплоотдачу испарением влаги с верхних дыхательных путей.

Средний уровень энергозатрат за рабочий период при использовании комплектов № 1 и № 2, составлял $143,9 \pm 23,2$ и $119,2 \pm 13,8$ Вт/м² (категории работ Пб и Па соответственно). Различия в величинах энергозатрат при одинаковой внешней термической нагрузке среды во время рабочего периода может быть обусловлено характеристиками используемых комплектов одежды, а именно их конструкцией, массой, теплофизическими свойствами материалов, применяемых для их изготовления, степенью изоляции поверхности тела от внешней среды [13].

Результаты оценки физиологической стоимости свидетельствуют о том, что в заданных условиях применение экранирующего комплекта по сравнению с контрольным комплектом приводило к большему приросту глубокой температуры тела (на 47,7%), большим значениям средней температуры тела (на 1,3%), теплонакопления (на 24,2%), ЧСС (на 24,7%), уровня энергозатрат (на 20,7%) и влагопотерь (на 55,6%).

Заключение

Анализ результатов проведённых исследований теплового и функционального состояния организма человека в условиях моделирования производственной деятельности электротехнического персонала показал, что использование экранирующего комплекта увеличивает физиологическую стоимость работы, что может быть обусловлено его характеристиками, а именно конструкцией, массой, теплофизическими свойствами материалов, степенью изоляции поверхности тела от внешней среды.

Применение экранирующего комплекта СИЗ по сравнению с контрольным в заданных условиях приводило к росту энергетической стоимости работы, выражающейся в увеличении уровня энергозатрат, потребления кислорода и повышения категории работ с Па до Пб.

Полученные данные свидетельствуют о значительном ухудшении функционального состояния организма человека и критическом риске перегревания при использовании экранирующих СИЗ. Соответственно как общую гигиеническую оценку труда, так и установление класса условий труда при работах в нагревающей среде (температура воздуха 35 °C) следует проводить с учётом показателей функционального состояния организма работника при использовании СИЗ⁴.

⁴ Р. 2.2–2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. М.: Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора; 2005.

Литература

(п. п. 6, 13 см. References)

1. 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. *Медицина труда и промышленная экология*. 2023; 63(2): 109–115. [https://elibrary.ru/danf7be](https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-2-109-115)
2. Гусарова М.В., Коньшина Т.А. Оценка функционального состояния организма человека при работах в экранирующих комплектах на воздушных линиях электропередачи сверхвысокого напряжения в теплое время года. В кн.: *Материалы 4-го международного молодёжного форума «Профессия и здоровье»*. Светлогорск; 2022: 63–7. <https://doi.org/10.31089/978-5-6042929-6-9-2022-1-63-67>
3. Измеров Н.Ф., Афанасьева Р.Ф., Прокопенко Л.В., Бессонова Н.А., Бурмистрова О.В., Лосик Т.К. и др. Научно-методические основы совершенствования гигиенической оценки нагревающего микроклимата на рабочих местах с учетом использования различного вида спецодежды. В кн.: *Сборник трудов института «Актуальные проблемы медицины труда»*. М.; 2012: 47–88. <https://elibrary.ru/rxqanf>
4. Бурмистрова О.В., Перов С.Ю., Коньшина Т.А. Оценка средств индивидуальной защиты типа ЭП-4(0) по показателям теплового состояния человека. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(3): 229–33. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-229-233>
5. Афанасьева Р.Ф., Антонов А.Г., Лосик Т.К., Бессонова Н.А. Влияние средств индивидуальной защиты на тепловое состояние работающих в нагревающем микроклимате и его оценку. *Медицина труда и промышленная экология*. 2000; (2): 1–8.
6. Харитонов В.И. Тепловое состояние организма работающих при воздействии экстремальных уровней инфракрасного излучения и профилактика перегревания. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(3): 241–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-3-241-246>
7. Велясова О.А. *Руководство по физиологии труда: учебное пособие*. Самара; 2008.

Original article

9. Бухтияров И.В., Юшкова О.И., Ходжиев М., Капустина А.В., Форверц А.Ю. Физиологические критерии в совершенствовании классификации напряженности труда для задач оценки профессионального риска. *Анализ риска здоровью*. 2021; (1): 90–9. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.1.09> <https://elibrary.ru/grhkve>
10. Матюхин В.В., Маткевич Е.И., Пухов В.А., Иванов И.В., Чепур С.В. *Оценка функционального состояния организма военных специалистов. Научно-практическое руководство*. СПб.: СпецЛит; 2016.
11. Афанасьева Р.Ф., Константинов Е.И., Бессонова Н.А. *Тепловой стресс. Физиолого-гигиенические аспекты профилактики: монография*. М.: Книжник; 2012.
12. Римская Л.М. Прогнозирование температурного режима организма при физиолого-гигиенической оценке спецодежды. В кн.: *Медико-технические проблемы индивидуальной защиты человека. Выпуск 21*. М.; 1980: 34–40.

References

1. Perov S.Yu., Sazhina M.V., Kon'shina 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. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2023; 63(2): 109–15. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-2-109-115> <https://elibrary.ru/danfbe> (in Russian)
2. Gusarova M.V., Kon'shina T.A. Assessment of human body functional state under work in screening personal protective suit near extremely high voltage overhead transmission lines in warm season. In: *Proceedings of IV International Youth Forum «Occupation and Health» [Materialy 4-go mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma «Professiya i zdorov'ye»]*. Svetlogorsk; 2022: 63–7. <https://doi.org/10.31089/978-5-6042929-6-9-2022-1-63-67> <https://elibrary.ru/gqkmmk> (in Russian)
3. Izmerov N.F., Afanas'eva R.F., Prokopenko L.V., Bessonova N.A., Burmistrova O.V., Losik T.K., et al. Scientific and methodological bases of improvement of hygienic assessment of heating microclimate at workplaces taking into account the use of various types of overalls. In: *Proceedings of the Institute «Actual Problems of Occupational Medicine» [Sbornik trudov instituta «Aktual'nye problemy meditsiny truda»]*. Moscow; 2012: 47–88. <https://elibrary.ru/rxqanf> (in Russian)
4. Burmistrova O.V., Perov S.Yu., Kon'shina T.A. Comparative physiological and hygienic assessment of the personal protective equipment EP-4(0) in the various assembly according to human thermal state indices. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(3): 229–33. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-229-233> <https://elibrary.ru/rmijap> (in Russian)
5. Afanas'eva R.F., Antonov A.G., Losik T.K., Bessonova N.A. The influence of personal protective equipment on the thermal condition of workers in a heating microclimate and its assessment. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2000; (2): 1–8. (in Russian)
6. Morabito M., Messeri A., Crisci A., Bao J., Ma R., Orlandini S., et al. Heat-related productivity loss: benefits derived by working in the shade or work-time shifting. *Int. J. Product. Perform. Manag.* 2021; 70(3): 507–25. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-10-2019-0500>
7. Kharitonov V.I. Thermal state of the body of workers exposed to extreme levelsof infrared radiation and prevention overheating. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(3): 241–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-3-241-246> <https://elibrary.ru/nhxbra> (in Russian)
8. Vedyasova O.A. *Manual on Labor Physiology: Textbook [Rukovodstvo po fiziologii truda: uchebnoe posobie]*. Samara; 2008. (in Russian)
9. Bukhtiyarov I.V., Yushkova O.I., Khodzhev M., Kapustina A.V., Forverts A.Yu. Physiological criteria for improving labor intensity classification used in occupational risks assessment. *Analiz riska zdorov'yu*. 2021; (1): 90–9. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.1.09.eng>
10. Matyukhin V.V., Matkevich E.I., Pukhov V.A., Ivanov I.V., Chepur S.V. *Assessment of the Functional State of the Organism of Military Specialists. Scientific and Practical Guide [Otsenka funktsional'nogo sostoyaniya organizma voennykh spetsialistov. Nauchno-prakticheskoe rukovodstvo]*. St. Petersburg: SpetsLit; 2016. (in Russian)
11. Afanas'eva R.F., Konstantinov E.I., Bessonova N.A. *Heat Stress. Physiological and Hygienic Aspects of Prevention: Monograph [Teplovoy stress. Fiziologo-gigienicheskie aspekty profilaktiki: monografiya]*. Moscow: Knizhnik; 2012. (in Russian)
12. Rimskaya L.M. Forecasting the temperature regime of the body during the physiological and hygienic assessment of workwear. In: *Medical and Technical Problems of Individual Human Protection. Issue 2 [Mediko-tehnicheskie problemy individual'noy zashchity cheloveka. Vypusk 21]*. Moscow; 1980: 34–40. (in Russian)
13. BS 7963. Ergonomics of the thermal environment – Guide to the assessment of heat strain for workers wearing personal protective equipment. BSI; 2000.