

ПРОФИЛАКТИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ВОДОЛАЗНЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОДВОДНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

¹О. Н. Андрух^{✉*}, ¹В. А. Грачев[✉], ²А. В. Салий[✉], ²В. П. Ситников[✉]

¹Институт инженерной физики, г. Серпухов, Россия

²Отечественные Технологии, промышленный Дизайн и Инжиниринг, г. Серпухов, Россия

ЦЕЛЬ: оценка влияния применения средств активной тепловой защиты водолазных специалистов на основе электрообогрева на время обеспечения теплового комфорта в рамках комплекса мер по профилактике профессиональных заболеваний водолазных специалистов при выполнении подводных работ в условиях низких температур окружающей среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: В ходе испытаний оценивалось время пребывания в воде водолаза с сохранением теплового комфорта без активного обогрева и при использовании системы электрообогрева. Тепловой комфорт водолаза оценивался по субъективным ощущениям. Испытания проходили с использованием водолазного снаряжения СЛВИ-71, ССП-М, СН-21, ЖВС ХС-1200, СВГ-200, СВС «Амфора», СВУ-5/1, СВУ-3 с АВМ-12к, на глубинах от 2 до 120 м, при температуре воды от +1° С до +16° С.

РЕЗУЛЬТАТЫ: В ходе испытаний установлена совместимость разработанной системы электрообогрева водолаза с комплектующими элементами специального водолазного снаряжения вышеперечисленных видов; показана необходимость применения элементов обогрева кистей рук и стоп ног в составе систем электрообогрева; продемонстрировано положительное влияние системы электрообогрева водолаза на время сохранения теплового комфорта при выполнении водолазных работ, в том числе при разном уровне мощности обогрева.

ОБСУЖДЕНИЕ: Переохлаждение водолаза предрасполагает к кислородному голоданию, способствует возникновению декомпрессионной болезни, отравлению кислородом и углекислым газом. Среднее время обеспечения теплового комфорта водолазов с использованием КЭВ при температурах воды от +1° С до +4° С превышает время пребывания в воде водолаза без использования активного обогрева в 3,5–4,6 раза. Использование элементов обогрева кистей рук и стоп ног в составе костюма электрообогрева обеспечивает снижение проявления первичных признаков переохлаждения в конечностях, способствуя поддержанию оптимальных теплоощущений водолаза в течение длительного времени. Применение системы электрообогрева значительно снижает риск возникновения переохлаждения при выполнении водолазных работ при низких температурах окружающей среды и способствует профилактике профессиональных заболеваний, напрямую или опосредованно связанных с воздействием на организм низких температур окружающей среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Применение системы электрообогрева водолаза значительно снижает риск возникновения переохлаждения при выполнении водолазных работ при низких температурах окружающей среды, позволяет увеличить допустимое время пребывания в воде в гидрокомбине зоне в 3,5–4,6 раза и способствует профилактике профессиональных заболеваний, напрямую или опосредованно связанных с воздействием на организм низких температур окружающей среды.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, переохлаждение, водолаз, электрообогрев, тепловой комфорт, время пребывания в воде

*Для корреспонденции: Андрух Олег Николаевич, e-mail: aon@iifmail.ru

*For correspondence: Oleg N. Andruk, e-mail: aon@iifmail.ru

Для цитирования: Андрух О.Н., Грачев В.А., Салий А.В., Ситников В.П. Профилактика профессиональных заболеваний водолазных специалистов при выполнении подводных работ в условиях низких температур окружающей среды // *Морская медицина*. 2022. Т. 8, № 3. С. 77–87, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2022-8-3-77-87>.

For citation: Andrukh O.N., Grachev V.A., Saliy A.V., Sitnikov V.P. Prevention of occupational diseases of diving specialists when performing underwater work in conditions of low ambient temperatures // *Marine medicine*. 2022. Vol. 8, No. 3. P. 77–87, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2022-8-3-77-87>.

PREVENTION OF OCCUPATIONAL DISEASES OF DIVING SPECIALISTS WHILE PERFORMING UNDERWATER WORKS UNDER LOW AMBIENT TEMPERATURES: PROSPECTIVE STUDY

¹Oleg N. Andrukh[✉], ¹Vladimir A. Grachev[✉], ²Anna V. Saliy[✉], ²Vladimir P. Sitnikov[✉]

¹The regional public institution «Institute of Engineering Physics», Serpukhov, Russia

²Action society «NPO „Domestic Technologies, industrial Design and Engineering”», Serpukhov, Russia

OBJECTIVE: To assess the impact of applying active thermal protection by diving specialists based on electric heating to ensure thermal comfort as a part of a series of measures to prevent occupational diseases while performing underwater works under low ambient temperature.

MATERIALS AND METHODS: The test evaluated the time spent by divers in the water maintaining thermal comfort without active heating and using the system of electric heating. The diver's thermal comfort was estimated according to subjective sensations. The test was held using the diving equipment SLVI-71, SSP-M, SN-21, GVS XC-1200, SVG-200, SVC «Amphora», SVU-5/1, SVU-3 with ABM-12к, at depth from 2 m to 120 m, at a water temperature from +1° C to +16° C.

RESULTS: The test determined the compatibility of the electric heating developed system for divers with components of special diving equipment of the above types; showed the necessity of applying the elements of hands and feet's warming as a part of the heating system; proved the positive impact of the heating system on divers in the period of maintaining thermal comfort while performing diving works, including different levels of heating power.

DISCUSSION: Diver's hypothermia predisposes to oxygen starvation, contributes to the emergence of decompression sickness, oxygen and carbon dioxide poisoning. The average time of providing divers thermal comfort by using FEC at a water temperature from +1° C to +4° C exceeds 3,5–4,6 times the period of the diver's staying in the water without using active heating. Using elements of hands and feet's warming in the electric heating suit provides decrease in appearance of primary hypothermia signs of the extremities, contributing to the maintenance of the diver's optimum heat sensation for a long time. Applying electric heating system significantly reduces the risk of hypothermia while performing diving works under low ambient temperatures and helps to prevent occupational diseases, directly or indirectly related to the impact of low ambient temperatures on the body.

CONCLUSION: The application of electric heating system for divers significantly reduces the risk of hypothermia while performing diving works under low ambient temperatures, enables to increase allowable time in water in the diving suit 3,5–4,6 times and helps to prevent occupational diseases, directly or indirectly related to the impact of low ambient temperatures on the body.

KEYWORDS: marine medicine, hypothermia, diver, electric heating, thermal comfort, time in the water

Введение. Развитие инфраструктуры Арктической зоны, Северного морского пути — важнейшая стратегическая задача государственного уровня¹ — неразрывно связано с выполнением водолазных спусков и работ, проведением поисково-спасательных операций на воде,

осуществляемых профильными специалистами в условиях северных национальных акваторий, которые характеризуются низкой температурой воздушной и водной среды. Профессии водолазов и спасателей относят к категории с особо вредными и особо тяжелыми условиями

¹ Указ Президента РФ от 26.10.2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года».

труда¹, соответствующие наивысшему четвертому классу условий труда². Выполнение профессиональных задач в водной среде может привести к возникновению множества специфических и неспецифических профессиональных заболеваний, связанных с перепадами давления, с изменением парциального давления газов, с воздействием неблагоприятных факторов водолазного спуска. Среди основных заболеваний и травм водолазов³, связанных с воздействием неблагоприятных факторов водолазного спуска, можно выделить переохлаждение, поскольку охлаждающее действие воды является одним из важнейших неблагоприятных факторов, ограничивающих пребывание водолаза в водной среде.

Переохлаждение (гипотермия) — патологическое состояние, обусловленное избыточной отдачей тепла организмом человека и характеризующееся понижением температуры тела. В широком диапазоне температур окружающей среды температура ядра человека за счет механизма терморегуляции сохраняется практически постоянной, в нормальных условиях в состоянии покоя ректальная температура составляет 37,1–37,2° С. Температура кожных покровов имеет ярко выраженный зональный портрет, в нормальных условиях в состоянии покоя температура кожи: на груди 34,2° С, на лбу 33,8° С, на кистях 33,1° С, на голени и стопах 31,0° С. Основными процессами терморегуляции являются теплоотдача (физическая терморегуляция) и теплопродукция (химическая терморегуляция). Если тепловой баланс между теплопродукцией и теплоотдачей не превышает 2 Вт, человек ощущает тепловой комфорт. При превышении теплоотдачи над теплопродукцией более 2 Вт микроклимат оценивается как охлаждающий⁴.

В зависимости от условий нахождения в воде, применяемого водолазного снаряжения и глубины погружения механизм терморегуляции имеет свои особенности, при этом скорость охлаждения организма водолаза определяется теплофизическими свойствами воды и составом дыхательной смеси. Вода обладает особыми теплофизическими свойствами: ее теплопроводность в 25 раз больше, чем у воздуха; а теплоемкость — в 4 раза больше. Потеря тепла организмом водолаза приводит к необходимости его обогрева «снаружи». Теплопроводность и теплоемкость гелия, используемого в составе дыхательной смеси, более чем в пять раз выше теплопроводности и теплоемкости воздуха. Существенные потери тепла организмом за счет дыхания смесью индифферентных газов приводит к необходимости подогрева дыхательной смеси, обогреву водолаза «изнутри». Вышеуказанные факторы, относящиеся к специфическим (профессиональным) факторам окружающей среды³, определяют высокую интенсивность охлаждения организма водолаза и требуют комплекса мероприятий по организации безопасной работы специалиста, выполняющего работы под водой.

Степень переохлаждения зависит от температуры воды, длительности пребывания в ней, типа снаряжения и тепловой защиты, теплопроводности индифферентного газа, входящего в состав дыхательной смеси, функционального состояния организма, его закаленности⁵. По мере снижения температуры «ядра» тела водолаза степень его переохлаждения возрастает. Зависимость степени переохлаждения от ректальной температуры⁶ представлена в таблице.

¹ Постановление Правительства РФ от 16.07.2014 № 665 (ред. от 04.03.2021) «О списках работ, производств, профессий, должностей, специальностей и учреждений (организаций), с учетом которых досрочно назначается страховая пенсия по старости, и правилах исчисления периодов работы (деятельности), дающей право на досрочное пенсионное обеспечение».

² Гигиенические критерии оценки и классификации условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. Руководство Р 2.2.7/55-99. М.: Федеральный центр ГСЭН МЗ РФ, 1999.

³ Водолазно-медицинские и санитарно-гигиенические характеристики условий труда работников, занятых производством работ под водой (Утверждены Минздравом РФ 14.11.2005, Всероссийским обществом спасания на водах 15.11.2005).

⁴ Сулин А.Б., Рябова Т.В., Рубцов А.К., Никитин А.А. Индексы теплового комфорта: учеб.-метод. пособие / под ред. А. Б. Сулина, Т. В. Рябовой. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 36 с.

⁵ Сапов И.А., Солодков А.С., Назаркин В.Я., Разводовский В.С. Физиология и патология подводных погружений и меры безопасности на воде: учеб. пособие. М.: Изд-во ДОСААФ, 1986. 253 с.

⁶ Правила водолазной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002. Приказ главнокомандующего ВМФ от 24.12.2002 № 506. Часть II. Медицинское обеспечение водолазов Военно-Морского Флота.

Степени переохлаждения водолаза

Table

Degrees of hypothermia of a diver

Степень переохлаждения	Ректальная температура	Симптомы переохлаждения
Легкая	35–32° С	Заторможен, адинамичен. Речь скандирована. Передвигается с трудом. Пульс, частота дыхания, артериальное давление могут быть в пределах нормы
Средняя	32–29° С	Ступорозное состояние. Пульс 30–50 в минуту. Артериальное давление 80–90/40–50 мм рт.ст. Частота дыхания 10–12 в минуту
Тяжелая	26–29° С	Коматозное состояние. Зрачки сужены, энтофтальм. Фиксационные контрактуры. Пульс, артериальное давление могут не определяться. Дыхание поверхностное, периодическое
Смерть	22–26° С	—

Переохлаждение приводит не только к заболеланием органов системы дыхания, но и к специфическим реакциям и заболеваниям сердечно-сосудистой системы, нервной системы¹, а также способствует развитию ряда профессиональных заболеваний водолазов, таких как декомпрессионная болезнь, кислородное голодание, отравление кислородом, токсическое действие азота, отравление выхлопными газами². Таким образом, низкая температура окружающей среды обладает аддитивным (суммирующим) или синергетическим (усиливающим) воздействием на организм водолаза.

Профилактика переохлаждения является одной из актуальных проблем медицинского обеспечения при организации водолазных работ и в то же время обеспечивает профилактику ряда профессиональных заболеваний водолазных специалистов.

Основными направлениями профилактики переохлаждения водолазных специалистов в условиях низких температур являются¹:

- изучение особенностей охлаждающего действия воды и дыхательной смеси на организм;
- систематическое закаливание водолазных специалистов;
- усиление физической активности при признаках переохлаждения;
- применение средств пассивной тепловой защиты;
- применение средств активной тепловой защиты.

Цель. Оценка влияния применения средств активной тепловой защиты водолазных специалистов на основе электрообогрева на время обеспечения теплового комфорта в рамках комплекса мер по профилактике профессиональных заболеваний водолазных специалистов при выполнении подводных работ в условиях низких температур окружающей среды.

Материалы и методы. Исследование выполнено на экспериментальной научно-исследовательской базе Научно-исследовательского института (спасания и подводных технологий) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» с участием 15 водолазных специалистов. В ходе испытаний оценивалось время пребывания в воде с сохранением теплового комфорта водолаза при использовании системы электрообогрева и без активного обогрева. Тепловой комфорт водолаза оценивался по субъективным ощущениям. Испытания проходили с использованием водолазного снаряжения СЛВИ-71, ССП-М, СН-21, ЖВС ХС-1200, СВГ-200, СВС «Амфора», СВУ-5/1, СВУ-3 с АВМ-12к, на глубинах от 2 м до 120 м, при температуре воды от +1° С до +16° С.

Результаты. В ходе проведенных испытаний установлено:

- разработанная система электрообогрева водолаза совместима с комплектующими элементами специального водолазного снаряжения вышеперечисленных видов;

¹ Водолазно-медицинские и санитарно-гигиенические характеристики условий труда работников, занятых производством работ под водой (Утверждены Минздравом РФ 14.11.2005, Всероссийским обществом спасания на водах 15.11.2005).

² Правила водолазной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002. Приказ главнокомандующего ВМФ от 24.12.2002 №506. Часть II. Медицинское обеспечение водолазов Военно-Морского Флота.

— основное влияние на тепловой комфорт водолаза оказывает температура воды, а не глубина погружения;

— более 82% водолазов при погружении в воду с температурой от +1° С до +16° С в водолазном снаряжении со штатным утеплителем без использования систем электрообогрева отмечают замерзание рук и ног, что подтверждает необходимость применения элементов обогрева кистей рук и стоп ног в составе систем электрообогрева;

— мощность используемого комплекта аккумуляторных батарей обеспечивает возможность сохранения теплового комфорта водолаза при температуре воды +1° С в течение не менее 5 часов;

— возможность ступенчатого регулирования мощности обогрева с помощью блока управления обогревом (0%, 30%, 60% и 100% от максимального значения мощности) обеспечивает тепловой комфорт пользователя в ходе выполнения водолазных работ с учетом специфики индивидуальных температурных предпочтений и температуры окружающей среды;

— применение системы электрообогрева водолаза позволяет увеличить допустимое время пребывания в воде в гидрокombineзоне в 3,5–4,6 раза.

Обсуждение. АНО «Институт инженерной физики» во взаимодействии с АО «НПО «Отечественные Технологии, промышленный Дизайн и Инжиниринг» осуществляет проектирование и производство средств активной тепловой защиты водолазов для работы в сухом гидрокостюме на основе электрообогрева. Разрабатываемые изделия характеризуются рядом особенностей:

— эластичный обогреватель¹ выполнен по принципу «второй кожи», нагревательный элемент крепится к трикотажной ткани типа бифлекс, которая плотно прилегает к телу человека, что минимизирует потери тепла^{2,3,4};

— изделие автономное, питается от носимых аккумуляторных батарей, при необходимости из-

делие может запитываться при помощи кабеля от внешнего источника питания [1, с. 98–99];

— обогрев охватывает всю площадь кожного покрова водолаза, включая туловище, конечности, кисти рук, стопы ног, голову;

— включение/выключение и регулирование интенсивности обогрева осуществляется при помощи блока управления.

Костюм электрообогрева водолаза (КЭВ) представляет собой фуфайку, кальсоны, элементы обогрева кистей рук, стоп ног и головы из эластичной по двум направлениям тканевой основы, на которых размещены нагревательные элементы из гибких нагревательных проводов. Максимальная температура поверхности нагревательного провода находится в пределах от 36,2° С до 39,2° С, что обеспечивает создание комфортного теплового режима водолазу. КЭВ имеет автоматическую систему поддержания комфортного температурного режима, блок управления мощностью обогрева, разгрузку для размещения аккумуляторных батарей. Внешний вид и температурное поле КЭВ представлены на рис. 1.

КЭВ надевается на нательное белье под утеплитель и гидрокombineзон водолазного снаряжения и обеспечивает комфортное состояние водолаза при его погружении на глубину до 120 м при температуре воды до –2° С.

При медленно развивающемся переохлаждении одними из первых признаков являются ощущение озноба, мелкая мышечная дрожь, появление «гусяной кожи», бледно-синюшный оттенок кожи и слизистых оболочек, возможно появление болей в конечностях. Под воздействием низкой температуры окружающей среды вначале включаются компенсаторные механизмы: происходит сужение кровеносных сосудов кожи и конечностей, сопровождаемое расширением сосудов жизненно важных внутренних органов для поддержания стабильной температуры ядра. Это приводит к замедлению циркуляции крови в конечностях, поэтому

¹ Патент № 2721383 С1 Российская Федерация, МПК Н05В3/34. Способ изготовления эластичного электронагревателя на основе резистивного нагревательного провода: № 2019137883: заявл. 25.11.2019; опубл. 19.05.2020 / О. Н. Андрух, А. В. Салий, В. П. Ситников; заявитель Акционерное общество «Научно-производственное объединение „Отечественные технологии, промышленный дизайн и инжиниринг“».

² Меренов И.В., Смолин В.В. Справочник водолаза. Вопросы и ответы. Л.: Судостроение, 1990. 440 с.

³ Сапов И.А., Солодков А.С., Назаркин В.Я., Разводовский В.С. Физиология и патология подводных погружений и меры безопасности на воде. М.: ДОСААФ, 1986. 256 с.

⁴ Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н. Водолазные спуски до 60 метров и их медицинское обеспечение. М.: Слово, 2013. 608 с.



Рис. 1. Внешний вид и температурное поле костюма электрообогрева водолаза

Fig. 1. Appearance and temperature field of the electric heating diver's suit

в первую очередь замерзают пальцы рук и ног, а также уши и нос, поскольку у них очень тонкая жировая прослойка. По результатам проведенных испытаний более 82% водолазов, выполнявших погружения в воду с температурой 1–6° С в водолазном снаряжении со штатным утеплителем без использования КЭВ, отмечают замерзание рук и ног (рис. 2).

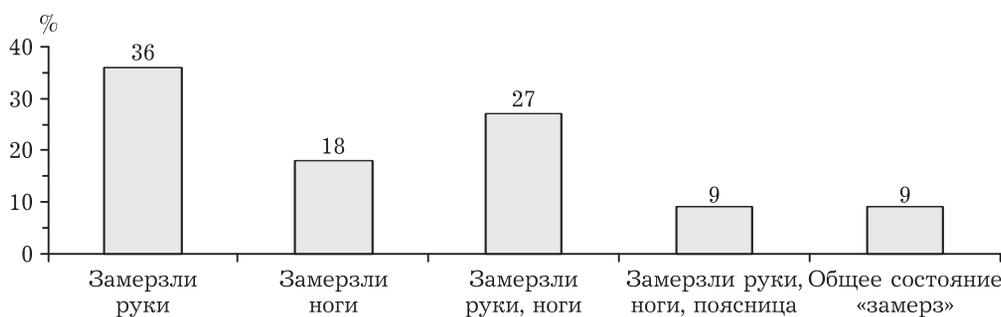


Рис. 2. Признаки нарушения теплового комфорта, отмечаемые водолазами при погружениях без костюма электрообогрева водолаза (температура воды 1–6° С)

Fig. 2. Signs of thermal comfort disturbance noticed by divers when diving without an electric heating diver's suit (water temperature 1–6° С)

Для обеспечения теплового комфорта в течение длительного времени КЭВ оснащен элементами обогрева стоп ног и кистей рук, выполненными в виде носков с электрообогревом и пятипалых перчаток с электрообогревом, подключаемых в случае необходимости к основной системе обогрева.

Для оценки эффективности нагревательных элементов кистей рук и стоп были проведены испытания этих элементов отдельно от КЭВ (модельный эксперимент). В ходе испытаний перчатки с нагревательными элементами надевали на руки человека, сверху надевали тонкие резиновые перчатки (пассивная теплозащита кисти обеспечивалась только тканым материалом основы нагревательного элемента).

Состояние кисти руки оценивалось по температуре внешней стороны кисти руки и по субъективному ощущению человека. Кисти рук помещались в воду с температурой 0° С (тающий снег). Для получения сравнительной оценки эффективности нагревательного элемента к источнику питания подключалась только одна (левая) перчатка, правая оставалась без подогрева. По разнице температур и субъективному ощущению оценивалась эффективность обогрева. В обогреваемой перчатке после 24 минут происходит стабилизация температуры кисти руки около +21° С, что соответствует тепловому комфорту по субъективной оценке испытателя, а температура кисти руки в необогреваемой перчатке уже через 10 минут опускается ниже комфортного уровня в 20° С (рис. 3).

Аналогично были проведены испытания элементов обогрева стоп ног (модельный эксперимент). Состояние стоп ног оценивалось по температуре верхней части стопы и субъективному ощущению человека. На ноги надевали

элементы обогрева стоп, поверх надевали боты гидрокомбинезона BARE.

Стопы ног помещались в воду с температурой 0° С (тающий снег). Один элемент обогрева стопы (левый) был подключен к источнику питания, правая стопа оставалась без подогрева. По результатам проведенного эксперимента

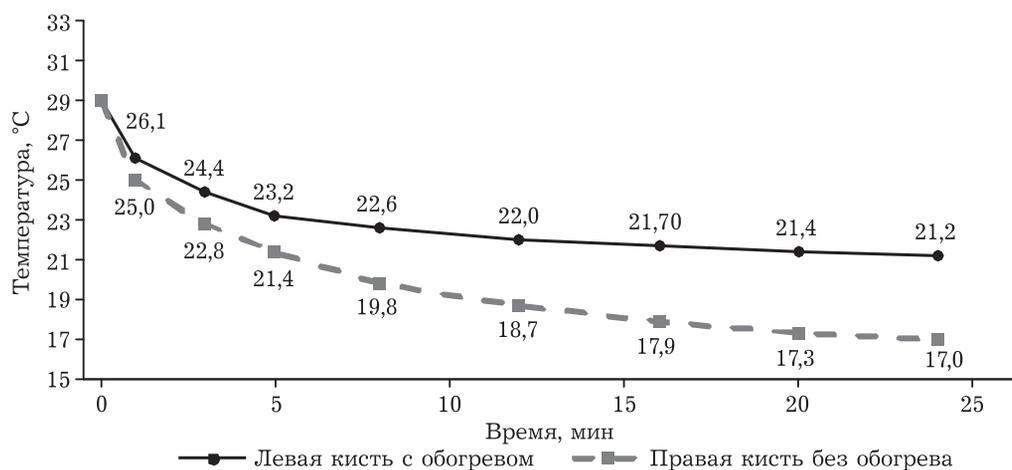


Рис. 3. Температура кисти руки при испытаниях элемента обогрева кисти в воде при температуре 0° С (модельный эксперимент)

Fig. 3. Hand temperature when testing the hand heating element in water at 0° C (model experiment)

время комфортного состояния стопы ноги в носке с включенным электрообогревом составило 35 минут. В носке без обогрева время комфортного состояния составило около 20 минут (рис. 4).

Чтобы избежать переохлаждения водолазов, существует два основных направления — ограничение времени пребывания в воде или применение тепловой защиты водолазов (пассивной и активной). Так, при температуре воды

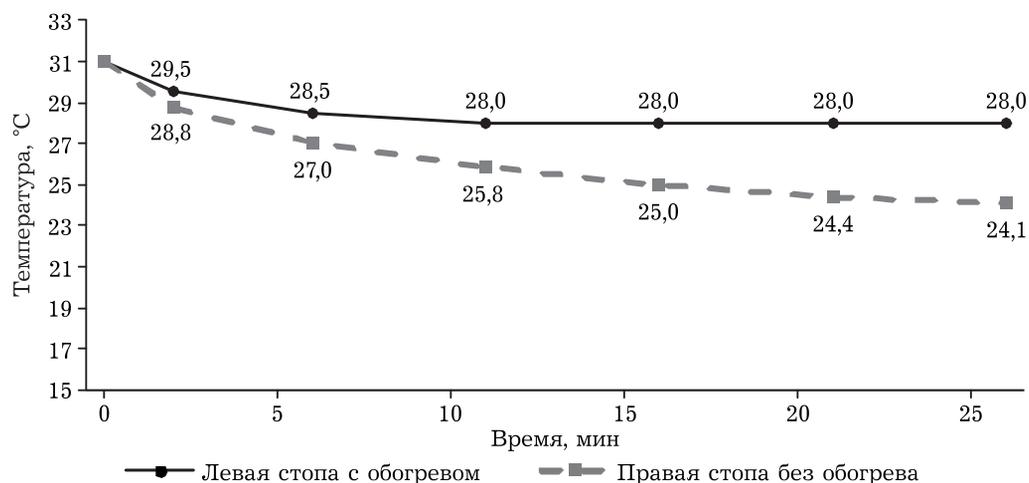


Рис. 4. Температура стопы ноги при испытаниях элемента обогрева стопы в воде при температуре 0° С (модельный эксперимент)

Fig. 4. Foot temperature when testing the foot heating element in water at 0° C (model experiment)

Элементы обогрева кистей рук и стоп ног показали в модельных экспериментах достаточно высокую эффективность. Применение их в составе КЭВ должно обеспечить снижение проявления первичных признаков переохлаждения в конечностях (в том числе болевых ощущений) и увеличение времени сохранения теплового комфорта водолазных специалистов при выполнении работ при низких температурах окружающей среды.

ниже 3° С допустимое время работы водолаза в гидрокомбинезоне под водой составляет не более одного часа¹ (рис. 5).

Для оценки влияния применения КЭВ на время обеспечения теплового комфорта водолаза при низких температурах окружающей среды были проведены испытания КЭВ в условиях, имитирующих выполнение водолазных работ на глубине до 120 м: в бассейне (глубина погружения от 2 м до 5 м)

¹ Правила водолазной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002. Приказ главнокомандующего ВМФ от 24.12.2002 №506. Часть II. Медицинское обеспечение водолазов Военно-Морского Флота.

и в ресивере-манипуляторе ГРК-30 (глубина погружения от 5 м до 120 м).

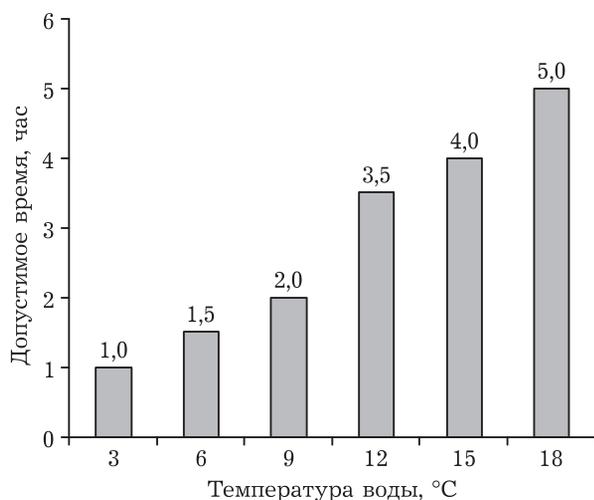


Рис. 5. Допустимое время пребывания в воде в гидрокombineзоне

Fig. 5. Allowed time in the water in a wetsuit

Испытания проходили с использованием различного водолазного снаряжения: СЛВИ-71, ССП-М, СН-21, ЖВС ХС-1200, СВГ-200, СВС «Амфора», СВУ-5/1, СВУ-3 с АВМ-12к. В ходе испытаний установлена совместимость КЭВ с комплектующими элементами специального водолазного снаряжения перечисленных видов. В каждом испытании (при определенной температуре воды и глубине погружения) принимали участие два водолазных специалиста, одетых в одинаковое водолазное снаряжение с одним комплектом штатного утеплителя, один из которых использовал КЭВ, надетый поверх нательного белья. Тепловой комфорт водолаза оценивался по субъективным ощущениям. При всех проведенных испытаниях после завершения водолазного спуска осмотр врачом водолазных специалистов не выявил повреждений кожного покрова водолаза, использовавшего КЭВ (отсутствуют механические повреждения и/или ожоги).

Применение активного электрообогрева позволяет обеспечить профилактику переохлаждения и увеличить безопасное время пребывания в воде. При отсутствии активного обогрева допустимое время нахождения водолаза в воде при температуре $+16^{\circ}\text{C}$ составляет примерно 4,5 ч (рис. 5). По субъективным ощущениям водолаза, одетого в КЭВ, штатный утеплитель и водолазное снаряжение ЖВС ХС-1200, при выполнении работы средней тяжести при температуре воды $+16^{\circ}\text{C}$ комфортные теплоощущения сохранялись в течение 6 часов (испыта-

ния проводились в 25-метровом бассейне на глубине 5 м). Отключение электропитания КЭВ и регулирование мощности обогрева водолаз производил самостоятельно, по мере необходимости.

Для увеличения времени работы КЭВ от автономного источника питания (комплект аккумуляторных батарей) и обеспечения максимального уровня теплового комфорта водолазу предусмотрена возможность ступенчатого регулирования мощности обогрева с помощью блока управления обогревом: 0%, 30%, 60% и 100% от максимального значения мощности. Возможность и удобство самостоятельного регулирования водолазом мощности обогрева и отключения электропитания КЭВ блоком управления обеспечивается при использовании всех вышеперечисленных видов водолазного снаряжения. Подбор оптимальной мощности обогрева, достаточной для обеспечения теплового комфорта, осуществляется водолазом самостоятельно в ходе выполнения водолазных работ с учетом специфики индивидуальных температурных предпочтений и температуры окружающей среды. На рис. 6 представлено общее время пребывания в воде при температуре $+1^{\circ}\text{C}$ (глубина погружения 40 м) водолазов в снаряжении СВУ-5-1 со штатным утеплителем без использования активного обогрева (вышел из воды с теплоощущением «замерзли ноги»), при использовании КЭВ в режиме 60% мощности обогрева (вышел из воды с теплоощущением «замерзли ноги») и при использовании КЭВ в режиме 100% мощности обогрева (вышел из воды с теплоощущением «комфорт») — при использовании активного обогрева общее время пребывания в воде увеличивается в 1,7 раза при 60% мощности обогрева и в 3,4 раза при 100% мощности. Стоит отметить, что заряд комплекта аккумуляторных батарей после работы системы электрообогрева в течение 2 ч 30 мин на 100% мощности обогрева составил 53%, что позволяет предположить возможность сохранения теплового комфорта водолаза при температуре воды $+1^{\circ}\text{C}$ в течение не менее 5 часов.

В ходе проведенных испытаний было установлено, что основное влияние на тепловой комфорт водолаза оказывает температура воды, а не глубина погружения. Например, при температуре воды $+2^{\circ}\text{C}$ на глубине погружения от 5 до 120 м общее время пребывания в воде до субъективного теплоощущения «за-

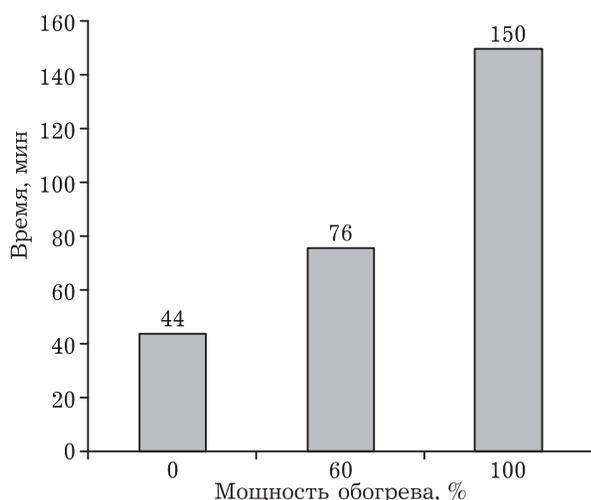


Рис. 6. Общее время пребывания водолаза в воде при температуре $+1^{\circ}\text{C}$ при использовании костюма электрообогрева водолаза в режимах 0%, 60% и 100% мощности обогрева

Fig. 6. The total time of the diver's staying in the water at a temperature of 1°C when using the diver's electric heating suit in the modes 0%, 60% and 100% of the heating power

мерз» составляло от 49 до 60 мин (среднее значение 54,75 мин, выборочное СКО 4,50 мин, коэффициент вариации 8,2%).

На рис. 7 представлены обобщенные результаты исследований влияния электрообогрева на время пребывания в воде водолаза при выполнении водолазных работ средней тяжести. Максимальное время пребывания водолаза в воде устанавливалось методикой испытаний от 150 до 240 мин, при нарушении теплового комфорта (по субъективным теплоощущениям водолаза) водолаз выходил из воды. Без использования КЭВ пребывание водолаза в воде во всех случаях было прекращено из-за теплоощущений водолаза «замерз». При использовании КЭВ 67% случаев выхода из воды до максимального времени, установленного методикой испытаний, было связано с нарушением герметичности водолазного снаряжения и некомфортными теплоощущениями водолаза в месте нарушения герметичности. По результатам проведенных испытаний среднее время пребывания в воде водолаза при использовании КЭВ превосходит комфортное время пребывания в воде без КЭВ в 3,5–4,6 раза.

Сравнение среднего времени обеспечения теплового комфорта водолазов без использования активного обогрева и с использованием КЭВ при температурах воды от $+1^{\circ}\text{C}$ до $+4^{\circ}\text{C}$ (рис. 7) позволяет сделать вывод, что применение системы электрообогрева значительно сни-

жает риск возникновения переохлаждения при выполнении водолазных работ даже в течение длительного времени при низких температурах окружающей среды и способствует профилактике профессиональных заболеваний, напрямую или опосредованно связанных с воздействием на организм низких температур окружающей среды.

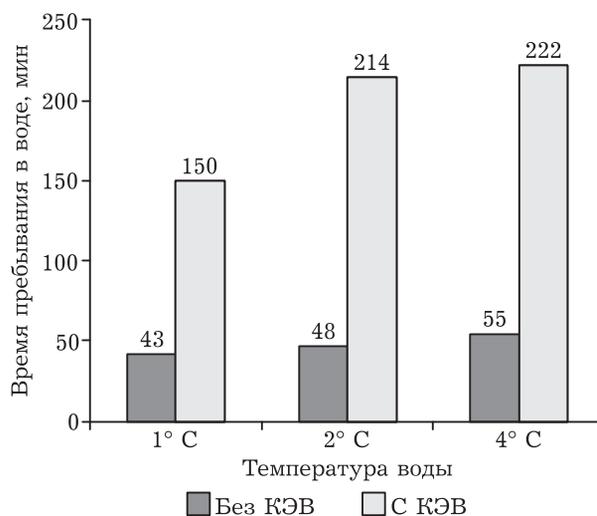


Рис. 7. Среднее время обеспечения теплового комфорта водолаза без использования активного обогрева и с использованием системы электрообогрева

Fig. 7. The average time to ensure the thermal comfort of a diver without the use of active heating and with the use of an electric heating system

С 2019 г. АНО «Институт инженерной физики» осуществляет серийные поставки КЭВ в различные организации. Успешная эксплуатация КЭВ в разных климатических и погодных условиях, положительные отзывы специалистов подтверждают эффективность применения КЭВ в целях предотвращения переохлаждения водолаза и профилактики ряда профессиональных заболеваний. В настоящее время в АНО «Институт инженерной физики» ведутся работы, связанные с глубокой модернизацией КЭВ по следующим направлениям:

- переход от модульной конструкции костюма к интегральной (на основе комбинезона);
- уменьшение количества разъемов; миниатюризация длины коммутационных проводов от блока управления к комплекту аккумуляторных батарей;
- вынос комплекта аккумуляторных батарей из подкомбинезонного пространства наружу для повышения безопасности и удобства эксплуатации костюма.

Заключение. Применение активного обогрева, а именно костюма электрообогрева водолаза,

при выполнении водолазных работ в условиях низких температур окружающей среды позволяет увеличить время пребывания в воде при обеспечении теплового комфорта в 3,5–4,6 раза. Использование элементов обогрева кистей рук и стоп ног в составе костюма электрообогрева обеспечивает снижение проявления первичных признаков переохлаждения в конечностях, способствуя поддержанию оптимальных теплоощущений водолаза в течение длительного времени.

Применение системы электрообогрева значительно снижает риск возникновения переохлаждения при выполнении водолазных работ при низких температурах окружающей среды, позволяет увеличить допустимое время пребывания в воде в гидрокombineзоне и способствует профилактике профессиональных заболеваний, напрямую или опосредованно связанных с воздействием на организм низких температур окружающей среды.

Сведения об авторах:

Андрух Олег Николаевич — кандидат технических наук, доцент, почетный работник науки и техники Российской Федерации, вице-президент автономной некоммерческой организации «Институт инженерной физики»; 142210, Московская область, г. Серпухов, пер. Большой Ударный, д. 1А, стр. 1; e-mail: aon@iifmail.ru;

Грачев Владимир Анатольевич — кандидат педагогических наук, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, вице-президент автономной некоммерческой организации «Институт инженерной физики»; 142210, Московская область, г. Серпухов, пер. Большой Ударный, д. 1А, стр. 1; e-mail: vgrachev@iifmail.ru;

Салий Анна Вячеславовна — кандидат физико-математических наук, заместитель начальника научно-исследовательского отдела акционерного общества «Научно-производственное объединение „Отечественные Технологии, промышленный Дизайн и Инжиниринг“»; 142201, Московская область, г. Серпухов, ул. Сиреневая, д. 8, стр. 1, помещ. 223; e-mail: ava@iifmail.ru;

Ситников Владимир Петрович — начальник центра промышленного дизайна акционерного общества «Научно-производственное объединение „Отечественные Технологии, промышленный Дизайн и Инжиниринг“»; 142201, Московская область, г. Серпухов, ул. Сиреневая, д. 8, стр. 1, помещ. 223; e-mail: vpsitnikov-pdi@iifmail.ru.

Information about the authors:

Oleg N. Andruk — Cand. of Sci. (Techn.), associate professor, Honorary worker of science and technology of the Russian Federation, Vice-President of the Institute, Autonomous non-profit organization; 142210, Moscow region, Serpukhov, lane. Bolshoy Udarny, 1A, p. 1; e-mail: onandruk@iifmail.ru;

Vladimir A. Grachev — Cand. of Sci. (Ped.), Honorary worker of higher professional education of the Russian Federation, Vice-President of the Institute, Autonomous non-profit organization; 142210, Moscow region, Serpukhov, lane. Bolshoy Udarny, 1A, p. 1; e-mail: vgrachev@iifmail.ru;

Anna V. Saliy — Cand. of Sci. (Phys. and Mathem.), deputy head of the Research department, Action society «NPO „Domestic technologies, industrial design and engineering“»; 142201, Moscow region, Serpukhov, Sirenevaya str., 8, p. 1, room 223; e-mail: 5ava@iifmail.ru;

Vladimir P. Sitnikov — head of the Industrial design center, Action society «NPO „Domestic technologies, industrial design and engineering“»; 142201, Moscow region, Serpukhov, Sirenevaya str., 8, p. 1, room 223; e-mail: vpsitnikov-pdi@iifmail.ru.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом. Вклад в концепцию и план исследования — *О. Н. Андрух, В. А. Грачев*. Вклад в сбор данных — *О. Н. Андрух, А. В. Салий, В. П. Ситников*. Вклад в анализ данных и выводы — *О. Н. Андрух, А. В. Салий, В. П. Ситников*. Вклад в подготовку рукописи — *В. А. Грачев*.

Author contribution. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

The largest contribution is distributed as follows. *ONA, VAG* contribution to the concept and plan of the study. *ONA, AVS, VPS* contribution to data collection. *ONA, AVS, VPS* contribution to data analysis and conclusions. *VAG* contribution to the preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

Поступила/Received: 19.01.2022

Принята к печати/Accepted: 02.09.2022

Опубликована/Published: 30.09.2022

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Ананьев Е.М., Андрух О.Н., Ситников В.П. Обоснование требований к автономным источникам питания мобильных систем электрообогрева объектов // *Известия Института инженерной физики*. 2018. № 2 (48). С. 96–100. Anan'ev E.M., Andruh O.N., Sitnikov V.P. Obosnovanie trebovanij k avtonomnym istochnikam pitaniya mobil'nyh sistem elektroobogreva ob'ektov // *Izvestiya Instituta inzhenernoj fiziki*. 2018. No. 2 (48). S. 96–100. [Ananiev E.M., Andruh O.N., Sitnikov V.P. Substantiation of requirements for autonomous power supplies of mobile systems for electric heating of objects. *Proceedings of the Institute of Engineering Physics*, 2018, No. 2 (48), pp. 96–100 (In Russ.)].