

УДК 614.895.5

**СОХРАНЕНИЕ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ
БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В СИСТЕМЕ
«ЧЕЛОВЕК – ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
СРЕДА – ЗАЩИТНАЯ ОДЕЖДА»**

Лебедева Е.О., Черунова И.В., Бринк И.Ю.

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, e-mail: leleol@mail.ru

Для защиты человека на промышленных объектах, расположенных в северных регионах с сухим и холодным климатом, с высоким риском накопления статического электричества, мы разработали специальную одежду с теплоаккумулирующими материалами и встроенными датчиками для непрерывного измерения и анализа напряженности электростатического поля вблизи поверхности одежды. Защитная одежда с теплоаккумулирующими материалами с фазовым переходом в диапазоне 28–36 °С разработана с учетом распределения температуры на поверхности тела человека, на различных участках, интенсивности его теплопродукции, и выполнена в виде жилета, масса которого не превышает 1500 г. Как показали результаты проведенных исследований, при использовании жилета время комфортного состояния человека увеличивается на 1,5–4 часа по сравнению с обычной одеждой в зависимости от условий окружающей среды. Поэтому, у человека появляется возможность длительное время не перегреваться и не переохлаждаться за счет использования собственной тепловой энергии. Для контроля уровня статического электричества на поверхности одежды в защитную одежду встроены 9 микродатчиков на участках наибольшего накопления электростатического заряда. Результаты проведенных исследований показывают, что при приближении значения напряженности на поверхности одежды к критическому 1,9 МВ/м срабатывает звуковой сигнал и предупреждает человека об опасности. После срабатывания системы человек должен применять меры предосторожности для исключения опасного воздействия статического заряда и использовать автоматические и полуавтоматические средства снижения статической электризации. Таким образом, использование разработанной защитной одежды позволит сохранить здоровье человека в сложных производственных условиях и снизить угрозу возникновения техногенной катастрофы в результате плохого самочувствия человека на рабочем месте.

Ключевые слова: защитная одежда, безопасность труда, здоровье человека, теплоаккумулирующие материалы, электростатический заряд

**PRESERVATION OF HUMAN HEALTH AND SAFETY ASSURANCE
OF LABOR IN THE SYSTEM «HUMAN-NATURAL AND PRODUCTION
ENVIRONMENT-PROTECTIVE CLOTHING»**

Lebedeva E.O., Cherunova I.V., Brink I.Y.

The Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: leleol@mail.ru

The purpose of this work is design and research of the protective clothes with Phase Change Materials (PCM) and with built-in system of continuous measurement and the analysis of electrostatic intensity of the human. The protective clothes represent the vest covering the body of the person. The gross weight of the vest doesn't exceed 1500 g. The elements with Phase Change Materials (PCM) with the phase change of the temperature from 28 to 36 °C are built-in. The elements with Phase Change Materials (PCM) are located at the sites with the greatest thermal stream and cover the body of the human at the breast, stomach and back. Such arrangement provides the maximum thermal effect. By the results of the conducted researches we should out that when using the vest the time of a comfortable condition of the person increases for 1,5–4 hours in comparison with usual clothes depending on environment conditions. Thus, the human has an opportunity not to overheat and not to overcool at the expense of use of own thermal energy for a long time. For control of level of static electricity at the surface of protective clothes. We investigated the places of the greatest risk of the static electricity congestion at the surface of the person's body. We also established that the charge concentrates especially actively at the sharpest places of the person's body: knees, feet, hands, elbows and the top part of the head. We designed and built in protective clothes the 9 microsensors on the sites of the greatest accumulation of an electrostatic charge at the surface of protective clothes for control of level of static electricity. By the results of the conducted researches we should out that at approach of value of intensity on a clothes surface to critical 1,9 MV/m works a sound signal and warns the person about danger. After operation of system, human has to apply precautionary measures to an exception of dangerous influence of a static charge and use automatic and semi-automatic means of decrease in static electrization. The offered designs will allow reducing the threat of emergence of the technogenic catastrophes, to raise the level of labour, life and health protection of people which are compelled to be in adverse conditions of the environment.

Keywords: protective clothes, safety of work, health of the person, phase change materials, electrostatic charge

Освоение новых территорий и интенсивный рост промышленности в регионах с экстремально холодными природно-климатическими условиями существенно осложняет производственную жизнедеятельность человека и ухудшает его здоровье. Человек вынужден длительное время находиться в неблагоприятных условиях

окружающей среды. Воздействие холода на организм человека нарушает углеводный и белковый обмен, замедляет окислительные процессы, повышает проницаемость сосудистых стенок, снижает температуру тела и артериальное давление. В результате появляется слабость, сонливость, пульс и дыхание замедляются. На холоде мышцы

становятся слабыми, нарушается координация движений, и человек быстро утомляется.

Длительное постоянное воздействие холода на человека приводит к развитию хронических заболеваний, таких как невроаскулиты, кариес зубов, гингивит, вегето-сосудистая дистония. Одной из наиболее часто встречающихся проблем являются перепады температуры: повышение и понижение температуры окружающей среды и изменение температуры тела человека при его физической активности. Как правило, на производстве человек имеет переменную физическую активность – активно двигается, затем находится в состоянии покоя. При высокой физической активности теплопродукция человека может составлять до 440 Вт/м^2 , в покое – 58 Вт/м^2 [2, 6]. В этом случае средневзвешенная температура кожи при физической нагрузке может достигать 37°C , а в состоянии покоя – 23°C . При перегреве начинается потоотделение, что впоследствии, при прекращении физической активности приводит к интенсивному охлаждению. Таким образом, в традиционной одежде человек может перегреться за счет избытка тепла во время физической активности, а затем замерзнуть. Такие ситуации часто провоцируют простудные заболевания и ухудшают здоровье человека.

На современных производствах с большим количеством электронной техники и полимерных конструкций, которые расположены в северных регионах с сухим и холодным климатом, существует еще одна серьезная и опасная проблема для человека – накопление статического электричества. Поверхностный электрический заряд появляется в воздухе, на различном оборудовании, полимерных поверхностях, на одежде в процессе ее эксплуатации, на волосах человека. Одежда, изготовленная из синтетических материалов, мешает «стекаль» статическому электричеству, и при каждом движении человека вырабатывается новая порция электричества. В большей степени статическое электричество проявляется в зимний период. Человек, в зависимости от накопленного на поверхности кожи электростатического заряда и значения потенциала, испытывает следующие ощущения: до 5 кВ – разряд практически неощутим; до 10 кВ – мягкий укол; от 10 до 25 кВ – легкая судорога; свыше 35 кВ – острая судорога.

Статическое электричество представляет настоящую угрозу для организма человека. При длительном пребывании человека в электростатическом поле возникают головные боли, снижение аппетита, нарушается сон, наблюдаются боли в области

сердца, брадикардия и артериальная гипотония, может наблюдаться артериальная гипертензия, возможно потемнение в глазах и головокружение [4]. Статическое электричество приводит к росту заболеваний сердечно-сосудистой системы, увеличению числа психических заболеваний, приносит вред работе нервной системы. У человека развивается депрессия, он становится нервным и конфликтным. Кроме того, статический электрический разряд на поверхности одежды и теле человека может вызывать нежелательные болевые и нервные ощущения и быть причиной непроизвольного резкого движения человека, в результате которого он может дополнительно получить механическую травму (ушибы, ранения). Избыток статического электричества провоцирует искру при малейшем контакте с другими объектами. Это представляет серьезную угрозу для безопасности работ на взрывоопасном производстве, т.к. в результате искры возникает взрыв и пожар.

Когда у человека плохое самочувствие на рабочем месте, повышается вероятность того, что он совершит ошибку, которая приведет к травме или аварии. Поэтому, для защиты человека и уменьшения риска для его здоровья и жизни на производстве в условиях холода и высокой вероятности накопления статического электричества, мы разрабатываем защитную одежду, которая позволит уменьшить температурный дисбаланс, увеличить комфортное физиологическое состояние и уменьшить уровень электризации на поверхности одежды.

Предлагаемая нами защитная одежда с активной системой термостабилизации обеспечит физиологический комфорт и безопасность человека за счет использования теплоаккумулирующих веществ с фазовым переходом в термофизиологическом диапазоне температур тела человека. При разработке данной одежды мы использовали известные сведения из области гигиены одежды [2, 6] и учитывали распределение температуры на поверхности тела человека на различных участках и интенсивность его теплопродукции. Тепловой комфорт человека в большей степени зависит от температуры туловища. Это обусловлено его внутренним строением – наличием в нем ряда теплотворных органов: сердце, печень, почки [2, 6]. Защитная одежда представляет собой жилет, покрывающий туловище человека. Общий вес жилета не превышает 1500 г . Внутрь жилета встроены элементы с теплоаккумулирующими веществами с фазовым переходом в диапазоне $28\text{--}36^\circ\text{C}$ [5, 7]. Теплоаккумулирующие элементы расположены на участках с наибольшим

тепловым потоком и покрывают туловище человека в области груди, живота и спины. Такое расположение обеспечивает максимальный термический эффект. Ранее мы установили теплоаккумулирующие вещества, имеющие температуру фазового перехода в термофизиологическом диапазоне температур и, в наибольшей степени, подходящие задаче по разработке данной одежды [1, 3]. Теплоаккумулирующие материалы поглощают, и накапливают избыток тепловой энергии от тела человека при его активном движении или при повышении температуры окружающей среды, и отдают накопленное тепло обратно при снижении физической деятельности человека и понижении температуры. Таким образом, у человека появляется возможность длительное время не перегреваться и не переохлаждаться за счет использования собственной тепловой энергии.

Мы проводили испытания разработанной защитной одежды при температуре окружающей среды 0, -10, -20 °С по методике ГОСТ Р 12.4.185-99 «Средства индивидуальной защиты от пониженных температур. Методы определения теплоизоляции комплекта». Сверху жилета мы надевали на испытуемого теплый костюм (куртка и полукомбинезон) с теплоизоляцией 0,744 Вт·°С/м². С помощью набора цифровых портативных термометров мы измеряли температуру тела человека на различных участках: лоб, грудь, живот, спина, поясница. Испытуемый моделировал ситуацию: ходьба испытуемого по наклонной местности (угол 5°) со скоростью 6,4 км/ч, затем – состояние покоя. Тепловой поток при ходьбе составил 300 Вт/м², в состоянии покоя – 70 Вт/м². По результатам проведенных исследований при использовании жилета время комфортно-го состояния человека увеличивается на 1,5–4 часа по сравнению с обычной одеждой в зависимости от условий окружающей среды. Результаты испытаний при температуре -10 °С приведены на рис. 1. При данных условиях время комфорта увеличивается на 1,5 часа. При использовании жилета с теплоаккумулирующим материалом теплоощущение «жарко» при двигательной активности наступает через 60 минут вместо 20 минут, теплоощущение «прохладно», при прекращении двигательной активности, наступает через 90 минут вместо 35 минут. Такая защитная одежда отличается высокой эргономичностью, является гигиенически безопасной для человека, не требует дополнительных источников питания и может циклически «заряжаться» от энергии тела человека.

Мы исследовали места наибольшего риска скопления статического электричества на поверхности тела человека. Установили, что особенно активно заряд концентрируется на наиболее острых местах тела человека: колени, стопы, кисти, кончики пальцев, локти и верхняя часть головы. Таким образом, мы получили 5 критических мест на одежде: локти, низ рукавов, колени, низ брюк и верхний край головы (капюшона). На этих зонах мы разместили 9 датчиков на одежде. На костюме на этих участках мы спроектировали специальные внутренние карманы для размещения датчиков и сигнализаторов. Они защищены от ударов и изгибов. Разработанный костюм был испытан в условиях с искусственным уровнем повышенного статического электричества на поверхности одежды. Для этого использовались источники наведенных зарядов от электронных приборов. Условия проведения эксперимента: температура окружающей пространства – 25 °С, влажность воздуха не превышала 40%, скорость движения воздуха – 2 м/с.

На рис. 2 показан график результатов экспериментов. График показывает, что на поверхности одежды в сочетании с общей напряженностью внешнего поля постепенно нарастал уровень напряженности электростатического поля. На графике мы построили ось по теоретическим расчетам.

Чтобы избежать реальные аварийные ситуации, предупредительный сигнал наше устройство должно давать ранее, чем появление возникновения искры. Поэтому мы проверили, совпадает ли наше предположение с реальной работой системы. Действительно, при достижении сочетания общей напряженности внешнего поля до 20 киловольт и приближении при этом напряженности на самой поверхности одежды все ближе к критическому значению 1,9 МВ/м. Отмеченная на графике позиция +1 – положение датчика как раз показывает его срабатывание и подачу сигнала. Такой результат полностью совпадает с моделируемой ситуацией. Поэтому мы можем утверждать, что созданный нами костюм является эффективным для контроля за статическим электричеством на поверхности одежды. Человек в такой одежде вовремя получает звуковое предупреждение об опасности и выполняет необходимые движения для быстрого снижения электростатической напряженности. С этой целью в защитную одежду встраиваются специальные блоки с активными аэрозолями против статического электричества. Такие меры сохраняют здоровье человека и его жизнь.

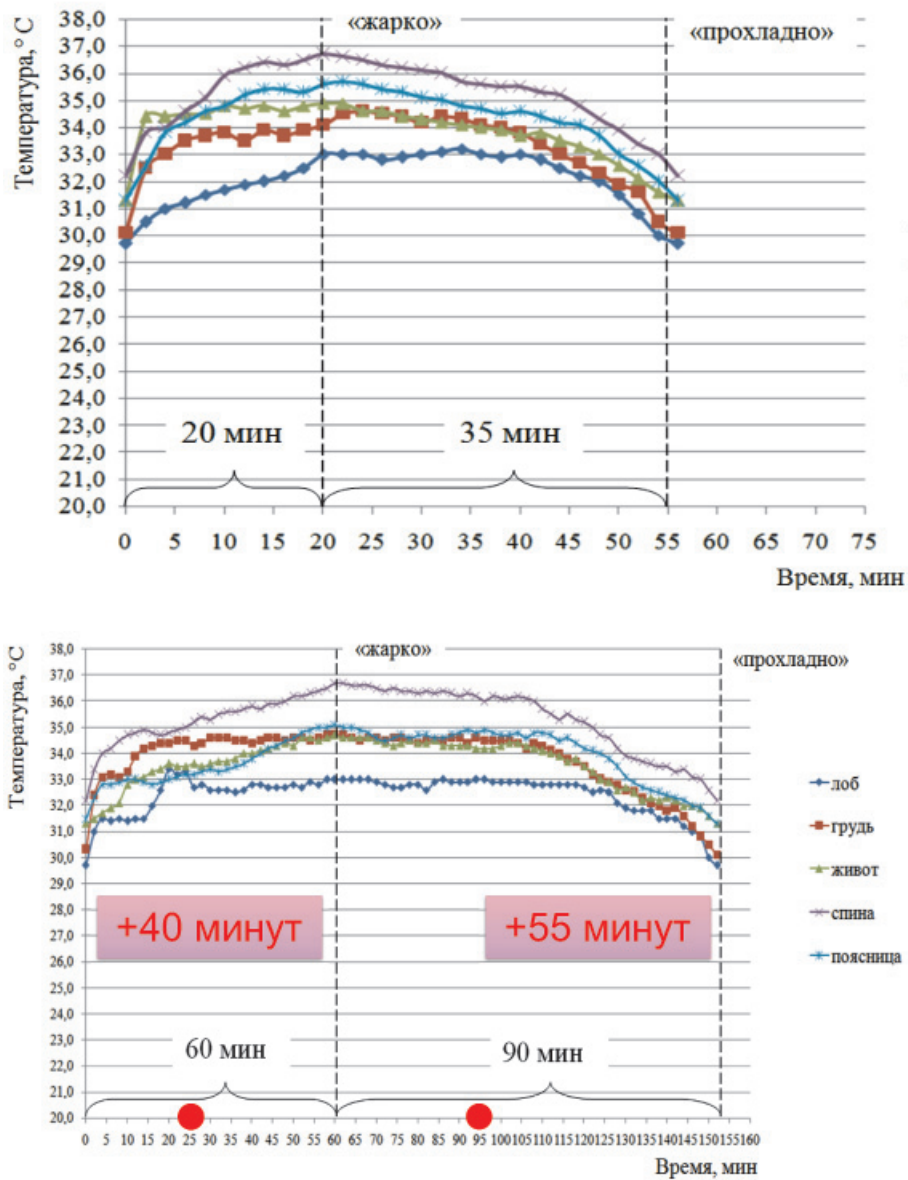


Рис. 1. Результаты испытаний жилета с теплоаккумулирующими материалами

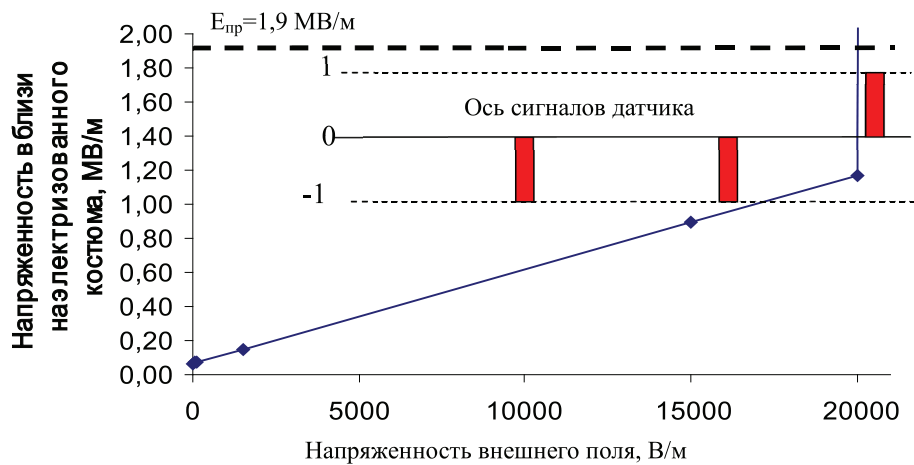


Рис. 2. График оценки работы датчика контроля электростатического поля

Предлагаемые разработки позволят снизить угрозу возникновения техногенной катастрофы, повысить уровень охраны труда, жизни и здоровья людей, которые вынуждены находиться в неблагоприятных условиях окружающей среды.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП Грант № 14.В37.21.1247.

Список литературы

1. Исследование свойств теплоаккумулирующих материалов для разработки специальной теплозащитной одежды / И.Ю. Бринк, Е.О. Лебедева, В.В. Горчаков, Д.Н. Сорокина // Швейная промышленность. – 2011. – № 3. – С. 32–34.
2. Делль Р.А. Гигиена одежды: учебное пособие / Р.А. Делль, Р.Ф. Афанасьева, З.С. Чубарова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 160 с.: ил.
3. Лебедева Е.О., Сорокина Д.Н., Смирнова Н.В. Выбор теплоаккумулирующего материала для применения в теплозащитной одежде // Текстильная промышленность. – 2011. – № 7. – С. 37–39.
4. Основы проектирования антиэлектростатической теплозащитной одежды / И.В. Черунова, А.В. Меркулова, В.В. Горчаков, И.Ю. Бринк. – М.: Изд-во «Академия Естествознания», 2007. – 131 с.
5. Reinertsen R., Fårevik H., Holbø K., Nesbakken R., Reitan J., Røyset A., Suong Le Thi M., Reinertsen R. Optimizing the Performance of Phase-Change Materials in Personal Protective Clothing Systems // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE). – 2008. – Vol. 14. – № 1. – P. 43–53.
6. Stephan A. Mayer, Daniel I. Sessler. Thermoregulation and heat balance // Therapeutic Hypothermia. – New York, Marcel Dekker, 2005. – P. 1–33.
7. Wang F., Gao C., Kuklane K., Holmér I. Review of Technology of Personal Heating Garments // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE). – 2010. – № 3. – P. 387–404.

References

1. Brink I.Y., Lebedeva E.O., Gorchakov V.V., Sorokina D.N. The research of the properties Phase-Change Materials in personal protective clothing. Sewing industry, 2011, no. 3, pp. 32–34.
2. Dell R.A., Afanaseva R.F., Chubarova Z.S. Hygiene of the clothes. Moscow, Legprombytizdat, 1991, p. 160.
3. Lebedeva E.O., Sorokina D.N., Smirnova N.V. Selection of the properties Phase-Change Materials for using at the protective clothing. Textile industry, 2011, no. 7, pp. 16–18.
4. Cherunova I.V., Merkulova A.V., Gorchakov V.V., Brink I.Y. The basis of the design of the antielectrostatic warm-protective clothes. Moscow, Academiya Estestvoznaniya, 2007, p. 131.
5. Reinertsen R., Fårevik H., Holbø K., Nesbakken R., Reitan J., Røyset A., Suong Le Thi M., Reinertsen R. Optimizing the Performance of Phase-Change Materials in Personal Protective Clothing Systems. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE), 2008, vol. 14, no. 1. pp. 43–53.
6. Stephan A. Mayer, Daniel I. Sessler. Thermoregulation and heat balance. Therapeutic Hypothermia, New-York, Marcel Dekker, 2005, pp. 1–33.
7. Wang F., Gao C., Kuklane K., Holmér I. Review of Technology of Personal Heating Garments. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE), 2010, no. 3, pp. 387–404.

Рецензенты:

Безуглов Д.А., д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой «Информационные технологии в сервисе», ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону;

Алиева Н.З., д.ф.н., доцент, профессор кафедры «Естественнонаучные дисциплины», Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ, г. Шахты.
Работа поступила в редакцию 17.10.2013.