

УДК 687.174

**АНАЛИЗ ОДЕЖДЫ С СИСТЕМАМИ ОХЛАЖДЕНИЯ**

**THE ANALYSIS OF CLOTHES WITH COOLING SYSTEMS**

*Д.Н. СОРОКИНА*  
*D.N. SOROKINA*

(Донской государственный технический университет)  
(Don State Technical University)  
E-mail: naukauni@mail.ru

*С повышенной температурой окружающей среды человек сталкивается и на производстве, и в быту. Основная цель исследования заключается в анализе выпускаемой на сегодняшний день персональной охлаждающей одежды для условий эксплуатации с повышенной температурой. В статье рассматриваются индивидуальные системы охлаждения, их конструктивные решения. В ходе проведенных исследований установлены основные достоинства и недостатки изделий. Проведенный анализ является основой для дальнейшего решения задачи проектирования персональной охлаждающей одежды.*

*With hot climate the environment people face in the workplace and at home. The main content of the research is the analysis produced to date of personal cooling garment for different hot operating conditions. The article deals with individual cooling system design solutions. In the course of the work the main advantages and disadvantages of products. The analysis is the basis for further solving the problem of designing of a personal cooling garment.*

**Ключевые слова:** персональная охлаждающая одежда, системы охлаждения, воздушная система охлаждения, жидкостная система охлаждения, теплоаккумулирующие материалы.

**Keywords:** personal cooling clothes, cooling system, air cooling system, liquid cooling system, phase change materials.

Специфика ряда профессий предполагает нахождение человека в промышленных или климатических условиях при повышенных температурах. Например, военнослужащие, несущие службу в высокотемпературных средах, работники предприятий горной, легкой, пищевой и химической промышлен-

ности, сельского хозяйства. Специальная одежда и средства индивидуальной защиты обеспечивают безопасность труда, но могут нарушать физиологический комфорт человека. Как правило, для подобных видов производств используют одежду закрытого типа. Ткани для специальной одежды изготавли-

вают из химических волокон или пропитывают химическими составами, которые обеспечивают защитные свойства, но снижают гигиенические показатели. Это может нарушать гомеостаз, препятствовать нормальному отводу тепла от тела, затруднять испарение пота. В результате возникает перегрев организма, тепловой стресс, что отражается на самочувствии человека, снижает концентрацию внимания, повышает физические и нервно-психические перегрузки и потенциально может привести к несчастному случаю.

Вопрос охлаждения является актуальным в различных сферах жизни человека: спортивная одежда (охлаждение спортсмена во время интенсивной физической нагрузки), спецодежда (охлаждение пожарного при выполнении боевых задач, охлаждение в условиях производств с повышенной температурой окружающей среды), повседневная одежда (охлаждение в жарких климатических условиях). Решением обеспечения снижения теплового стресса может являться применение персональных систем охлаждения [1], [2].

Цель данного обзора заключается в обобщении имеющейся на сегодняшний день информации о различных системах охлаждения микроклимата вокруг тела человека. Данный анализ может послужить основой для решения задач проектирования персональной охлаждающей одежды.

Существует несколько типов систем охлаждения: на основе распространения воздуха, воды, а также с использованием химических веществ и фазопереходных материалов [3...7].

Система на основе распространения воздуха (система вентиляции) состоит из двух съемных вентиляторов, которые размещаются в нижней боковой части спинки изделия. Одежда, в которую устанавливаются вентиляторы, не должна плотно прилегать к телу. Поток воздуха от вентилятора направлен к телу человека, создавая естественное охлаждение путем испарения пота. В результате температура тела снижается до нормального уровня. Диаметр вентилятора 10 см, вес 265 г. Время непрерывной работы составляет от 8 до 60 ч, в зависимости от мощности батареи. Разработчиком дан-

ной системы является японская фирма Kuchofuku [8]. Другой вариант – жилет фирмы Mawashi (Канада) со встроенными вентиляторами в области верхней части спинки изделия [9]. В данной разработке изделие прилегает к телу человека. Диаметр вентиляторов 5 см. Система вентиляции работает от аккумуляторной батареи. Воздушные системы рекомендуются для эксплуатации в бытовой и производственной одежде.

Охлаждающие системы на основе воды представляют собой систему распространения охлажденной воды, циркулирующей по изолированным каналам. Каналы вшиты между слоями изделия. Вода циркулирует с помощью насоса из кулера. Есть возможность контроля температуры поступающей воды [10]. Изделия с охлаждающей системой на основе воды рекомендуются использовать для работников промышленности, военных, медиков. Данные разработки представлены фирмами Shenzhen AD Technology Co., Ltd., Китай, Ultra Chiller, США, Veskimo, США [11], [12].

В Швейцарии разработан специальный бронежилет для военных с комбинированной охлаждающей системой на основе воды и воздуха. Внутрь изделия встроены наполненные водой подушки. Подушки изготовлены из специального материала, через мембраны которого испаряется жидкость. Под подушками расположены небольшие вентиляторы, которые создают рассеивание испаряемой жидкости, тем самым обеспечивая ощущение прохлады [13].

Следующий принцип охлаждения основан на использовании химических веществ (полимеры). Примером такой разработки может служить жилет с многоразовыми съемными брикетами с охлаждающим полимером, которые размещаются во внутренних карманах изделия [14]. Другим вариантом использования охлаждающего полимера служит жилет, на спинке и передке которого имеются "ребра" с охлаждающим гелем [15]. В жилете Revit Cooling Vest Liquid от компании Rev'it, Нидерланды, охлаждающий полимер расположен по всей поверхности изделия. Это достигается за счет выстигивания по определенной схеме двух слоев материала [16]. Перед применением брикеты

или изделие обильно смачивают водой, полимер впитывает в себя влагу. Если необходимо, то излишняя влага удаляется отжиманием. Для максимального охлаждения изделие или брикеты помещают в холодильник. Обеспечение комфортного состояния тела человека осуществляется за счет испарения влаги гелем. Время использования около 2 ч. Данные разработки рекомендуются к использованию в быту и при занятиях спортом.

Для создания комфортного состояния в условиях среды с повышенной температурой получили распространение фазопереходные материалы – вещества, способные переходить из одного состояния в другое, например, вода. Учитывая тот факт, что при фазовом переходе вещество претерпевает изменение объема и формы, возникает необходимость размещения его в герметичной емкости. Вещество может быть помещено в капсулы, брикеты или внедрено в состав композита [17]. Брикет с фазопереходным материалом может быть съемным или защитит между слоями изделия. В зависимости от конструктивного решения достоинствами изделия являются съемность элементов, возможность их многократного использования, гигиеническая безопасность.

Фирмой Nike, США, для спортсменов Олимпиады в Пекине разработан жилет, охлаждение в котором осуществляется за счет замороженной воды. Жилет состоит из двух слоев материалов. Внутренний слой по всей поверхности заполнен замороженной водой и охлаждает тело, внешний слой удерживает холод внутри изделия и отражает внешнюю высокую температуру. Перед эксплуатацией жилет охлаждают в холодильнике. Вес изделия – около 2 кг, время использования – около двух часов [18].

Другое конструктивное решение применения льда предлагает фирма Stacoolvest, США. Изделие выполнено из эластичного материала. На передке и на спинке – по два накладных кармана на молнии, в которые размещают съемные брикеты со льдом. В процессе эксплуатации лед переходит в воду, поглощая тепло от тела человека. Время охлаждения может достигать трех часов. Об-

щий вес изделия около 2,3 кг. Жилет рекомендуется для бытового использования и при занятиях спортом [19].

Торгово-промышленной компанией "Д.С.", Россия, по заказу швейцарской фирмы разработаны жилеты для комплектации с боевой одеждой пожарных. Наружный слой жилета изготовлен из огнеустойчивого материала Номекс, внутренний слой выполнен из хлопчатобумажной ткани с антибактериальной пропиткой. Между материалами расположены четыре съемных охлаждающих элемента. Каждый элемент представляет собой гибкий плоский пакет из высокопрочного пластика, разделенный перегородками и заполненный изнутри водой. Каждая ячейка с водой является герметичной. Перед работой охлаждающие элементы помещаются в холодильник для замораживания. После этого они пристегиваются к жилету. Поверх жилета надевается боевая одежда пожарного: изолирующий костюм или спецдежда для защиты от повышенных температур. При таянии льда внутри ячеек обеспечивается эффективный отвод тепла и охлаждение тела человека. Общий вес жилета составляет 970 г. Время действия – от 30 до 120 мин [20], [21].

Для охлаждения возможно использовать фазопереходные вещества, способные к поглощению тепла при определенной температуре – теплоаккумулирующие материалы (ТАМ). В процессе фазового перехода происходит поглощение тепловой энергии. В качестве ТАМ применяют неорганическую соль (глауберова) или органические вещества (парафины). Данные вещества соответствуют требованиям по их использованию в одежде [22...24].

Для бытового применения и спорта фирмой TechKewl, США, разработан жилет со съемными брикетами с глауберовой солью. Соль поглощает тепло непосредственно от тела человека. Во время поглощения тепла осуществляется переход из твердого состояния вещества в жидкое. После завершения фазового перехода брикет необходимо охладить [25].

Опираясь на существующие исследования, автором данной статьи была разра-

ботана модель мужского жилета для эксплуатации на производстве. Изделие предназначено для регулирования и поддержания комфортного микроклимата под одеждой за счет тепла тела человека и не содержит дополнительных источников питания. Жилет содержит съемные элементы с теплоаккумулирующим материалом с температурой фазового перехода в термофизиологическом диапазоне температур тела человека 27...35 °С. Изделие спроектировано с учетом физиологических особенностей терморегуляции и поддержания теплового баланса человека. В качестве ТАМ выбраны углеводороды с количеством атомов в углеродной цепи C<sub>18</sub>-C<sub>20</sub>. Эти вещества обладают достаточной удельной теплоемкостью, гигиенической безопасностью. При выполнении активной физической работы теплоаккумулирующий материал поглощает тепло от тела человека [26].

Анализ аналогов современной персональной охлаждающей одежды показывает, что интерес к данному виду изделий высок. В основном на рынке представлены зарубежные разработки. Существуют и отечественные аналоги, но, к сожалению, их ассортимент ограничен. Изделия разнообразны по своему конструктивному решению, обладают высоким уровнем изготовления. Все системы охлаждения выполняют свою основную функцию. Однако ни одна система охлаждения не является универсальной и выбирается в зависимости от условий эксплуатации. Общими недостатками являются необходимость предварительной подготовки к эксплуатации и ограниченное время использования. Кроме того, высокая стоимость изделий затрудняет их широкое применение.

Для воздушных систем охлаждения необходимы аккумуляторные батареи, возможно попадание пыли в вентилятор. Наличие механизмов затрудняет стирку изделия.

Жилеты с жидкостной системой обеспечивают эффективное охлаждение, но громоздки по своей конструкции. Для таких изделий необходимо дополнительное оборудование для обеспечения их работы. Системы с применением замороженной воды обладают

большим весом. Кроме того лед может вызывать переохлаждение организма.

Изделие с несъемными элементами с теплоаккумулирующим материалом затрудняет стирку и чистку, а также замену элемента в случае его повреждения. Неорганические соли могут вызывать аллергические реакции. Для теплоаккумулирующих материалов неорганического происхождения необходимо устройство для инициации процесса кристаллизации, возможна термическая неустойчивость соли.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенный анализ является основой для решения задачи проектирования персональной охлаждающей одежды. В качестве перспективного направления предлагается использовать теплоаккумулирующие материалы с температурой фазового перехода в термофизиологическом диапазоне температур тела человека.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлева Н.Л. Разработка метода проектирования бельевого костюма специального назначения для создания комфортного пододежного микроклимата: Дис. ...канд. техн. наук. – М., 2015.
2. Джанпаицова В.М. и др. Проектирование рациональной конструкции спецодежды, предназначенной для жарких климатических условий // Science and world. – 2013. С. 48.
3. Elbel S. et al. Development of Microclimate Cooling Systems for Increased Thermal Comfort of Individuals. – 2012.
4. Lopez R.M. et al. Thermoregulatory influence of a cooling vest on hyperthermic athletes // Journal of athletic training. – V. 43, № 1, 2008. P. 55.
5. Wittmersl L., Hodgdon J. Use of encapsulated phase change material (epcm) as a cooling agent in microclimate cooling garments // Environmental Ergonomics VIII, San Diego, USA. – 1998. P. 231...235.
6. Mokhtari Yazdi M., Sheikhzadeh M. Personal cooling garments: a review // The Journal of The Textile Institute. – V. 105, № 12, 2014. P. 1231...1250.
7. Рус С.Ф. Ventilated shirt: пат. 5105478 США. – 1992.
8. Kuchofuku: [Электронный ресурс] / kuchofuku-products. - Режим доступа: <http://www.kucho-fuku-products.com> (Дата обращения 25.10.2016)
9. Mawashi: [Электронный ресурс] / mawashi. - Режим доступа: <http://www.mawashi.net> (Дата обращения 25.10.2016)

10. Flouris A.D., Cheung S.S. Design and control optimization of microclimate liquid cooling systems underneath protective clothing // *Annals of biomedical engineering*. – V. 34, № 3, 2006. P. 359...372.
11. Veskimo: [Электронный ресурс] / veskimo. - Режим доступа: <http://www.veskimo.com> (Дата обращения 25.10.2016)
12. Sinosail: [Электронный ресурс] / sinosail. - Режим доступа: <http://sinosail.en.ec21.com> (Дата обращения 25.10.2016)
13. Derion T., Pozos R.S. A review of microclimate cooling systems in the chemical, biological, radiological environment. - Naval health research center San Diego CA. – 1993. № NHRC-93-23.
14. Coolbit: [Электронный ресурс] / coolbit. - Режим доступа: <http://coolbit.com.ua> (Дата обращения 25.10.2016)
15. Arcticheat: [Электронный ресурс] / arcticheatusa. - Режим доступа: <http://www.arcticheatusa.com> (Дата обращения 25.10.2016)
16. Revit: [Электронный ресурс] / revit. - Режим доступа: <http://www.revit.nl> (Дата обращения 25.10.2016)
17. Kenny G.P. et al. Ice cooling vest on tolerance for exercise under uncompensable heat stress // *Journal of occupational and environmental hygiene*. – V. 8, №8, 2011. P. 484...491.
18. Sports: [Электронный ресурс] / sports. - Режим доступа: <http://www.sports.ru> (Дата обращения 25.10.2016)
19. Stacoolvest: [Электронный ресурс] / stacoolvest. Режим доступа: <http://www.stacool-vest.com> (Дата обращения 25.10.2016)
20. Smolander J. et al. Effectiveness of a light-weight ice-vest for body cooling while wearing fire fighter's protective clothing in the heat // *International journal of occupational safety and ergonomics*. – V. 10, № 2, 2004. С. 111...117.
21. Dees: [Электронный ресурс] / dees. - Режим доступа: <http://www.dees.ru> (Дата обращения 25.10.2016)
22. Colvin D.P., Bryant Y.G. Protective clothing containing encapsulated phase change materials // *ASME Heat Transfer Div Publ HTD*. – V. 362, 1998. P.123...132.
23. Gao C., Kuklane K., Holmer I. Cooling vests with phase change materials: the effects of melting temperature on heat strain alleviation in an extremely hot environment // *European journal of applied physiology*. – V. 111, № 6, 2011. P. 1207...1216.
24. Лебедева Е.О., Сорокина Д.Н., Смирнова Н.В. Выбор теплоаккумулирующего материала для применения в теплозащитной одежде // *Текстильная промышленность*. – 2011, №7. С. 37...39.
25. Techniche: [Электронный ресурс] / techniche. - Режим доступа: <http://www.techniche-intl.com> (Дата обращения 25.10.2016)
26. Сорокина Д.Н. Разработка и исследование специальной теплозащитной одежды с теплоаккумулирующим материалом: Дис...канд. техн. наук.– Шахты, 2012.
1. Zhuravleva N.L. Razrabotka metoda proektirovaniya bel'evogo kostyuma spetsial'nogo naznacheniya dlya sozdaniya komfortnogo pododezhnogo mikroklimata: Dis. ...kand. tekhn. nauk. – M., 2015.
2. Dzhanpaizova V.M. i dr. Proektirovanie ratsional'noy konstruksii spetsodezhdy, prednaznachennoy dlya zharkikh klimaticheskikh usloviy // *Science and world*. – 2013. S. 48.
3. Elbel S. et al. Development of Microclimate Cooling Systems for Increased Thermal Comfort of Individuals. – 2012.
4. Lopez R.M. et al. Thermoregulatory influence of a cooling vest on hyperthermic athletes // *Journal of athletic training*. – V. 43, № 1, 2008. P. 55.
5. Wittmersl L., Hodgdon J. Use of encapsulated phase change material (epcm) as a cooling agent in microclimate cooling garments // *Environmental Ergonomics VIII, San Diego, USA*. – 1998. P. 231...235.
6. Mokhtari Yazdi M., Sheikhzadeh M. Personal cooling garments: a review // *The Journal of The Textile Institute*. – V. 105, № 12, 2014. P. 1231...1250.
7. Рyc C.F. Ventilated shirt: pat. 5105478 SShA. - 1992.
8. Kuchofuku: [Elektronnyy resurs] / kuchofuku-products. - Rezhim dostupa: <http://www.kucho-fuku-products.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)
9. Mawashi: [Elektronnyy resurs] / mawashi. – Rezhim dostupa: <http://www.mawashi.net> (Data obrashcheniya 25.10.2016)
10. Flouris A.D., Cheung S.S. Design and control optimization of microclimate liquid cooling systems underneath protective clothing // *Annals of biomedical engineering*. – V. 34, № 3, 2006. P. 359...372.
11. Veskimo: [Elektronnyy resurs] / veskimo. – Rezhim dostupa: <http://www.veskimo.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)
12. Sinosail: [Elektronnyy resurs] / sinosail. – Rezhim dostupa: <http://sinosail.en.ec21.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)
13. Derion T., Pozos R.S. A review of microclimate cooling systems in the chemical, biological, radiological environment. - Naval health research center San Diego CA. – 1993. № NHRC-93-23.
14. Coolbit: [Elektronnyy resurs] / coolbit. - Rezhim dostupa: <http://coolbit.com.ua> (Data obrashcheniya 25.10.2016)
15. Arcticheat: [Elektronnyy resurs] / arcticheatusa. - Rezhim dostupa: <http://www.arcticheatusa.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)
16. Revit: [Elektronnyy resurs] / revit. - Rezhim dostupa: <http://www.revit.nl> (Data obrashcheniya 25.10.2016)
17. Kenny G.P. et al. Ice cooling vest on tolerance for exercise under uncompensable heat stress // *Journal of occupational and environmental hygiene*. – V. 8, №8, 2011. P. 484...491.
18. Sports: [Elektronnyy resurs] / sports. - Rezhim dostupa: <http://www.sports.ru> (Data obrashcheniya 25.10.2016).

19. Stacoolvest: [Elektronnyy resurs] / stacool-vest. Rezhim dostupa: <http://www.stacoolvest.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016).
20. Smolander J. et al. Effectiveness of a light-weight ice-vest for body cooling while wearing fire fighter's protective clothing in the heat // International journal of occupational safety and ergonomics. – V. 10, № 2, 2004. S. 111...117.
21. Dees: [Elektronnyy resurs] / dees. - Rezhim dostupa: <http://www.dees.ru> (Data obrashcheniya 25.10.2016)
22. Colvin D.P., Bryant Y.G. Protective clothing containing encapsulated phase change materials // ASME Heat Transfer Div Publ HTD. – V. 362, 1998. P.123...132.
23. Gao C., Kuklane K., Holmer I. Cooling vests with phase change materials: the effects of melting temperature on heat strain alleviation in an extremely hot environment // European journal of applied physiology. – V. 111, № 6, 2011. P. 1207...1216.
24. Lebedeva E.O., Sorokina D.N., Smirnova N.V. Vybór teploakkumuliruyushchego materiala dlya primeneniya v teplozashchitnoy odezhde // Tekstil'naya promyshlennost'. – 2011, №7. S. 37...39.
25. Techniche: [Elektronnyy resurs] / techniche. - Rezhim dostupa: <http://www.techniche-intl.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)
26. Sorokina D.N. Razrabotka i issledovanie spetsial'noy teplozashchitnoy odezhdy s teploakkumuliruyushchim materialom: Dis....kand. tekhn. nauk.– Shakhty, 2012.
- Рекомендована Научно-техническим советом.  
Поступила 06.09.17.
-