

Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science <https://kostumologiya.ru>

2026, Том 11, № 3 / 2026, Vol. 11, Iss. 3 <https://kostumologiya.ru/issue-3-2026.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/09TLKL326.pdf>

2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Хуснутдинова, Г. Н. Физиолого-гигиенические основы проектирования охлаждающей одежды для работающих в условиях теплового стресса / Г. Н. Хуснутдинова, А. А. Азанова, Д. Ю. Михайлова // Костюмология. — 2026. — Т. 11. — № 3. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/09TLKL326.pdf>.

For citation:

Khusnutdinova G.N., Azanova A.A., Mikhailova D.Yu. Physiological and hygienic principles of designing cooling clothing for workers under heat stress conditions. *Journal of Clothing Science*. 2026;11(3): 09TLKL326. Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/09TLKL326.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 613.48

Хуснутдинова Гульнур Нургаяновна

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия
Старший преподаватель кафедры «Материалов и технологий легкой промышленности»

E-mail: KhusnutdinovaGN@corp.knrtu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5275-6745>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=784652

Азанова Альбина Альбертовна

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия
Заведующий кафедрой «Материалов и технологий легкой промышленности»

Доктор технических наук, доцент

E-mail: AzanovaAA@corp.knrtu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3995-0009>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=255460

Михайлова Дина Юрьевна

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия

E-mail: mihailovadeena@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5539-3058>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1635258

**Физиолого-гигиенические основы
проектирования охлаждающей одежды для
работающих в условиях теплового стресса**

Аннотация. В статье рассмотрены существующие основания для формулирования физиолого-гигиенических требований к созданию функциональной охлаждающей одежды для активного спорта и работающих в условиях нагревающей термической среды. Авторами проведен анализ механизмов физической теплоотдачи организма человека при тепловом стрессе и показано, что при высокой физической активности ведущую роль приобретает испарительное охлаждение, эффективность которого зависит от влажности воздуха и скорости движения воздуха, что является важным фактором при проектировании охлаждающей одежды и разработке теплоизоляционных требований к текстильным материалам. Выявлен дисбаланс в российской нормативной документации в сторону большей разработанности требований к защите от холода и показано, что стандартные методы оценки теплового стресса по ТНС-индексу имеют ограничения при разработке нестандартной спецодежды. Обоснована необходимость перехода к физиологическим критериям теплового состояния человека и на

основе анализа нормативных документов предложены критерии предельно допустимого теплового состояния в качестве ориентира для проектирования данного ассортимента одежды. Сформулированы принципы проектирования, включающие анализ теплового стресса, выбор класса защиты по интенсивности теплового излучения и обеспечение требуемых показателей теплового состояния, закрепляемых в технических условиях на изделие. Результаты работы могут быть использованы при разработке технических требований к охлаждающей одежде для спортсменов и работников различных отраслей промышленности, работающих в условиях нагревающей термической среды.

Ключевые слова: охлаждающая одежда; тепловой стресс; микроклимат; тепловая среда; нормативная документация; тепловое состояние; критерии

Введение

Поддержание постоянства температуры внутренней среды организма человека — важный динамический процесс, нарушение которого ведет к тепловому или холодовому стрессу, снижению работоспособности и риску для здоровья и жизни. В Российской Федерации критерии границ терморегуляции закреплены в нормативной базе¹, которая призвана обеспечить безопасность и (или) безвредность факторов среды для человека. Существующие нормативы создавались преимущественно для стационарных рабочих мест в помещениях, и они практически не учитывают специфику высокоинтенсивной деятельности в условиях теплового стресса. Учитывая растущий спрос на функциональную охлаждающую одежду² [1] актуальным является установление принципов и нормативов по ее проектированию. Цель работы — на основе анализа действующей нормативной базы сформулировать физиолого-гигиенические требования к проектированию функциональной охлаждающей одежды.

Механизмы физической теплоотдачи организма человека

Физическая нагрузка сопровождается многократным ростом теплопродукции [2; 3]. В ответ организм мобилизует системы теплоотдачи: сердце начинает биться чаще, прокачивая кровь к поверхности тела, дыхание становится более частым, увеличивая испарительное охлаждение [4]. Однако эти механизмы имеют предел: если интенсивность нагрузки слишком высока или условия окружающей среды препятствуют отдаче тепла (высокая влажность, отсутствие ветра), температура тела начинает неконтролируемо расти, создавая предпосылки для теплового истощения или теплового удара [5; 6]. Нарушение теплового баланса, при котором теплопродукция превышает теплоотдачу, приводит к накоплению тепла в организме. В физиологии это состояние квалифицируется как тепловой стресс, требующий активации механизмов терморегуляции.

¹ СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2).

Приказ Минтруда России от 21.11.2023 № 817н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению» (Зарегистрировано в Минюсте России 30.11.2023 № 76179).

Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».

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

² Heat Protection Cooling Apparel — Global Market Share and Ranking, Overall Sales and Demand Forecast 2025–2031 // QYResearch URL: <https://www.qyresearch.com/reports/4782794/heat-protection-cooling-apparel> (дата обращения: 23.06.2026).

Терморегуляция — это совокупность физиологических процессов, обеспечивающих поддержание относительно постоянной температуры ядра тела (у человека — около 36,5–37,5°C) в условиях изменяющейся температуры внешней среды [4; 7]. В физиологии принято выделять два основных компонента терморегуляции: химическую теплопродукцию, отвечающую за образование тепла, и физическую теплоотдачу, обеспечивающую рассеивание избыточного тепла в окружающую среду [8].

Теплоотдача организма осуществляется следующими путями: конвекция, кондукция, излучение и испарение [7; 9].

Конвекция — это один из ключевых механизмов теплоотдачи организма, осуществляемый путем переноса тепла потоками воздуха. Количественно эффективность конвекции описывается коэффициентом конвективной теплоотдачи (h_c), который измеряется в Вт/(м²·°C). Эффективность конвекции напрямую зависит от скорости движения воздуха относительно тела: при увеличении скорости воздуха от 0,2 до 20 м/с коэффициент h_c возрастает примерно в 23 раза [10]. В охлаждающей одежде теплоотдача по механизму конвекции может быть реализована как за счет естественного движения воздуха (ветер на открытой территории), так и за счет конструктивных решений изделия и кофкекционирования материалов. Воздухопроницаемость материалов и наличие вентиляционных зазоров между слоями одежды или между одеждой и телом позволяют наружному воздуху проникать в пододежное пространство, интенсифицируя конвективный теплообмен [11].

Кондукция — передача тепла при непосредственном контакте тела с твердыми предметами или жидкостью. Вклад кондукции в общую теплоотдачу при занятиях спортом не большой, за исключением таких видов, как плавание, где вода обладает высокой теплопроводностью, что приводит к быстрым теплопотерям [12]. В условиях активного движения и ношения одежды кондуктивный теплообмен крайне затруднен, поскольку для его эффективности необходим плотный и непрерывный контакт кожи с охлажденной поверхностью, что затруднено в динамике. Поэтому кондукция не может служить основным механизмом отвода тепла в мобильной охлаждающей одежде.

Излучение — передача тепла инфракрасным излучением с поверхности тела. В покое в комфортных условиях радиация обеспечивает до 60 % теплопотерь, но при физической нагрузке в жаркой среде ее доля значительно снижается и организм переключается на более эффективные механизмы охлаждения — прежде всего испарение пота [13].

Испарение — наиболее важный механизм теплоотдачи при физической нагрузке, особенно в условиях высокой температуры среды. При испарении 1 л пота с поверхности тела человек теряет 2428 кДж тепла. Интенсивность потоотделения зависит от множества факторов. В первую очередь, от вида физической нагрузки. Например, при беге на марафонскую дистанцию в условиях жары потери жидкости могут достигать 3,71 л/ч, а при умеренной физической нагрузке потоотделение обычно составляет 0,8–2,0 л/ч [14]. Во-вторых, от влажности воздуха. В насыщенном водяными парами воздухе градиент парциального давления водяного пара между поверхностью кожи и воздухом значительно уменьшается с повышением влажности и в таких условиях испаряется лишь 16 % выделяемого пота [15]. Испарительное охлаждение использует скрытую теплоту испарения пота, обеспечивая значительное охлаждение организма даже при высокой температуре окружающей среды. Физиологически этот механизм теплоотдачи наиболее эффективен при физической нагрузке, что необходимо учесть при проектировании охлаждающей одежды: приоритетными являются материалы, способствующие активному отводу пота от кожи в наружные слои с максимальной площадью испарения, а также конструктивные решения, обеспечивающие передвижение нагретого и влажного воздуха из пододежного пространства в окружающую среду.

Понимание механизмов теплоотдачи при различных условиях окружающей среды и интенсивности физической нагрузки является важным фактором, влияющим на проектирование охлаждающей одежды. Действующая нормативная документация ориентирована на защиту от внешних тепловых угроз и не всегда способна учесть рост теплопродукции внутри организма. При физической нагрузке основным механизмом теплоотдачи становится испарение пота, которое зачастую блокируется традиционными средствами защиты. В результате организм перегревается от собственной теплопродукции. Следовательно, для работающих в условиях теплового стресса необходим иной класс одежды — не изолирующий от внешней среды, а активно способствующий отводу внутреннего тепла через механизмы теплоотдачи. Однако нормативная база для проектирования такой охлаждающей одежды, ориентированной на управление внутренней теплопродукцией, в настоящее время отсутствует.

Нормативная база оценки термической среды

Для описания физических параметров окружающей среды в широком смысле, без привязки к масштабу, используется понятие — «термическая среда». Понимание того, как параметры термической среды влияют на термическое состояние человека, является фундаментом для разработки систем отопления или вентиляции, одежды различного назначения и режимов труда и отдыха. В научной и нормативной практике чаще используют понятие «микроклимат» — совокупность физических параметров окружающей среды в ограниченном пространстве, которые определяют теплообмен организма человека с окружающей средой. Так как, в дальнейшем будут устанавливаться требования к открытой территории в том числе, будут использоваться оба понятия в зависимости от условий.

В бытовых условиях тепловое состояние и комфорт регулируются ГОСТ 30494-2011 и СанПиН 2.1.2.2645-10, которые предъявляют требования к зданию, и множество нормативных документов, устанавливающих требования к одежде и материалам, из которых она изготовлена. Современная нормативная база по бытовой одежде не имеет жестких требований и границ перегрева/охлаждения [16–18], поэтому опорными документами анализа будут документы, ориентированные на производственную гигиену и физиологию: СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» и СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда».

СанПиН 1.2.3685-21 регламентирует гигиенические нормативы параметров термической среды. В главе V данного документа приведен перечень показателей микроклимата и установлены их допустимые значения, к основным показателям относятся:

- температура воздуха, °C;
- температура поверхностей ограждающих конструкций (стены, потолок, пол), устройств, а также технологического оборудования или ограждающих его устройств, °C;
- относительная влажность воздуха, %;
- скорость движения воздуха, м/с;
- интенсивность теплового облучения, Вт/м².

Величины этих показателей зависят от категории работ, определяемой по уровню энерготрат организма. СанПиН 1.2.3685-21 дифференцирует требования к микроклимату, устанавливая три уровня нормативных величин: оптимальные, допустимые, а также предельно допустимые (пороговые). Превышение последних является основанием для классификации условий труда как вредных или опасных.

СП 2.2.3670-20 регламентирует организационные аспекты контроля микроклимата, включая периодичность измерений и требования к системам отопления, вентиляции и кондиционирования. Порядок проведения инструментальных измерений параметров микроклимата регламентируется МУК 4.3.4120-25 «Методические указания по измерению параметров микроклимата на рабочих местах». Классификация условий труда по фактору микроклимата осуществляется в соответствии с Приказом Минтруда России от 21.11.2023 № 817н, который утверждает Методику проведения специальной оценки условий труда (СОУТ). В ходе СОУТ фактические значения параметров микроклимата, полученные в ходе измерений, сопоставляются с нормативами, установленными СанПиН 1.2.3685-21. На основании этого сравнения определяется итоговый класс (подкласс) условий труда для охлаждающего и нагревающего микроклимата.

При оценке условий труда на рабочих местах, расположенных на открытых территориях, в нормативной базе выявляется пробел. Действующая Методика проведения СОУТ (Приказ Минтруда России № 817н) не содержит алгоритма для таких условий, в частности, отсутствуют:

- таблицы для определения класса (подкласса) условий труда по температуре воздуха;
- нормативы допустимой скорости ветра;
- методические указания по учету сезонных климатических колебаний.

Поскольку Приказ № 817н не дает прямого ответа, процедура оценки для открытой территории строится как компиляция из нескольких источников. Рабочее место на открытой территории идентифицируется как место с вредными условиями труда по фактору «микроклимат». Это следует из общей логики Федерального закона № 426-ФЗ: если работник находится под воздействием неконтролируемых метеофакторов, это априори требует оценки. МУК 4.3.4120-25 прямо исключают открытую территорию из своей области применения. В этом случае методика измерений параметров термической среды адаптируется под открытую территорию и полученные результаты сравнивают с СанПиН 1.2.3685-21 либо ссылаются на общие принципы измерений, описанные в Р 2.2.2006-05 и указанные там критерии классификации условий труда.

Разберем два документа МР 2.2.7.2129-06 «Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях» и МР 2.2.8.0017-10 «Режимы труда и отдыха работающих в нагревающем микроклимате в производственном помещении и на открытой местности в теплый период года», разработанные НИИ медицины труда РАМН (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение методических рекомендаций для различных типов микроклимата

Критерий сравнения	МР 2.2.7.2129-06	МР 2.2.8.0017-10
Применимость	открытая территория, неотапливаемые помещения	открытая местность, производственные помещения
Оцениваемый параметр	температура воздуха + скорость ветра	ТНС-индекс (температура, влажность, излучение, ветер)
Климатическое районирование	учет региональных особенностей, выделено пять климатических регионов (поясов)	отсутствует
Таблицы времени работы	есть (табл. 14)	есть (табл. 4)
Помещение для восстановления	21–25°C + обогрев рук/ног	24–25°C
Учет спецодежды	есть (теплоизоляция, clo)	есть (% изоляции от влагообмена)
Медицинские противопоказания	есть	есть (тепловая устойчивость)
Показатель для оценки риска	зависимость риска обморожения от интегрального показателя условий охлаждения/обморожения (ИУПОО, балл)	предельно допустимое время (τ, мин) непрерывного пребывания человека на рабочем месте на основе прогностического индекса (PRI)

Разработано автором

Оба документа имеют аналогичную структуру, прямо распространяются на открытую территорию, содержат учет СИЗ и интегральные показатели для оценки риска здоровью. Однако, проведенный анализ позволяет отметить дисбаланс в сторону разработанности нормативной документации для холодного времени года:

- нет аналога климатического районирования для условий перегрева;
- есть ограничения по использованию ТНС-индекса;
- стандарты на специальную одежду разработаны преимущественно для промышленных источников тепла;
- отсутствуют нормы выдачи СИЗ от перегрева для большинства профессий, работающих на открытом воздухе в летний период.

Проблема оценки нагревающей термической среды

МУК 4.3.2755-10 предлагает три метода оценки нагревающего микроклимата: физиологический, теплофизический и математический (табл. 2).

Таблица 2

Методы интегральной оценки нагревающего микроклимата

Характеристика	Наименование метода		
	физиологический	теплофизический	математический
На чем основан	определение теплового состояния человека	определение ТНС-индекса (термическая нагрузка среды) путем использования теплофизической модели (черный шар и смоченный термометр)	определение влияния комплекса факторов на степень перегрева организма, оцениваемого по величине содержания тепла в организме и его изменению по отношению к комфортному уровню
Параметр для установления класса условий труда	накопление тепла в организме, $\Delta Q_{\text{тс}}$, кДж/кг (верхняя граница)	ТНС-индекс	накопление тепла в организме, $\Delta Q_{\text{тс}}$, кДж/кг
Примечание	целесообразно использовать в случае невозможности должного учета всех факторов, определяющих тепловое состояние организма	— ограничением применения этого метода является низкая влажность воздуха ($< 10\%$) и высокая его подвижность ($> 0,6$ м/с); — может использоваться для оценки нагревающего микроклимата как в помещениях (вне зависимости от периода года), так и на открытой местности; — классы условий труда в МУК по ТНС приведены для человека, одетого в комплект легкой летней одежды с теплоизоляцией 0,5–0,8 clo	математическая модель ($Q_{\text{тс}}$, кДж/кг) учитывает факторы, влияющие на теплообмен человека с окружающей средой

Разработано автором

Несмотря на то, что МУК 4.3.2755-10 формально распространяется на открытую местность, у него есть критические ограничения:

- теплофизический метод (ТНС-индекс) не применяется при низкой влажности воздуха ($< 10\%$) и высокой его подвижности ($> 0,6$ м/с);
- класс условий труда по ТНС-индексу устанавливается для спецодежды с теплоизоляцией 0,7–0,8 clo (куртка и брюки из хлопчатобумажной ткани).

То есть документ признает ограниченность ТНС-индекса при высоких скоростях ветра и отправляет к физиологическому методу при использовании нестандартной одежды. Следовательно, на МУК 4.3.2755-10 можно опираться как на научно-методическую основу, обосновывающую необходимость физиологического подхода для оценки нагревающей

термической среды на открытой территории, особенно при использовании специальной (в том числе охлаждающей) одежды.

В соответствии с п. 3.1.4 МУК 4.3.2755-10, при разработке и оценке эффективности специальной одежды, ухудшающей или изменяющей теплообмен человека с окружающей средой, целесообразно использование физиологического метода интегральной оценки нагревающего микроклимата. Оценка теплового состояния организма проводится на основе показателей накопления тепла (ΔQ_{TC}) с классификацией условий труда. Измерение физиологических параметров осуществляется в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9886-2008 и МУК 4.3.1895-04. Согласно данным документам физиологическими критериями выступают:

- температура «ядра» тела, T_p , °C;
- средневзвешенная температура кожи, T_k , °C;
- средняя температура тела, T_t , °C;
- изменение теплосодержания (*), ΔQ_{TC} , кДж/кг;
- увеличение частоты сердечных сокращений, $\Delta ЧСС$, уд/мин;
- влагопотери, ΔP , г/ч;
- теплоощущения, T_o , баллы.

Также МУК 4.3.1895-04 дает определение теплового состояния — это функциональное состояние, характеризующее распределение тепла в тканях организма и степень напряжения систем терморегуляции. Классифицирует тепловые состояния на четыре типа:

- оптимальное — отсутствие дискомфорта, высокая работоспособность;
- допустимое — незначительный дискомфорт, возможно временное снижение работоспособности, но без вреда здоровью;
- предельно допустимое — выраженный дискомфорт, здоровье не сохраняется, работоспособность ограничена;
- недопустимое — чрезмерное напряжение терморегуляции, ведущее к нарушению здоровья.

Для планируемых сценариев использования разрабатываемой охлаждающей одежды (активные нагрузки, высокие энерготраты, условия теплового стресса и выше) в качестве критериальных показателей допустимого теплового состояния человека, гарантирующими сохранение работоспособности и здоровья, выбраны критерии, представленные в таблице 3. Допущение некоторого перегревания организма человека предполагает изначальную физическую подготовленность предполагаемой аудитории потребителей.

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что для стандартной одежды с теплоизоляцией 0,5–0,8 clo применяется ТНС-индекс. Для иных случаев нормирование переходит на физиологический уровень и предъявляет требования к тепловому состоянию человека (ЧСС, температура тела и т. д.). В отличие от охлаждающей термической среды, где существует ГОСТ 12.4.303-2016 с конкретными требованиями к теплоизоляции СИЗ для разных поясов, в нагревающей термической среде нет единого стандарта, который бы предъявлял унифицированные требования к охлаждающей одежде. То есть для холода нормируется сама среда, а для тепла — интегральный ответ организма на эту среду. И логика защиты в условиях холода — защитить от внешнего воздействия путем увеличения теплоизоляции одежды, предоставления помещения для обогрева, а в условиях жары — не допустить определенных значений критериев теплового состояния человека.

Таблица 3

**Критерии предельно допустимого теплового состояния человека
(верхняя граница) для продолжительности не более трех часов за рабочую смену****

Показатели теплового состояния человека	Энерготраты, Вт/м ²				
	69	87	113	145	177
1. Температура тела ректальная, Т _р , °С	37,4	37,5	37,6	37,7	37,8
2. Средневзвешенная температура кожи (*), Т _к , °С	34,6	34,5	34,3	34,1	33,8
3. Средняя температура тела (*), Т _т , °С	34,9	34,9	34,9	34,9	34,9
4. Изменение теплосодержания (*), ΔQ _{ТС} , кДж/кг	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
5. Увеличение частоты сердечных сокращений (*), ΔЧСС, уд/мин	12	17	24	31	38
6. Влагопотери, ΔР, г/ч	120	150	180	220	260
7. Теплоощущения (*), Т _о , баллы	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0

* — наиболее значимые показатели; ** — снижение работоспособности: возможно снижение показателя координации движений до 20 %³

Таким образом для оценки защитных свойств одежды от перегрева универсальным при использовании нестандартных комплектов одежды является метод оценки по физиологическим критериям термического состояния организма.

Заключение

1. Разработка одежды для защиты от теплового стресса должна основываться на научных принципах, учитывающих физиологию теплообмена человека с окружающей средой. Теплоизоляционные свойства одежды должны соответствовать уровню физической активности и климатическим условиям эксплуатации.
2. В основу проектирования охлаждающей одежды должны быть заложен анализ теплового стресса на рабочем месте, заключающийся в измерении ТНС-индекса или фиксирования метеоусловий. Если показатели выходят за рамки «допустимых», применение специальной одежды для защиты от теплового излучения (даже от солнца) становится обоснованным. В техническом задании на проектирование изделия должно быть указано, что одежда должна обеспечивать показатели теплового состояния (ЧСС, температура тела) в пределах «допустимых» значений, согласно выбранной методике.
3. Защитная одежда от теплового стресса должна способствовать эффективному отводу избыточного тепла от тела и поддерживать эффективную работу физиологических механизмов теплоотдачи: конвекции и испарения пота. Это достигается за счет применения материалов с высокой паропроницаемостью, обеспечивающих активный отвод пота от кожи к наружным слоям одежды, а также за счет конструктивных решений, создающих вентиляцию и обеспечивающих приток воздуха в пододежное пространство.
4. Проектирование нестандартных комплектов охлаждающей одежды для работающих в условиях теплового стресса и при активных физических нагрузках следует ориентировать на соблюдение верхней границы критериев предельно допустимого теплового состояния человека согласно проведенному анализу нормативной базы.

³ МУК 4.3.1895-04 «Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания» // Система нормативных документов "Меганорм" URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293823/4293823191.htm> (дата обращения: 16.07.2026).

ЛИТЕРАТУРА

1. Tetzlaff E.J., Ioannou L.G., O'Connor F.K., Kaltsatou A., Ly V., Kenny G.P. Practical Considerations for Using Personal Cooling Garments for Heat Stress Management in Physically Demanding Occupations: A Systematic Review and Meta-Analysis Using Realist Evaluation // *American Journal of Industrial Medicine*. 2025. Vol. 68, No. 1. P. 3–25. DOI: 10.1002/ajim.23672
2. Rivas E., Crandall C.G., Brothers R.M. The Change in Metabolic Heat Production is a Primary Mediator of Heat Acclimation in Adults // *Journal of Thermal Biology*. 2017. Vol. 69. P. 276–283. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2017.08.011.
3. Chen T., Wang B., Li J. Discussion on Human Thermal Management and Heat Recovery Technologies During High Intensity Interval Training // *Thermal Science*. 2025. Vol. 29, No. 6B. P. 4297. DOI: 10.2298/TSCI2506297C.
4. Cramer M.N., Gagnon D., Laitano O., Crandall C.G. Human Temperature Regulation under Heat Stress in Health, Disease, and Injury // *Physiological Reviews*. 2022. Vol. 102, No. 4. P. 1907–1989. DOI: 10.1152/physrev.00047.2021.
5. Deshayes T.A., Sodabi D.G.A., Dubord M., Gagnon D. Shifting Focus: Time to Look beyond the Classic Physiological Adaptations Associated with Human Heat Acclimation // *Experimental Physiology*. 2024. Vol. 109, No. 3. P. 335–349. DOI: 10.1113/EP091207.
6. Langan S.P., Casa D.J., Kwon O.S. Thermosensitivity of the Microvasculature: Molecular and Physiological Mechanisms in Skeletal Muscle — A Narrative Review // *Journal of Thermal Biology*. 2025. Vol. 134. Article 104331. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2025.104331.
7. Younes J., Khovalyg D. Advances in Human Thermophysiology Modelling: Methodological Review of a Century of Developments // *Computers in Biology and Medicine*. 2025. Vol. 198, Part B. Article 111218. DOI: 10.1016/j.compbiomed.2025.111218.
8. Шмидт Р., Тевс Г. Физиология человека: в 3 т. / пер. с англ. — М.: Мир, 2005. — Т. 2. — 314 с.
9. Sullivan G., Spencer M. Heat and Temperature // *BJA Education*. 2022. Vol. 22, No. 9. P. 350–356. DOI: 10.1016/j.bjae.2022.06.002.
10. Song X., Li J., et al. Three-Dimensional Simulation of the Convective Heat Transfer Coefficient of the Human Body under Various Air Velocities and Human Body Angles // *Journal of Thermal Biology*. 2023. Vol. 114. Article 103563. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2023.103563.
11. Абрамов, А. В. Комплект одежды овощеводов с системой естественной вентиляции пододежного пространства / А. В. Абрамов, А. О. Назриев, М. В. Родичева // *Костюмология*. — 2025. — Т. 10, № 2. — EDN TKMWVE.
12. Nadel E.R. Energy Exchanges in Water // *Undersea Biomedical Research*. 1984. Vol. 11, No. 2. P. 149–158.
13. Xue S., Huang G., Chen Q., Wang X., Fan J., Shou D. Personal Thermal Management by Radiative Cooling and Heating // *Nano-Micro Letters*. 2024. Vol. 16. Article number 153. DOI: 10.1007/s40820-024-01360-1.
14. Ortega J.F., Hamouti N., Gimenez J., Mora-Rodriguez R. Thermoregulatory Responses to Racewalking vs. Running in a Hot Environment // *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2010. Vol. 42, No. 5 (Suppl.). P. 278. DOI: 10.1249/01.MSS.0000384362.33887.2e.

15. Bright F.M., Clark B., Jay O., Périard J.D. Elevated Humidity Impairs Evaporative Heat Loss and Self-Paced Exercise Performance in the Heat // Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 2025. Vol. 35, No. 3. Article e70041. DOI: 10.1111/sms.70041.
16. Рябова, Т. В. Обоснование и расчет эквивалентных параметров теплового комфорта помещения / Т. В. Рябова, А. Б. Сулин, Ю. Н. Санкина // Вестник Международной академии холода. — 2018. — № 2. — С. 78–84. — DOI 10.17586/1606-4313-2018-17-2-78-94. — EDN XYOYWL.
17. Крийт В. Е., Сладкова Ю. Н. Основные проблемы гигиенического нормирования микроклимата жилых и общественных зданий // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13, № 6(117). С. 749–757. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-problemy-gigienicheskogo-normirovaniya-mikroklimate-zhilyh-i-obschestvennyh-zdaniy> (дата обращения: 16.07.2026).
18. Измеров Н. Ф., Афанасьева Р. Ф., Бурмистрова О. В. Физиолого-гигиенические принципы создания одежды для защиты от холода // Медицина труда и промышленная экология. 2006. № 5. С. 18–23. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fiziologo-gigienicheskie-printsipy-sozdaniya-odezhdy-dlya-zaschity-ot-holoda> (дата обращения: 16.07.2026).

Khusnutdinova Gulnur Nurgayanovna

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

E-mail: KhusnutdinovaGN@corp.knrtu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5275-6745>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=784652

Azanova Albina Albertovna

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

E-mail: AzanovaAA@corp.knrtu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3995-0009>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=255460

Mikhailova Dina Yurievna

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

E-mail: mihailovadeena@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5539-3058>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1635258

Physiological and hygienic principles of designing cooling clothing for workers under heat stress conditions

Abstract. This article examines the existing foundations for formulating physiological and hygienic requirements for the creation of functional cooling clothing for active sports and workers in a heating thermal environment. The authors analyze the mechanisms of physical heat transfer in the human body during heat stress and demonstrate that evaporative cooling plays a leading role during intense physical activity. Its effectiveness depends on air humidity and air velocity, which is an important factor in the design of cooling clothing and the development of thermal insulation requirements for textile materials. An imbalance in Russian regulatory documentation is identified, with cold protection requirements being more developed. It is shown that standard methods for assessing heat stress using the TNS index have limitations when developing custom workwear. The need for a transition to physiological criteria for human thermal state is substantiated, and criteria for maximum permissible thermal state are proposed as a guide for the design of this range of clothing based on an analysis of regulatory documents. Design principles are formulated, including thermal stress analysis, selection of a protection class based on thermal radiation intensity, and ensuring the required thermal state indicators specified in the product specifications. The results of the work can be used in the development of technical requirements for cooling clothing for athletes and workers in various industries working in a heating thermal environment.

Keywords: cooling clothing; heat stress; microclimate; thermal environment; regulatory documentation; thermal state; criteria