

EDN: <https://elibrary.ru/aoaxto>
 DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-4-251-259>
 УДК 613.1, 613.4, 613.6, 331.433
 © Коллектив авторов, 2024

Шупорин Е.С., Лосик Т.К., Бурмистрова О.В., Конюхов А.В., Вага И.Н.

Физиолого-гигиеническая оценка многослойного комплекта средств индивидуальной защиты от пониженных температур, изготовленного с применением мембранных материалов

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

Введение. Перспективные средства индивидуальной защиты (СИЗ) от пониженных температур — это высокотехнологичный продукт, создающийся с использованием последних достижений науки, дизайнерских конструкций, эргономических, эстетических решений, определяющих его теплозащитные свойства. Применение мембранных материалов в СИЗ от пониженных температур позволяет сочетать в них: малую массу и высокие теплозащитные свойства, низкую воздухопроницаемость и достаточную паропроницаемость, необходимые для обеспечения тепло- и влагообмена человека с окружающей средой.

Цель исследований — определение теплозащитных свойств различных комплектов многослойной спецодежды и показателей тепло- и влагообмена добровольцев при моделировании профессиональной деятельности при пониженной температуре воздуха.

Материалы и методы. Исследования проводились в микроклиматической камере с участием 6 практически здоровых добровольцев мужчин. Определение теплозащитных свойств различных комплектов многослойной спецодежды осуществлялось в соответствии с ГОСТ Р 12.4.185-99 и МУК 4.3.1894-04. В качестве исследуемых образцов использовали три различные комплекта СИЗ для защиты от пониженных температур, ветра, воды, общих производственных загрязнений и механических воздействий, а также кратковременного воздействия открытого пламени. Оценка показателей тепло- и влагообмена различных комплектов СИЗ проводилась при моделировании рабочей деятельности с измерениями уровня относительной влажности в слоях комплектов и уровня накопленной влаги в каждом элементе СИЗ. **Результаты.** Определены значения теплоизоляции исследуемых комплектов и область их применения. Для оценки тепло- и влагообмена выбраны два образца СИЗ, изготовленных с применением мембранных тканей и хлопчатобумажных, имеющих близкие значения теплоизоляции. Анализ результатов исследований показателей влагообмена показал, несколько меньшую эффективность испарения влаги контрольного образца. Показатель относительной влажности воздуха пододёжного пространства и между слоями пакета материалов и одежды, показал свою информативную значимость для оценки эффективности переноса влаги от поверхности тела человека в окружающую среду.

Выводы. Результаты физиолого-гигиенической оценки комплекта многослойной одежды из мембранных материалов показали, что различные сочетания входящих в его состав предметов, позволяют создавать комплекты, обеспечивающие должную защиту работника в широком диапазоне температуры воздуха и скорости ветра. Применение мембранных материалов в сочетании с конструктивными элементами (вентиляционные отверстия) обеспечивает более эффективный перенос влаги с поверхности кожи во внешнюю среду, о чем свидетельствуют значения показателя относительной влажности воздуха пододёжного пространства и между слоями одежды.

Этика. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБНУ «НИИ МТ» (протокол заседания этического комитета ФГБНУ «НИИ МТ» № 6 от 20.07.22 г.).

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты; защита от холода; мембранные материалы; терморегуляция; влагообмен; теплоизоляция

Для цитирования: Шупорин Е.С., Лосик Т.К., Бурмистрова О.В., Конюхов А.В., Вага И.Н. Физиолого-гигиеническая оценка многослойного комплекта средств индивидуальной защиты от пониженных температур, изготовленного с применением мембранных материалов. *Мед. труда и пром. экол.* 2024; 64(4): 251–259. <https://elibrary.ru/aoaxto> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-4-251-259>

Для корреспонденции: Шупорин Евгений Сергеевич, e-mail: ppe-lab@iriioh.ru

Участие авторов:

Шупорин Е.С. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных;

Лосик Т.К. — написание текста, редактирование;

Бурмистрова О.В. — сбор и обработка данных, написание текста, редактирование;

Конюхов А.В. — сбор и обработка данных, написание текста, редактирование;

Вага И.Н. — сбор и обработка данных.

Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 03.04.2024 / Дата принятия к печати: 11.04.2024 / Дата публикации: 20.05.2024

Evgenii S. Shuporin, Tatyana K. Losik, Olga V. Burmistrova, Alexey V. Konyukhov, Ivan N. Vaga

Physiological and hygienic assessment of a multilayer set of personal protective equipment against low temperatures made using membrane materials

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

Introduction. Advanced personal protective equipment (PPE) against low temperatures is a high-tech product created using the latest achievements of science, design designs, ergonomic, aesthetic solutions that determine its thermal protection properties. The use of membrane materials in PPE from low temperatures allows them to combine low weight and high thermal protection properties, low air permeability and sufficient vapor permeability necessary to ensure heat and moisture exchange between humans and the environment.

The study aims to determine the thermal protection properties of various sets of multilayer workwear and indicators of heat and moisture exchange of volunteers when modeling professional activity at low air temperature.

Materials and methods. The authors have conducted a study in a microclimatic chamber with the participation of six practically healthy male volunteers. The researchers have determined the thermal protection properties of multilayer workwear of various configurations in accordance with GOST R 12.4.185-99 and MUK 4.3.1894-04. As test samples, they have used pipes of three different configurations to protect against low temperatures, wind, water, general industrial pollution and mechanical influences, as well as short-term exposure to open fire. The assessment of heat and moisture exchange indicators of various PPE configurations was carried out by specialists when modeling work activities with measurements of the relative humidity level in the layers of the kits and the level of accumulated moisture in each element of the PPE.

Results. The authors have determined the values of thermal insulation of the studied materials and the scope of their application. To assess heat and moisture exchange, two samples of PPE were selected, made using membrane and cotton fabrics with similar thermal insulation values. The analysis of the results of studies of moisture exchange indicators showed a slightly lower efficiency of moisture evaporation of the control sample. The indicator of the relative humidity of the air under the shelter space and between the layers of the package of materials and clothing has shown its informative significance for assessing the effectiveness of moisture transfer from the surface of the human body to the environment.

Conclusion. *The results of a physiological and hygienic assessment of a set of multilayer clothing made of membrane materials have shown that various combinations of its constituent elements make it possible to create kits that provide adequate protection for an employee in a wide range of air temperatures and wind speeds. The use of membrane materials in combination with structural elements (ventilation openings) provides a more efficient transfer of moisture from the skin surface to the external environment, as evidenced by the values of the relative humidity index of the air under the clothing space and between the layers of clothing.*

Ethics. The study was approved by the local Ethical committee of the Izmerov Research Institute of Occupational Health (Minutes of the meeting No. 6 dated 07/20/12).

Keywords: personal protective equipment; protection from cold; membrane materials; thermoregulation; moisture exchange; thermal insulation

For citation: Shuporin E.S., Losik T.K., Burmistrova O.V., Konyukhov A.V., Vaga I.N. Physiological and hygienic assessment of a multilayer set of personal protective equipment against low temperatures made using membrane materials. *Med. truda i prom. ekol.* 2024; 64(4): 251–259. <https://elibrary.ru/aoaxto> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-4-251-259> (in Russian)

For correspondence: Evgeny S. Shuporin, e-mail: ppe-lab@iriioh.ru

Contribution:

Shuporin E.S. — concept and design of research, data collection and processing;

Losik T.K. — writing, editing;

Burmistrova O.V. — data collection and processing, text writing, editing;

Konyukhov A.V. — data collection and processing, text writing, editing;

Vaga I.N. — data collection and processing.

All co-authors — are approving the final version of the article.

Funding. The study had no funding.

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

Received: 03.04.2024 / Accepted: 11.04.2024 / Published: 20.05.2024

Введение. Перспективные СИЗ от пониженных температур — это высокотехнологичный продукт, создающийся с использованием последних достижений науки, дизайнерских конструкций, эргономических, эстетических решений и модных тенденций, определяющих его теплозащитные свойства [1–3]. Исследуемый многослойный комплект СИЗ от пониженных температур, изготовленный с применением мембранных материалов, можно отнести к перспективным моделям по следующим основаниям: возможность создания спецодежды с регулируемой теплоизоляцией путём сочетания к комплексу съёмных утепляющих подкладок 1–2 и 3–4 классов защиты и одного или двух слоёв внутренней одежды; использование современных мембранных материалов [4], обладающих высокими защитными свойствами от химических, механических факторов производственных, ветра, влаги, осадков в сочетании с конструктивными элементами (вентиляционные отверстия) для вентиляции пододежного пространства; применение негорючего современного утеплителя с высокими теплозащитными свойствами и лёгких влагопроводных подкладочных материалов [5–7]. Применение мембранных материалов в СИЗ от пониженных температур позволяет сочетать в них: малую массу и высокие теплозащитные свойства; низкую воздухопроницаемость и достаточную паропроницаемость, необходимые для обеспечения тепло-влажностного обмена человека с окружающей средой [8–11]. Решения, применяемые в перспективных моделях, дают возможность работникам самим составлять комплект СИЗ в зависимости от климатических условий

и предпочтений, расширить температурный диапазон реальных условий эксплуатации СИЗ и/или увеличить продолжительность пребывания на холоде. От грамотного снабжения персонала необходимыми СИЗ зависит очень многое, в том числе здоровье работников [12, 13].

Цель исследования — определение теплозащитных свойств различных комплектов многослойной спецодежды и показателей тепло- и влагообмена добровольцев при моделировании профессиональной деятельности при пониженной температуре воздуха.

Материалы и методы. Исследовался многослойный комплект СИЗ для защиты от пониженных температур, воздуха и ветра, воды, общих производственных загрязнений и механических воздействий (истирания), кратковременного воздействия открытого пламени из термоогнестойких антиэлектростатических мембранных тканей с нефтемасловодоотталкивающей отделкой, состоящий из куртки и полукombineзона с подкладами, двух съёмных утепляющих подкладок 1–2 и 3–4 класса защиты, флисового костюма (куртка и брюки), трех видов нательного белья (фуфайка и кальсоны). В качестве исследуемых образцов (№ 1, № 2 и № 3) были использованы три различные комбинации перечисленных выше составляющих указанного комплекта.

Образец № 1 состоял из куртки и полукombineзона со съёмной утепляющей подкладкой 1, 2 класса защиты, нательного термобелья «Кермель»; образец № 2 состоял из куртки, полукombineзона и съёмной утепляющей подкладки 3–4 класса защиты, флисового костюма и нательного

полушерстяного белья «ПШ210»; образец № 3 состоял из куртки и полукombineзона со съёмной утепляющей подкладкой 1–2 класса защиты, флисового костюма и нательного полушерстяного белья «ПШ410».

Куртка и полукombineзон выполнены из ткани GAMMA WINTER с поверхностной плотностью 210 г/м³, состоящая на 89% из термоогнестойких синтетических волокон 1,7 dtex, на 9% из огнестойких синтетических волокон и на 2% из антистатических волокон с полиуретановой (ПУ) мембраной на внутреннем слое. Подкладка выполнена из ткани с нефтемасловодоотталкивающей отделкой — 50% мета-арамидные волокна и 50% огнестойкие искусственные волокна. В съёмных утепляющих подкладках 1–2 и 3–4 класса защиты использован утеплитель — Слай-текс™ Термопан. В куртке имеются вентиляционные отверстия, расположенные в области подмышечных впадин, в полукombineзоне — в области внутренней поверхности бёдер (в шаговых швах); имеются аналогичные вентиляционные отверстия, закрытые сетчатым материалом, расположены в съёмных утепляющих подкладках куртки и полукombineзона. В состав комплекта всех образцов входили: утеплённые головной убор, обувь и перчатки.

В качестве контроля (образец № 4) использовался стандартный комплект СИЗ от пониженных температур, механических воздействий (истирания) и общих производственных загрязнений в составе куртки, полукombineзона и жилета; нательного полушерстяного белья «ПШ210». Состав: ткань верха — 100% хлопок, антистатическая нить, огнезащитная и масловодоотталкивающая отделка, утеплитель — Холлофайбер ТЭК.

Исследования проводились в микроклиматической камере ФГБНУ «НИИ МТ» с участием 6 практически здоровых мужчин в возрасте 34,8±5,3 (от 27 до 43) лет, ростом 1,74±0,03 (от 1,69 до 1,78) см, массой тела 74,3±6,1 (от 66 до 80) кг, индексом массы тела 24,4±1,8. Всего было выполнено 30 исследований. На первом этапе проводилось определение теплозащитных свойств (теплоизоляции) представленных выше образцов с участием человека при температуре воздуха 2,5±1,6°C в соответствии с ГОСТ Р 12.4.185-99¹ и МУК 4.3.1894-04².

Изменение величины теплоизоляции (C, %) в условиях ветрового воздействия (v, м/с) и движений человека в процессе трудовой деятельности с учётом воздухопроницаемости (B, дм³/м²·с) материала верха (или пакета материалов) определяется в соответствии с МУК 4.3.1894-04, и по результатам полученных значений теплоизоляции образцов была определена область их применения (климатический пояс) путём сравнения с нормативными значениями показателя для разных климатических поясов.

На втором этапе проводились исследования тепло-влажностного обмена человека при моделировании профессиональной деятельности в условиях воздействия охлаждающей среды при использовании образца № 2 и контрольного образца № 4, поскольку они имели близкие значения теплоизоляции. Исследовалось тепловое и функциональное состояние организма человека, использующего образец № 2 и образец № 4 при выполнении физической работы, обуславливающей некоторый перегрев организма. С этой целью исследования проводились при более высокой температу-

ре воздуха (−9,5±0,5°C) эксплуатации изделий, чем это рекомендовано применительно к области их использования, которая, в свою очередь, была определена по результатам оценки теплоизоляции.

В соответствии с МУК 4.3.1895-04³ и ГОСТ Р ИСО 9886-2008⁴ с использованием беспроводных датчиков «Thermochron iButton™» («Maxim Integrated Products, Inc», США) проводилась регистрация значений температуры (T_к, °C) по 11 точкам, а также значений влажности пододеяжного пространства (RH_{п/о}, %) и между слоями комплекта СИЗ в области туловища. Общие теплоощущения (T_о, балл) доброволец оценивал в соответствии с шкалой 1, локальные влажноощущения (B_о, балл) на 11 участках тела определялись по 4-х балльной системе (1 — «кожа сухая», 2 — «кожа слегка влажная», 3 — «кожа влажная», 4 — «ощутимое потоотделение»). Регистрация частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин) проводилась с применением «ПОЛИ-СПЕКТР-СМ» (ООО «Нейро-софт», г. Иваново). До начала и по окончании исследования фиксировались значения массы тела (кг) добровольцев весами «Seca 703» («Seca GMBH & Co», Германия) и веса каждого отдельного элемента комплекта СИЗ для анализа структуры влагопотерь.

Расчёт значений средневзвешенной температуры кожи человека (T_{срк}, °C), средней температуры тела (T_{ст}, °C), частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин), тепло-содержания (Q_{тс}, кДж/кг) и изменения теплосодержания (теплонакопление) (ΔQ_{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. Влагопотери (г/ч) рассчитывались по изменению веса добровольца без СИЗ до и после исследования. Количество испарившейся влаги рассчитывалось, как разность между общими влагопотерями и количеством влаги, накопившейся во всех предметах исследуемого комплекта одежды. Эффективность испарения влаги определялась процентным отношением количества испарившейся влаги к общему количеству выделившейся влаги (влагопотерям).

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 Уилкинсона или параметрического непарного критерия Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при p<0,05.

Результаты. Результаты исследований по определению теплоизоляции образцов № 1–№ 4 представлены в **таблице 1** в виде усреднённых значений показателей и стандартного отклонения (M±σ).

В **таблице 1** указаны значения средневзвешенной температуры кожи T_к, зарегистрированные на 55-й минуте исследования, средневзвешенного теплового Q_т, усреднённые за период с 20-й по 60-ю минуту исследования на 11 участках поверхности тела, средние значения

¹ ГОСТ Р 12.4.185-99 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от пониженных температур. Методы определения теплоизоляции комплекта»

² МУК 4.3.1894-04 «Физиолого-гигиеническая оценка одежды для защиты работающих от холода»

³ МУК 4.3.1895-04 «Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегрева»

⁴ ГОСТ Р ИСО 9886-2008 «Эргономика термальной среды. Оценка температурной нагрузки на основе физиологических измерений»

Таблица 1 / Table 1
Результаты исследований по определению теплоизоляции различных комплектов СИЗ ($M \pm \sigma$)
Results of studies on the determination of thermal insulation of various sets of PPE ($M \pm \sigma$)

№ образца	Температура воздуха, °С	Температура кожи, °С	Тепловой поток, Вт/м ²	Теплоизоляция, °С·м ² /Вт
№1	3,5±0,3	33,3±0,5	52,74±1,99	0,567±0,005
№2	2,6±0,4	33,5±0,3	42,23±2,00	0,732±0,027
№3	1,2±0,7	33,0±0,2	51,19±3,05	0,623±0,045
№4	4,1±0,4	33,8±0,3	43,1±1,6	0,688±0,030

Таблица 2 / Table 2
Теплоизоляция образцов № 1–3 в условиях воздействия ветра с различной скоростью и движений человека в процессе трудовой деятельности (воздухопроницаемость материала верха равна 0 дм³/м²·с)
Thermal insulation of samples №1–3 under the influence of wind at different speeds and human movements during work (the air permeability of the upper material is 0 dm³/m²·s)

Показатель	Скорость ветра, м/с										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Изменение теплоизоляции (С, %)	0	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
Теплоизоляция, (°С·м ² /Вт)	Образец № 1										
	0,567	0,527	0,516	0,505	0,493	0,482	0,471	0,459	0,448	0,437	0,425
	Образец № 2										
	0,732	0,681	0,666	0,651	0,637	0,622	0,608	0,593	0,578	0,564	0,549
	Образец № 3										
	0,623	0,579	0,567	0,554	0,542	0,530	0,517	0,505	0,492	0,480	0,467

температуры воздуха за период исследований, величины теплоизоляции комплектов СИЗ.

Согласно данным, представленным в **таблице 1** теплоизоляция образцов № 1–№ 3 составляет 0,567 °С·м²/Вт (3,66 кло), 0,732 °С·м²/Вт (4,72 кло), 0,623 °С·м²/Вт (4,02 кло) соответственно в относительно спокойном воздухе. При воздухопроницаемости ткани верха, равной 0 дм³/м²·с, образец № 1 в исследуемой комплектации может быть рекомендован для эксплуатации в I–II и III климатических поясах (III и II климатические регионы, соответственно) (1 и 2 классы защиты); образец № 2 — в I–II, III, IV и «Особом» климатических поясах (III, II, IB и IA климатические регионы, соответственно) (1, 2, 3, 4 классы защиты); образец № 3 — в I–II и III климатических поясах (III и II климатические регионы, соответственно) (1 и 2 классы защиты), а также в «Особом» климатическом поясе при регламентации времени непрерывного пребывания на холоде не более 2,7 ч при выполнении физической работы категории Па–Пб (энерготраты 130 Вт/м²) в соответствии с МР 11-0/279-09⁵.

Среднее значение теплоизоляции контрольного образца № 4 составляла 0,688 °С·м²/Вт (4,44 кло) в относительно спокойном воздухе. При воздухопроницаемости пакета материалов с учётом ветрозащитной прокладки, равной 10 дм³/м²·с, образец № 4, может быть рекомендован для эксплуатации в I–II, III и «Особом» климатических поясах (III, II и IA климатические регионы, соответственно).

Расчётные данные по снижению теплоизоляции образцов № 1–3 в условиях ветрового воздействия приведены в **таблице 2**.

⁵ МР 11-0/279-09 «Методические рекомендации по расчету теплоизоляции комплекта индивидуальных средств защиты работающих от охлаждения и времени допустимого пребывания на холоде»

Данные, представленные в **таблице 2** указывают на минимальное снижение теплоизоляции образцов № 1–№ 3 при нулевой воздухопроницаемости ткани верха, что обуславливает максимально возможную защиту человека в условиях ветрового воздействия.

Исследования процесса переноса влаги через слои пакета материалов комплекта многослойной одежды с применением ПУ мембранных материалов и контрольного образца № 4, изготовленного преимущественно из хлопчатобумажных материалов, были проведены в условиях моделирования профессиональной деятельности при пониженной температуре воздуха и в условиях некоторого перегрева организма, способствующего повышенному уровню потоотделения. Усреднённый вес комплекта одежды, включающего образец № 2, составлял 9183±78 г, что на 18,5% больше веса комплекта, включающего образец № 4 (7750±77 г).

В **таблице 3** представлена динамика значений показателей теплового и функционального состояния организма добровольцев, выполняющих физическую работу в охлаждающей среде при использовании образцов № 2 и № 4. Приведённые в **таблице 3** данные показывают отсутствие значимых различий в величинах показателей терморегуляторных реакций. Однако, незначительные различия в номинальных величинах средневзвешенной температуры кожи, баллов тепло — и влагоощущений, ЧСС имели место. Небольшие различия наблюдались лишь в скорости изменений этих показателей.

В **таблице 4** представлена структура влагообмена добровольцев в исследованиях с использованием образцов № 2 и № 4.

Анализ структуры влагообмена добровольцев показал превышение средних значений общих влагопотерь при использовании образца № 2 по сравнению с образцом № 4,

Таблица 3 / Table 3

Динамика значений показателей теплового состояния добровольцев при использовании различных комплектов СИЗ ($M \pm \sigma$)
Dynamics of values of indicators of the thermal condition of volunteers when using various sets of PPE ($M \pm \sigma$)

Показатель	№ ком- плекта	Время, мин											
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Средневзвешен- ная температура ко- жи, °С	2	33,53±0,38	33,73±0,29	34,1±0,27	34,19±0,39	34,18±0,38	34,27±0,41	34,39±0,41	34,33±0,45	34,19±0,52	34,24±0,51	34,21±0,47	34,07±0,54
	4	33,71±0,26	33,74±0,41	34,01±0,52	34,13±0,72	34,06±0,79	34,08±0,71	34,31±0,67	34,42±0,73	34,27±0,68	34,13±0,69	34,19±0,64	34,18±0,61
T _{co} , балл	2	5,3±1,5	6,3±1,2	6,3±0,6	6,7±0,6	6,7±0,6	6,7±0,6	6,3±0,6	6,3±0,6	6,7±0,6	7,0±0,0	7,0±0,0	6,8±0,3
	4	5,3±0,6	6,0±0,0	6,0±0	6,0±0,0	6,3±0,6	6,7±0,6	6,7±0,6	7,0±0,0	7,0±0,0	7,0±0,0	7,0±0,0	7,0±0,0
B _{co} , балл	2	1,1±0,1	1,8±0,5	1,8±0,6	2,1±0,5	2,5±0,1	2,7±0,1	3,0±0,4	3,0±0,4	3,2±0,6	3,1±0,6	3,2±0,8	3,1±0,6
	4	1,5±0,4	1,7±0,6	1,9±0,6	2±0,6	2,1±0,4	2,7±0,5	3,0±0,5	3,0±0,4	2,9±0,4	2,9±0,3	3,1±0,3	3,0±0,3
ЧСС, уа. /мин	2	106±8	106±6	107±8	110±7	110±7	108±4	107±3	111±4	110±2	109±2	108±2	104±2
	4	105±4	109±6	110±11	107±6	109±6	108±6	107±9	108±7	109±8	109±8	107±8	109±7
Средняя влажность подошного про- странства, %	2	30,6±3,4	32,4±3,6	35,8±1,2	37,4±1,1	38,8±1,2	40,8±1,6	42,9±2,1	44,2±2,4	45,5±2,2	46,4±3,0	48,0±3,0	49,3±3,8
	4	30,6±0,9	34,6±1,8	39,3±2,1	42,3±2,7	43,3±3,0	44,8±4,2	47,4±3,1	48,5±3,1	49,5±3,8	51,5±5,6	54,3±5,4	55,1±6,2

что может быть обусловлено большей (на 18,5%) массой первого; практически одинаковое среднее значение количества влаги, накопленной во всех предметах обоих образцов, и небольшие отличия в количестве испарившейся влаги, что, в свою очередь, определило и различные значения показателя эффективности испарения влаги (40,0% и 35,9% для образцов № 2 и № 4 соответственно. Количество накопленной влаги в верхней одежде (куртка, полукомбинезон) при использовании комплекта № 2 (120,0±33,8 г) было меньше по сравнению с комплектом № 4 (141,0±28,2 г), а во внутренней одежде (нательное бельё + флисовый костюм образца № 2; нательное бельё + жилет образца № 4) наоборот больше: 93,0±26,9 г и 71,9±28,0 г, соответственно. Количество влаги в головных уборах, носках, обуви, перчатках было практически одинаковым при применении комплектов одежды обоих образцов.

Большее количество влаги, накопленной в нательном белье при использовании комплекта № 2, обуславливает и большее значение относительной влажности воздуха в пододежном пространстве в области туловища между поверхностью тела человека и нательным бельём (рис. 1).

Значимых отличий в величинах влажности воздуха во втором и третьем слоях образцов № 2 и № 4 в области туловища зарегистрировано не было.

На рисунке 2 представлена динамика изменения влажности воздуха в области туловища между различными слоями комплекта № 2. Данные свидетельствуют об отведении влаги от поверхности тела через внутренние слои одежды к внутренней стороне ткани верха куртки.

Анализ между исходным показателем влажности (на пятой минуте) и в динамике на протяжении исследования по слоям в области туловища демонстрирует наличие достоверных различий с 25 по 60 минуты во всех слоях, и отсутствие достоверных различий на протяжении всего исследования в слое 5.

Достоверность различий показателя влажности между различными слоями куртки наблюдалась с 35 по 60 минуты между слоями 1 и 2; с 15 по 60 минуты между слоями 1 и 3, а также слоями 1 и 5; и с 5 по 60 минуты между слоями 1 и 4. Отсутствие статистически значимых различий на начальных минутах исследования свидетельствуют о едином исходном состоянии по уровню влажности исследуемого защитного комплекта. Появление значимых различий в уровне влажности в разных слоях является результатом отведения образующейся влаги в ходе физической активности добровольцев во внешние слои защитной одежды с учётом разной влагопроводности слоёв одежды.

Обсуждение. Результаты исследований по определению теплозащитных свойств различных ансамблей (образцы № 1–№ 3) многослойного комплекта СИЗ, изготовленного с применением мембранных материалов, показали, что значения их теплоизоляции находились в пределах от 0,567 °C·м²/Вт (3,66 кло) до 0,732 °C·м²/Вт (4,72 кло) в относительно спокойном воздухе. Это позволяет рекомендовать их для эксплуатации во всех климатических поясах РФ; а также обеспечить должную защиту работников от пониженных температур и ветра в широком диапазоне их значений, и в т. ч., характерных для Арктики [2, 4, 14–17]. Учитывая многослойность несвязанных — независимых между собой, утеплителей комплекта мужского для защиты от холода, у человека появляется возможность выбора комплектации СИЗ различного состава в зависимости от погодных условий, интенсивности физических нагрузок с учётом особенностей его терморегуляторных

Таблица 4 / Table 4

Показатели влагообмена человека при использовании образцов № 2 и № 4 ($M \pm \sigma$)
Indicators of human moisture exchange when using samples No. 2 and No. 4 ($M \pm \sigma$)

№ образца	Влагопотери за час, г/ч	Количество влаги в предметах комплекта, г	Количество испарившейся влаги, г	Эффективность испарения влаги, %
2	400,0±50,0	243,1±69,7	156,8±24,1	40,0±10,9
4	383,3±86,6	245,2±64,0	138,2±47,4	35,9±5,8

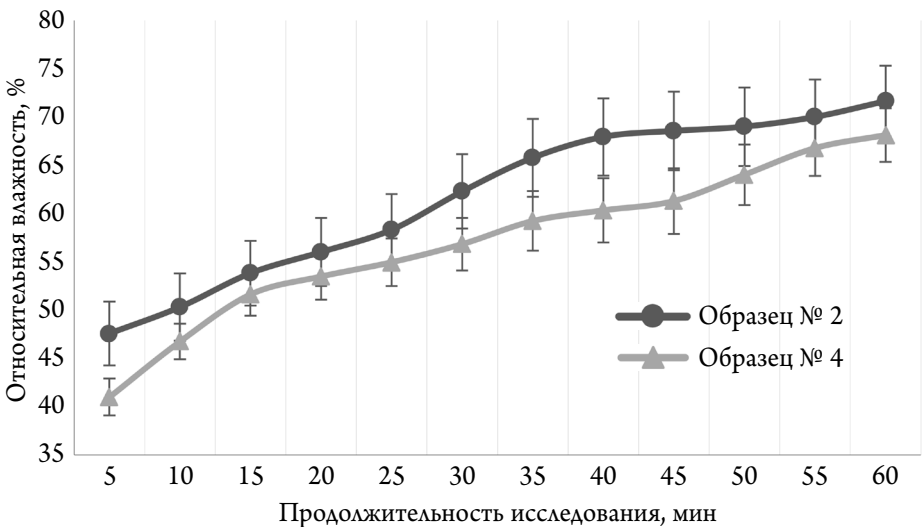


Рис. 1. Динамика значений влажности воздуха в пододёжном пространстве (между поверхностью тела в области туловища и нательным бельём) при использовании комплектов № 2 и № 4 ($M \pm m$)
Fig. 1. Dynamics of air humidity values in the underclothing space (between the body surface in the trunk area and underwear) when using kits No. 2 and No. 4 ($M \pm m$)

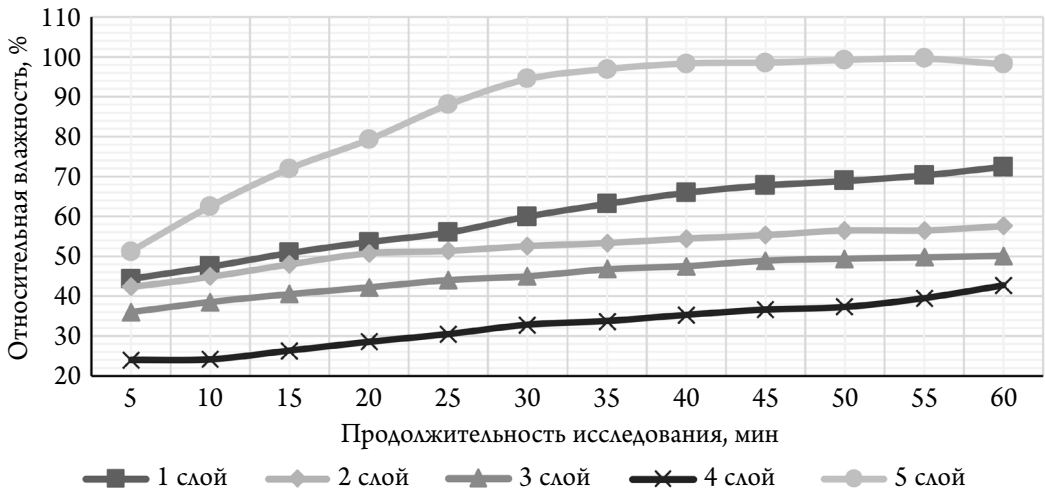


Рис. 2. Динамика изменения влажности воздуха в области туловища между различными слоями комплекта № 2
Примечание: 1 слой — между поверхностью тела в области туловища и нательной фуфайкой; 2 слой — между нательной фуфайкой и флисовой курткой; 3 слой — между флисовой курткой и подстёжкой куртки; 4 слой — между подстёжкой куртки и подкладом; 5 слой — между подкладом и тканью верха с внутренней стороны.
Fig. 2. Dynamics of changes in air humidity in the trunk area between different layers of kit No. 2
Note: 1st layer — between the body's surface in the trunk area and the sweatshirt; 2nd layer — between the sweatshirt and the fleece jacket; 3rd layer — between the fleece jacket and the inner lining of the jacket; 4th layer — between the inner lining and the outer fabric of the jacket; 5th layer — between the outer fabric and the inside fabric of the top.

реакций, обусловленных полом, возрастом, конституцией, адаптацией к холоду, то есть использовать для состава комплекта СИЗ персонифицированный подход.

Расчётные значения допустимой продолжительности непрерывного выполнения работы на холоде человека, одетого в исследуемые комплекты образцов № 1–№ 3,

могут служить основой для разработки режимов труда и отдыха работников в условиях различных сочетаний температуры воздуха и скорости ветра с учётом тяжести выполнения работ.

При использовании в качестве материала верха мембранной ткани с воздухопроницаемостью $0 \text{ дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$, степень снижения теплоизоляции при ветровом воздействии и двигательной активности значительно ниже, нежели чем при применении материалов с более высокими значениями воздухопроницаемости. Так, при выполнении работ в условиях ветра со скоростью 10 м/с теплоизоляция образцов № 1, № 2, № 3 будет снижаться на 25% (*табл. 2*), а образца № 4 с воздухопроницаемостью ткани верха с учётом ветрозащитной прокладки, равной $10 \text{ дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$, на 32%.

Для изучения процесса переноса влаги через слои пакета материалов комплекта многослойной одежды из мембранных материалов (образец № 2) и контрольного образца № 4, изготовленного преимущественно из смесовых тканей и с хлопчатобумажной подкладкой, были проведены исследования тепло-влагообмена человека при моделировании профессиональной деятельности работников при пониженной температуре воздуха в условиях некоторого перегрева организма, способствующего повышенному уровню потоотделения.

Результаты проведённых исследований с использованием образцов № 2 и № 4 (*табл. 1*) указывают на незначительные различия в номинальных величинах средневзвешенной температуры кожи, баллов тепло- и влагоощущений, частоты сердечных сокращений. Небольшие различия наблюдались лишь в скорости изменений этих показателей.

Анализ результатов исследований показателей влагообмена показал, несколько меньшую эффективность испарения влаги контрольного образца № 4 несмотря на то, что при его изготовлении использовались хлопчатобумажные воздухопроницаемые материалы и он имел меньшую массу. Возможно, это связано с низкими качествами ветрозащитной прокладки, теплофизические свойства которой (воздухо- и паропроницаемость) не соответствуют гигиеническим требованиям согласно МР 2.2.8.2127-06⁶.

Сравнительные результаты исследований динамики значений относительной влажности в пододежном пространстве и между слоями пакета материалов в области туловища образцов № 2 и № 4, показали большее значение относительной влажности воздуха в пододежном пространстве в области туловища (1 слой), что обусловлено большим количеством влаги, накопленной в белье образца № 2. Часть выделенного пота оставалась во всех внутренних предметах комплекта и подкладке куртки, что обусловлено интенсивным потоотделением человека во

время физической активности и несоответствием теплоизоляции образцов заданным микроклиматическим условиям, способствующим некоторому перегреванию организма добровольцев.

Высокие значения относительной влажности воздуха между внутренней поверхностью ткани верха, покрытой мембраной из полиуретана и подкладом куртки свидетельствуют о конденсации влаги, отведённой от поверхности тела на мембране, несмотря на открытые застёжки «молнии» вентиляционных отверстий: влажность воздуха к 30-й минуте наблюдений достигала своих предельных значений 100% (*рис. 2*). Этот факт указывает на затруднение в передаче влаги из 5-го слоя во внешнюю среду. Однако учитывая меньшее количество накопленной влаги в верхней одежде (куртка, полукombineзон) комплекта № 2 при более высоких общих влагопотерях добровольца, большее количество испарившейся влаги и эффективность её испарения (*табл. 4*), можно сказать о частичном выведении влаги во внешнюю среду, обусловленного паропроницаемостью ПУ мембраны в образце № 2 и вентиляции пододежного пространства через отверстия, расположенные в куртке и съёмной утепляющей подкладке.

Ограничения исследования. При изучении теплоизоляционных свойств и тепло- влагообмена комплектов СИЗ от пониженных температур принимали участие 6 практически здоровых добровольцев, что может являться нерепрезентативной выборкой, однако полученные в ходе исследования данные подвергаются статистической обработке и не имеют противоречащих значений внутри выборок. Оценка тепло- влагообмена проводилась и сравнивалась только между образцами № 2 и № 4.

Заключение. Результаты физиолого-гигиенической оценки комплекта многослойной одежды из мембранных материалов показали, что различные сочетания входящих в его состав предметов, позволяют создавать комплекты, обеспечивающие должную защиту работника в широком диапазоне температуры воздуха и скорости ветра; а также наличие достаточно эффективного отведения влаги от поверхности тела человека через внутренние слои одежды в окружающую среду. При этом у работника появляется возможность персонального подхода в выборе СИЗ. Для оценки влагообмена наряду с традиционными показателями влагообмена, использовался показатель относительной влажности воздуха пододежного пространства и между слоями пакета материалов и одежды, показавший свою информативную значимость для оценки эффективности переноса влаги от поверхности тела человека в окружающую среду.

Полученные результаты физиолого-гигиенической оценки комплекта многослойной одежды из мембранных материалов, проведённой в микроклиматической камере с участием добровольцев, могут быть апробированы при проведении исследований в производственных условиях с участием работников, для которых был разработан данный комплект СИЗ.

Список литературы

1. Лосик Т.К., Афанасьева Р.Ф., Иванов И.В. Физиолого-гигиеническое обоснование применения новых материалов в зимней полевой одежде для военнослужащих. В кн.: «Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы военной медицины, обитаемости и профессионального отбора». Санкт-Петербург, 17–18 ноября 2011 года. Санкт-Петербург: Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, 2011.
2. Филатова Е.В., Емельянова А.Д. Современные технологии и инновации в производстве спецодежды для экстремальных условий низких температур. В кн.: «Материалы VI Международной научно-практической конференции «Безопасность городской среды». Омск, 21–23 ноября 2018 года / Под общ. ред. Е.Ю. Тюменцевой. Омск: Омский государственный технический университет; 2019: 144–149.

3. Филатова Е.В., Жукова В.В. Использование теплозащитных свойств традиционных и инновационных материалов в проектировании верхней одежды. В кн.: «Материалы VII Международной научно-практической конференции «Безопасность городской среды». Омск, 20–22 ноября 2019 года. Минобрнауки России, ОмГТУ; Под общ. ред. Е.Ю. Тюменцевой. Омск: Омский государственный технический университет, 2020: 321–327.
4. Измеров Н.Ф., Афанасьева Р.Ф., Бурмистрова О.В. Физиолого-гигиенические принципы создания одежды для защиты от холода. *Мед. труда и пром. экол.* 2006; 8: 29–35.
5. Климова Н.А. и др. Разработка классификации современных утепляющих материалов на основе анализа ассортимента. *Дизайн и технологии.* 2019; 69(111): 65–72.
6. Park J. Functional Fibers, Composites and Textiles Utilizing Photothermal and Joule Heating. *Polymers (Basel).* 2020; 12(1): 189. <https://doi.org/10.3390/polym12010189>
7. Мезенцева Е.В. Инновационные методы создания термоизоляционных саморегулирующихся волоконистых систем в «умной одежде». *Физика волоконистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX).* 2018; 1–2: 78–82.
8. Российский рынок технического текстиля и нетканых материалов: наука и производство в современных экономических условиях. Сборник докладов. М.: БОС; 2016.
9. Хамматова В.В. Инновационные технологии для производства текстильных материалов, применяемых при производстве спецодежды. *Вестник Казанского технологического университета.* 2014; 17(16): 66–68.
10. Xu A. Zhang et al. Dynamic gating of infrared radiation in a textile. *Science.* 2019; 363(6427): 619–623. <https://doi.org/10.1126/science.aau1217>
11. Roh J.-S., Kim S. All-fabric intelligent temperature regulation system for smart clothing applications. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures.* 2016; 27(9): 1165–1175. <https://doi.org/10.1177/1045389X15585901>
12. Афанасьева Р.Ф., Бурмистрова О.В., Прокопенко Л.В. *Холодовой стресс: медико-биологические аспекты профилактики.* М.: Рейнфор; 2012
13. Лосик Т.К., Шупорин Е.С. Проблемы сохранения здоровья работников нефтегазового комплекса на Севере при вахтовой форме организации труда. *Мед. труда и пром. экол.* 2023; 63: 664–672. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-10-664-672>
14. Чашин В.П. и др. Предиктивная оценка индивидуальной восприимчивости организма человека к опасному воздействию холода. *Экология человека.* 2017; 5: 3–13.
15. Лосик Т.К., Константинов Е.И., Конюхов А.В. О необходимости определения теплоизоляции средств индивидуальной защиты от пониженных температур для работников нефтегазовой отрасли на основе физиолого-гигиенических исследований. *Газовая промышленность.* 2022; 8: 104–110.
16. Фаузер В.В. и др. Локальные рынки труда российской Арктики: классификация по видам деятельности. *Арктика: экология и экономика.* 2019; 2(34): 4–17. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2019-2-4-17>
17. Сюрин С.А., Ковшов А.А. Условия труда и риск профессиональной патологии на предприятиях Арктической зоны Российской Федерации. *Экология человека.* 2019; (10): 15–23. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-10-15-23>

References

1. Losik T.K., Afanaseva R.F., Ivanov I.V. Physiological and hygienic basis of application of new materials in the winter field clothing for soldiers. In: *Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference «Modern problems of military medicine, habilitation and professional selection».* St. Petersburg; 2011. P. 193 (in Russian).
2. Filatova E.V., Emelyanova A.D. Modern technologies and innovations in the production of workwear for extreme low temperature conditions. In: *Materials of the VI International Scientific and Practical Conference «Safety of the urban environment».* Omsk; 2019: 144–149 (in Russian).
3. Filatova E.V., Jukova V.V. The use of heat-protective properties of traditional and innovative materials in the design of outerwear. In: *Materials of the VII International Scientific and Practical Conference «Safety of the urban environment».* Omsk; 2020: 321–327 (in Russian).
4. Izmerov N.F., Afanasyeva R.F., Burmistrova O.V. Physiologic and hygienic principles underlying creation of clothes protecting against cold. *Med. truda i prom. ekol.* 2006; 8: 29–35 (in Russian).
5. Klimova N.A., et al. Analysis of the assortment of fusing materials and development of their classification. *Dizajn i tekhnologii.* 2019; 69(111): 65–72 (in Russian).
6. Park J. Functional Fibers, Composites and Textiles Utilizing Photothermal and Joule Heating. *Polymers (Basel).* 2020; 12(1): 189. <https://doi.org/10.3390/polym12010189>
7. Mezentseva E.V. Innovative methods of creating a thermal insulation self-regulating fibrous systems in "smart clothes". *Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX).* 2018; 1–2: 78–82 (in Russian).
8. *The Russian market for technical textiles and nonwovens: science and production in modern economic conditions. Collection of reports.* Moscow: "BOS"; 2016 (in Russian).
9. Khammatova V.V. Innovative technologies for the production of textile materials used in the production of workwear. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta.* 2014; 17(16): 66–68 (in Russian).
10. Xu A. Zhang et al. Dynamic gating of infrared radiation in a textile. *Science.* 2019; 363(6427): 619–623. <https://doi.org/10.1126/science.aau1217>
11. Roh J.-S., Kim S. All-fabric intelligent temperature regulation system for smart clothing applications. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures.* 2016; 27(9): 1165–1175. <https://doi.org/10.1177/1045389X15585901>
12. Afanasyeva R.F., Burmistrova O.V., Prokopenko L.V. *Cold stress: medical and biological aspects of prevention: Monograph.* Moscow: Reinfor; 2012 (in Russian).
13. Losik T.K., Shuporin E.S. Problems of preserving the health of workers of the oil and gas complex in the North with the shift form of labor organization. *Med. truda i prom. ekol.* 2023; 63(10): 664–672 (in Russian) <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-10-664-672>
14. Chashchin V.P., et al. Predictive assessment of individual human susceptibility to damaging cold exposure. *Ekologiya cheloveka.* 2017; 24(5): 3–13. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2017-5-3-13> (in Russian).
15. Losik T.K., Konstantinov E.I., Konykhov A.V. On the necessity of the thermal insulation determining of the personal protective equipment against the low temperatures for petroleum industry workers on the basis of the physiological and hygienic researches. *Gazovaya promyshlennost'.* 2022; 836(8): 104–110 (in Russian).
16. Fauzer V.V., et al. Local Labor Markets of the Russian Arctic: Classification by Activity Type. *Arktika: ehkologiya i ehkonomika.* 2019; 2(34): 4–17. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2019-2-4-17> (in Russian).
17. Syurin S.A., Kovshov A.A. Labor Conditions and Risk of Occupational Pathology at the Enterprises of the Arctic Zone of the Russian Federation. *Ekologiya cheloveka.* 2019(10): 15–23. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-10-15-23> (in Russian).

Информация об авторах:

- Шупорин Евгений Сергеевич* и.о. заведующего лабораторией средств индивидуальной защиты и промышленных экзоскелетов ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова».
E-mail: ppe-lab@irioh.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7590-431X>
- Лосик Татьяна Константиновна* ведущий научный сотрудник лаборатории средств индивидуальной защиты и промышленных экзоскелетов ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова».
E-mail: ppe-lab@irioh.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7372-0963>
- Бурмистрова Ольга Владимировна* ведущий научный сотрудник лаборатории средств индивидуальной защиты и промышленных экзоскелетов ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова».
E-mail: ppe-lab@irioh.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8233-4017>
- Конюхов Алексей Владимирович* врач эпидемиолог клиники профессиональных и производственно-обусловленных заболеваний, младший научный сотрудник лаборатории средств индивидуальной защиты и промышленных экзоскелетов ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова».
E-mail: ppe-lab@irioh.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0281-6903>
- Вага Иван Николаевич* инженер лаборатории средств индивидуальной защиты и промышленных экзоскелетов ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова»
E-mail: ppe-lab@irioh.ru

Information about the authors:

- Evgenii S. Shuporin* Acting Head of the Laboratory and Researcher at the Laboratory for Personal Protective Equipment and Industrial Exoskeletons, Izmerov Research Institute of Occupational Health.
E-mail: ppe-lab@irioh.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7590-431X>
- Tatyana K. Losik* Leading Researcher of the Laboratory and researcher at the Laboratory for Personal Protective Equipment and Industrial Exoskeletons, Izmerov Research Institute of Occupational Health.
E-mail: ppe-lab@irioh.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7372-0963>
- Olga V. Burmistrova* Leading Researcher of the Laboratory and researcher at the Laboratory for Personal Protective Equipment and Industrial Exoskeletons, Izmerov Research Institute of Occupational Health.
E-mail: ppe-lab@irioh.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8233-4017>
- Alexey V. Konyukhov* Doctor Epidemiologist Clinic for Occupational and Work-Related Diseases, Junior Researcher at the Laboratory for Personal Protective Equipment and Industrial Exoskeletons, Izmerov Research Institute of Occupational Health.
E-mail: ppe-lab@irioh.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0281-6903>
- Ivan N. Vaga* Engineer at the Laboratory for Personal Protective Equipment and Industrial Exoskeletons, «Izmerov Research Institute of Occupational Health».
E-mail: ppe-lab@irioh.ru