

Защита здоровья в условиях нагревающего микроклимата

Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Heat and Hot Environments

Министерство здравоохранения США

Department of Health and Human Services

Центры по профилактике и сдерживанию заболеваний

Centers for Disease Control and Prevention

Национальный институт охраны труда

National Institute for Occupational Safety and Health

Обновлённое (модернизированное) научное обоснование
стандарта по охране труда с требованиями к работодателю

Revised Criteria

DHHS (NIOSH) Publication No. 2016-106

Февраль 2016

Cover photo by Thinkstock©

Авторы:

Бренда Джеклич, MS; Джон Уильямс, PhD; Кристин Мусолин, DO, MS; Айто Кока, PhD; Юнг-Хюн Ким, PhD; Нина Тёрнер, PhD

Этот документ является **общественным достоянием**, и может свободно копироваться и распространяться (включая его перевод на русский язык). *This document is in the public domain and may be freely copied or reprinted.*

Правовая оговорка (Disclaimer)

Упоминание в этом документе любой компании или продукции не означает, что Национальный институт охраны труда (**NIOSH**, далее в тексте - Институт) одобрил это. Ссылки на внешние интернет-ресурсы (не находящиеся на сайте NIOSH) не означают, что Институт одобряет и поддерживает спонсирующие организации, их программы и продукцию. Кроме того, Институт не несёт ответственности за содержимое этих (*внешних для него*) сайтов. Все указанные в этом документе веб-ссылки были правильны и доступны на момент публикации документа.

Сведения для получения этого документа и другой информации от Института

Этот документ является общественным достоянием, и может свободно копироваться и распространяться. Для получения (любых) документов, разработанных Институтом, или другой информации, относящейся к вопросам сохранения жизни и здоровья рабочих, Вы можете связаться с Институтом:

телефон 1-800-CDC-INFO (1-800-232-4636) ; TTY: 1-888-232-6348 ; E-mail: cdcinfo@cdc.gov

или посетить сайт Института www.cdc.gov/niosh

Вы также можете подписаться на получение ежемесячных новостей Института (*NIOSH eNews*) посетив www.cdc.gov/niosh/eNews

Информация для цитирования настоящего документа:

NIOSH [2016]. NIOSH criteria for a recommended standard: occupational exposure to heat and hot environments. By Jacklitsch B, Williams WJ, Musolin K, Coca A, Kim J-H, Turner N. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication 2016-106.

Предисловие к переводу

Несовершенство используемых технологий, пренебрежительное отношение к охране труда, неблагоприятные экономические условия (заставляющие людей браться за любую работу для того, чтобы прокормить семью), глобальное потепление – вот неполный список причин, из-за которых рабочие могут подвергаться воздействию вредного производственного фактора - нагревающего микроклимата.

Наличие аналогичных проблем в США побудило специалистов Национального института охраны труда (NIOSH) разработать проект требований к работодателю, и рекомендации по защите здоровья работников, подвергающихся перегреву. Особенность документа в том, что он не только содержит рекомендации, но и объясняет, почему их необходимо выполнять, как происходит ухудшение здоровья при чрезмерном перегреве, что может повлиять на способность работника выдержать перегрев (уровень физической подготовки, отсутствие опыта работы при перегреве (см. [1](#), [2](#)), [возраст](#), [избыточный вес](#), беременность (см. [1](#), [2](#)), приём некоторых [лекарств](#), режим питания (диета, см. [1](#), [2](#)), ранее перенесённые заболевания, индивидуальные особенности организма, употребление [кофе](#), [алкоголя](#), использование [средств индивидуальной защиты от перегрева](#), мониторинг температуры центра тела, [акклиматизация](#) работника ([тренировка](#), [постепенное приучение организма переносить перегрев](#)), когда требуется [подсаливать](#) воду, а когда не стоит), оказание [первой помощи](#) пострадавшим, и многое другое.

Если ранее в СССР на многих предприятиях были медсанчасти, и специалисты по охране труда работали над защитой здоровья работников при поддержке специалистов-медиков, то сейчас этого нет, и медицинский совет получить труднее. Да и сам уровень подготовки специалистов по охране труда (*по данным опроса на портале www.ohranatruda.ru несколько лет назад*) не всегда высок. Поэтому Вам может быть интересен перевод рекомендаций, позволяющий больше узнать о перегреве и его действии на людей.

Поскольку главным способом защиты организма от перегрева является испарение пота, на способность работника выдержать жару сильно влияет возможность испарения пота с кожи. По этой причине в США и многих других странах для оценки условий труда широко используют замер не только температуры воздуха, но и комплексного показателя WBGT, который вычисляется с учётом влажности (*есть бесплатный [калькулятор OSHA](#)*). В РФ, при оценке теплового воздействия, влажность иногда не учитывается вообще ([СанПиН 2.2.3.1384-03](#), [раздел 9](#) и приложения); а может использоваться ТНС-индекс (индекс тепловой нагрузки среды), который 100% совпадает с заокеанским WBGT. Так что в отношении способов оценки угрозы для здоровья – нельзя сказать, что между РФ и США есть непреодолимая разница, скорее - непохожи сложившиеся за десятилетия традиции.

В таблице приводятся данные

П-1

я нагревающего микроклимата.

Класс труда по внутреннему тепловыделению в организме (степени физической нагрузки)	П-1		СО 7243-2007, акклиматизированный работник, WBGT	Рекомендации NIOSH, WBGT	СанПиН 2.2.4.548-96; ТНС-индекс
	Относительно площади поверхности кожи, Вт/м ²	Всего (для поверхности кожи 1,8 м ²), Вт			
0 (отдых)	M≤65	M≤117	33	-	
1	65<M≤130	117<M≤234	30	30	~ до 26,4
2	130<M≤200	234<M≤360	28	28	~ до 25,8
3	200<M≤260	360<M≤468	25 / 26*	26	~ до 23,9
4	M>260	M>468	23 / 25*	-	~ до 21,8

* при отсутствии движения воздуха / при наличии движения воздуха.

Видно, что СанПиН ставит более строгие требования, которые защищают здоровье работника надёжнее. К сожалению, хорошо научно обоснованная строгость требований - не всегда дополнялась их выполнением (и сейчас, и ранее, нарушения не всегда вызывались объективно имевшимися трудно преодолимыми проблемами**). Но строгость может быть вызвана тем, что воздействие вредных производственных факторов нередко негативно влияет на здоровье, не вызывая соответствующих профзаболеваний: например, объективно зафиксировано, что увеличение шума (до величины, не создающей опасности для органа слуха) - сопровождается ростом простудных заболеваний, вероятно, из-за ослабления общей сопротивляемости организма. В СССР старались учитывать и это - для повышения надёжности защиты работников.

Надеюсь, ознакомление с документом, при подготовке которого было использовано более 330 публикаций, поможет расширить кругозор, улучшить знания, подскажет подходящие для условий Вашего предприятия какие-то способы улучшения защиты жизни и здоровья рабочих, профилактики несчастных случаев. Если Вам будет трудно читать те части документа, которые относятся к медицинской стороне проблемы - пропустите их.

Советские и российские специалисты проводили исследования, и написали ряд книг и статей по этой тематике - но они защищены авторским правом, и не все есть в продаже ([примеры](#)). Этот документ является общественным достоянием, и Вы можете пользоваться им как хотите – без какого-то нарушения авторских прав.

Успехов Вам!

Дополнительная информация - статьи по теме перегрева из Большой медицинской энциклопедии (3 изд.):

[Перегревание организма](#)

[Коллапс](#)

[Питьевой режим](#)

[Тепловой удар](#)

[Обезвоживание организма](#)

[Потоотделение](#)

[Горячие цехи](#)

– раздел «Энциклопедии по гигиене и безопасности труда» (4 издание Международной организации труда), [ссылка 1](#), [ссылка 2](#) (текст по ссылке 2 можно переключить на русский язык).

- раздел «Заболевания, связанные с воздействием неблагоприятных микроклиматических условий» (с. 503-513) в Национальном руководстве «[Профессиональная патология](#)» под. ред. акад. Измерова Н.Ф. Москва, 2011.

На английском:

на сайте NIOSH <https://www.cdc.gov/niosh/topics/heatstress/default.html>

на сайте OSHA <https://www.osha.gov/SLTC/heatstress/index.html>

** «... Внедрённая мною система поощрений (заключённых, работавших на стройке в жарком климате, где автор - руководитель строительных работ - работал до того, как его назначили начальником строительства саркофага над Чернобыльской АЭС – прим.), хотя и была своего рода «пряником», но «кнутом» приходилось держать наготове. Доводилось и его пускать в ход. Я построил такие, как мы их называли, «тигровые клетки» из арматуры. Туда после смены загоняли наиболее норовистых, всячески стремившихся уклониться от выполнения заданий бригадиров вместе с рабочими, и они томились в них на солнцепёке в сорокаградусную жару, ожидая своей очереди доложить мне и начальнику лагеря о причинах невыполнения нормы за смену.

... Меня потом обком партии направлял к соседям для обмена опытом. ...»

Калачев Анатолий Иванович. Мой Чернобыль. Москва: ЭСКА, 2005. С. 64-65. - 205 с.; ISBN 5-206-00674-2.

Содержание *(с гиперссылками к разделу, и назад)*

Предисловие	1
Резюме	2
Сокращения	6
Словарь	10
Условные обозначения	14
Благодарности	16
Глава 1. Стандарт по охране труда, регулирующий защиту рабочих от нагревающего микроклимата (рекомендуемый)	17
1.1 Предельно допустимые уровни воздействия, и определение теплового воздействия	18
1.1.1 Предельно допустимые уровни	18
1.1.2 Определение теплового воздействия окружающей среды	18
1.1.3 Определение внутреннего тепловыделения	19
1.1.4 Определение физиологического состояния организма	19
1.2 Медицинские обследования рабочих	20
1.2.1 Общие положения	20
1.2.2 Предварительный медицинский осмотр	20
1.2.3 Периодические медицинские обследования	21
1.2.4 Неотложная медицинская помощь	21
1.2.5 Информирование медицинского специалиста, проводящего медобследование.	21
1.2.6 Письменный отчёт медицинского специалиста о результатах медобследования.	21
1.3 Сбор и анализ информации о негативных последствиях теплового воздействия	22
1.3.1 Определение	22
1.3.2 Требования	22
1.4 Предупреждение об опасности в рабочих зонах	22
1.4.1 Рабочие зоны, опасные в отношении воздействия нагревающего микроклимата	22
1.4.2 Информация об оказании помощи пострадавшим	22
1.4.3 Дополнительные требования к предупреждающим плакатам	22
1.5 Защитная спецодежда и СИЗ	22
1.6 Информирование и обучение рабочих	23
1.6.1 Требования к информированию и к обучению	23
1.6.2 Программы обучения	23
1.6.3 «Паспорт безопасности» для теплового воздействия	23
1.7 Защита рабочих от перегрева	24
1.7.1 Общие требования	24
1.7.2 Средства коллективной защиты	24
1.7.3 Организационно-гигиенические мероприятия	24
1.7.4 Программа реагирования на периоды повышенной температуры	25
1.8 Регистрация и хранение информации	25
1.8.1 Оценка поступления тепла извне и внутреннего теплообразования	25
1.8.2 Медицинское обследование	25
1.8.3 Сбор и анализ информации о негативных последствиях теплового воздействия	25
1.8.4 Регистрация случаев негативных последствий перегрева	25
1.8.5 Увеличение теплового воздействия	25
Глава 2. Введение	26
Глава 3. Уравнение теплового равновесия и теплообмен	28
3.1 Уравнение теплообмена	28
3.2 Виды теплообмена	28
3.2.1 Конвекция (С)	28
3.2.2 Излучение (R)	28
3.2.3 Испарение (E)	29
3.2.4 Теплопередача (K)	29
3.3 Влияние одежды на теплообмен	30
3.3.1 Теплоизолирующие свойства одежды; и теплоотдача (не за счёт испарения)	31
3.3.2 Газопроницаемость одежды и теплоотдача за счёт испарения	32
3.3.3 Физиологические проблемы, возникающие из-за носки одежды	33

Глава 4. Влияние нагревающего микроклимата на организм.	36
4.1 Физиологические реакции организма на нагревающий микроклимат	36
4.1.1 Центральная нервная система	36
4.1.2 Выполнение физической работы и работоспособность	37
4.1.3 Регулирование кровообращения	38
4.1.4 Выделение пота	39
4.1.4.1 Потеря воды и электролитов организмом, и влияние эндокринной системы	41
4.1.4.2 Влияние питания	42
4.1.4.3 Особенности работы пищеварительной системы в нагревающем микроклимате	42
4.1.5 Акклиматизация к нагревающему микроклимату	42
4.1.6 Другие факторы, влияющие на риск ухудшения здоровья рабочих.	44
4.1.6.1 Влияние возраста	44
4.1.6.2 Пол	46
4.1.6.3 Избыточный вес	46
4.1.6.4 Лекарства	47
4.1.6.5 (Влияние) заболеваний не теплового характера	49
4.1.6.6 Влияние индивидуальных отличий на способность переносить воздействие нагревающего микроклимата	49
4.1.7. Производственно-обусловленные заболевания, вызываемые воздействием нагревающего микроклимата	49
4.1.7.1. Отчёты об оценке опасности для здоровья на разных рабочих местах (<i>HNE Reports</i>)	49
4.1.7.2 Примеры несчастных случаев и заболеваний	53
4.2 Острые заболевания при воздействии нагревающего микроклимата	55
4.2.1 Тепловой удар	58
4.2.2 Отмирание тканей мышц (острый некроз, рабдомиолиз)	59
4.2.3 Тепловое утомление (истощение)	62
4.2.4 Тепловые судороги	62
4.2.5 Тепловой обморок	62
4.2.6 Тепловая сыпь	62
4.3 Хронические заболевания, вызванные воздействием нагревающего микроклимата	63
Глава 5. Измерение теплового воздействия	64
5.1 Внешние факторы	64
5.1.1 Температура воздуха, измеренная термометром с сухим чувствительным элементом	64
5.1.1.1 Жидкостно-стеклянные термометры	64
5.1.1.2 Термопары	65
5.1.1.3 Терморезисторы (термисторы)	65
5.1.1.4 Биметаллические термометры	65
5.1.2 Влажность	65
5.1.2.1 Давление водяного пара	65
5.1.2.2 Естественная температура влажного шарика термометра	65
5.1.2.3 Психрометрическая температура, измеряемая термометром с влажным чувствительным элементом	66
5.1.2.4 Температура точки росы	66
5.1.3 Скорость воздуха	66
5.1.3.1 Анемометры с лопатками (отклоняемыми, или на крыльчатке)	67
5.1.3.2 Термоанемометры	67
5.1.4 Тепловое излучение	67
5.1.4.1 Искусственное тепловое излучение (не солнечное) на рабочем месте	67
5.1.4.2 Естественное (солнечное) излучение	68
5.1.5 Психометрическая диаграмма	69
5.2 Предсказание погодных условий с помощью данных метеослужб	70
5.3 Внутреннее теплообразование при обмене веществ	70
5.3.1 Измерение энергии, полученной при обмене веществ	71
5.3.1.1 Прямое калориметрическое измерение	71
5.3.1.2 Не прямые калориметрические измерения	71
5.3.2 Оценка метаболического тепловыделения	71
5.3.2.1 Таблицы с данными о затратах энергии	72
5.3.2.2 Анализ выполняемой работы	72
Глава 6. Защита от перегрева	
6.1 Средства коллективной защиты	73
6.1.1 Регулирование теплопередачи конвекцией	73
6.1.2 Защита от теплопередачи излучением	73
6.1.3 Охлаждение работника за счёт испарения	74
6.2 Организационные мероприятия	75
6.2.1 Ограничение длительности воздействия (защита временем) и/или ограничение температуры	75
6.2.2 Уменьшение внутреннего теплообразования	76
6.2.3 Улучшение устойчивости работников к воздействию нагревающего микроклимата	77
6.2.4 Обучение и подготовка	78
6.2.5 Выявление способности работника выдерживать воздействие нагревающего микроклимата	79
6.2.6 Программа защиты работников от перегрева в периоды экстремально высокой температуры	79

6.3 Спецодежда и средства индивидуальной защиты от перегрева	81
6.3.1 Костюм с водяным охлаждением	81
6.3.2 Костюм с воздушным охлаждением	82
6.3.3 Жилеты с поглотителем тепла	82
6.3.4. СИЗ с испарительным охлаждением	84
6.3.5 Применение на практике и ограничения	84
6.3.6 Снижение работоспособности	85
Глава 7. Медицинские обследования	86
7.1 Каких работников охватывает медобследование	86
7.2 Управление программой	86
7.3 Составные части программы медобследования	86
7.3.1 Медосмотр	86
7.3.1.1 Предварительный медосмотр	86
7.3.1.2 Периодические медосмотры	88
7.3.1.3 Письменное заключение о результатах медосмотра	88
7.4 Медицинские осмотры – периодическая оценка собранной информации	88
7.5 Действия работодателя	89
7.6 Влияние перегрева на репродуктивную систему	89
7.6.1 Беременность	89
7.6.2 Фертильность (способность производить жизнеспособное потомство)	89
7.6.3 Тератогенность (нарушение нормального развития плода)	89
Глава 8. Обоснование рекомендуемых требований по защите от перегрева	91
8.1 Предельно допустимые уровни воздействия нагревающего микроклимата для акклиматизированных (ПДУа) и не акклиматизированных (ПДУна) работников	91
8.2 Оценка риска	94
8.3 Взаимосвязь между воздействием нагревающего микроклимата и последствиями.	95
8.4 Физиологический мониторинг стресса, создаваемого нагревающим микроклиматом	96
8.5 Рекомендации по защите от перегрева, сделанные разными организациями в США	97
8.5.1 Американская ассоциация государственных промышленных гигиенистов (ACGIH)	97
8.5.2 Работы Управления по охране труда (OSHA)	98
8.5.3 Американская ассоциация промышленных гигиенистов (AINA)	99
8.5.4 Разработки в вооружённых силах	99
8.5.5 Американский колледж спортивной медицины	100
8.5.6 Министерство труда и промышленности штата Вашингтон	100
8.5.7 Управление по охране труда на шахтах	101
8.6 Международные и зарубежные стандарты и рекомендации	102
8.6.1 Международная организация по стандартизации (ISO)	102
8.6.2 Канада	103
8.6.3 Япония	103
Глава 9. Показатели, используемые для оценки нагревающего микроклимата	104
9.1 Непосредственно измеряемые показатели	104
9.1.1 Температура, измеренная термометром с сухим чувствительным элементом	104
9.1.2 Температура, измеренная термометром с влажным чувствительным элементом	104
9.2 Вычисляемые показатели теплового воздействия	105
9.2.1 Действующая (эквивалентная) температура	105
9.2.2 Показатель температуры <i>HSI</i>	105
9.2.3 Степень увлажнённости кожи (<i>Skin Wettedness, %SWA</i>)	106
9.3 Эмпирические показатели	106
9.3.1 Эффективная температура (<i>ET, CET, ET* и P4SR</i>)	106
9.3.2 Комплексный показатель температуры <i>WBGT</i>	107
9.3.3 Температура, измеряемая термометром с влажным чувствительным элементом <i>WGT</i>	108
9.3.4 Универсальный показатель температуры <i>UTCI</i>	108
9.3.5 Психрометрическая диаграмма	109
9.4 Измерение показателей физиологического состояния организма	109
9.4.1 Частота сердечных сокращений во время работы и во время отдыха	109
9.4.2 Температура тела	110
9.4.2.1 Температура центра тела	110
9.4.2.2 Оральная температура (измеряется во рту)	111
9.4.2.3 Температура кожи	111
9.4.2.4 Ауральная температура (измеряется в ухе)	111
9.4.3 Обезвоживание	112
Глава 10. Какие проблемы следует изучить	115
Литература	120
Приложение А. Уравнение теплообмена	130
Приложение В. Диаграмма для оценки степени обезвоживания организма	136
Приложение С. Показатель температуры	137

Предисловие.

После принятия Конгрессом США [Закона об охране труда](#) (1970 г.) (*Occupational Safety and Health Act of 1970; Public Law 91-596*), был учреждён [Национальный институт охраны труда \(NIOSH\)](#). В соответствии с Законом 1970 г., Конгресс обязал Институт (проводить научные исследования, и на их основе разрабатывать) рекомендуемые требования по охране труда (*стандарты по охране труда, аналог СанПиН в СССР/РФ*); а также значения максимально допустимых пределов воздействий вредных химических веществ и физических факторов (*ПДК и ПДУ*) - таких, чтобы при воздействии вредных факторов на рабочих в течение всего трудового стажа (и не превышении указанных пределов), не происходило ухудшения здоровья, снижения работоспособности, или сокращения ожидаемой продолжительности жизни.

(Обобщая результаты своих и иных научных исследований, требования охраны труда разных организаций в США и других странах, Институт разрабатывает свои) рекомендации (*Criteria documents*). В этих рекомендациях приводится информация о вредном производственном факторе; о количестве рабочих, подвергающихся его воздействию; последствиях воздействия для здоровья; методах защиты и их эффективности. Разрабатывая такие научно-обоснованные рекомендации (*необязательные для выполнения работодателями – с юридической точки зрения*), Институт передаёт необходимую информацию государственным органам, ответственным за разработку нормативных документов (*уже обязательных для выполнения работодателем – юридически*), Управлению по охране труда и Управлению по охране труда при добыче полезных ископаемых (*Occupational Safety and Health Administration OSHA; и Mine Safety and Health Administration MSHA*) в Минтруда, а также специалистам в ВУЗах, промышленности, профсоюзам, общественным организациям, и другим людям, которые интересуются охраной труда.

Рекомендации Института по защите от нагревающего микроклимата были впервые разработаны в 1972 г., и пересмотрены (первый раз) в 1986 г. В настоящем документе (2016, второй пересмотр) учтено большое количество новой научной информации о воздействии нагревающего микроклимата. Это позволило обновить информацию о заболеваемости и несчастных случаях со смертельным исходом, риске негативных последствий для здоровья, физиологическом влиянии перегрева, влиянии носки одежды на теплообмен организма и окружающей среды, рекомендации по защите и профилактике ухудшения здоровья.

Работа в условиях нагревающего микроклимата может привести к несчастным случаям, смерти, заболеваниям; и снижает производительность труда. Эти опасности могут возникнуть, когда рабочие трудятся в условиях повышенной температуры и/или воздействия теплового излучения. Ухудшение здоровья, вызванное перегревом, может включать в себя тепловой удар, тепловое утомление, обморок при перегреве, тепловые судороги, тепловую сыпь; или даже смерть. Нагревающий микроклимат увеличивает риск несчастных случаев – из-за запотевания рук; конденсации влаги на смотровых стёклах защитных очков (лицевых частей СИЗОД); из-за вызванного им головокружения.

Институт настаивает на том, чтобы работодатели использовали этот документ, и распространяли его среди рабочих. Также Институт просит объединения специалистов и профсоюзные организации информировать своих членов об опасности при работе в условиях нагревающего микроклимата.

Институт признателен тем экспертам, заинтересованным сторонам и общественным организациям, чьи комментарии помогли повысить качество настоящего документа.

Джон Говард, доктор медицинских наук (*John Howard, MD*), Директор NIOSH
Центры по профилактике и сдерживанию заболеваний
(*Centers for Disease Control and Prevention CDC*)

Резюме.

Воздействие нагревающего микроклимата может привести к несчастным случаям, смерти, и вызвать снижение производительности труда. Поэтому Институт изучил новую научную информацию о воздействии нагревающего микроклимата, и пересмотрел свои рекомендации по защите рабочих от перегрева *Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Hot Environments* [[NIOSH 1986a](#)]. Предыдущий пересмотр рекомендаций произошёл в 1986 г. Однако в последние годы (в том числе под влиянием работ по устранению аварии на нефтяной платформе в Мексиканском заливе в 2010 г.) возникли вопросы о необходимости пересмотра этого документа с учётом новой научной информации. Кроме того, есть свидетельства того, что с воздействием нагревающего микроклимата сталкиваются всё больше и больше работников (особенно тех, кто трудится ближе к экватору и живёт в густонаселённых регионах) где ожидается рост температуры из-за глобального потепления [[Lucas et al. 2014](#)]. В пересмотренном документе приведена новая информация о физиологических последствиях воздействия нагревающего микроклимата; обновлена информация об исследованиях, проведённых по затронутым в документе темам (например, о влиянии употребления кофе); информация для пересмотра определения «тепловой удар» (*heat stroke*) и соответствующих симптомах; и обновлена информация о мониторинге за физиологическим состоянием работников, средствами индивидуальной защиты и одеждой, которые могут использоваться для сохранения здоровья работающих в нагревающем микроклимате.

Перегрев организма работника может произойти при воздействии нагревающего микроклимата и при работе в помещении, и при работе вне помещений, и даже при выполнении тяжёлой физической работы. Воздействие нагревающего микроклимата может привести к несчастным случаям и профессиональным заболеваниям, включая тепловой удар, тепловое утомление, обмороку при перегреве, тепловым судорогам, тепловой сыпи (*heat stress, including heat stroke, heat exhaustion, heat syncope, heat cramps, heat rashes*); или даже к смерти. Перегрев также способствует увеличению травматизма (из-за запотевания пальцев; ухудшения прозрачности из-за конденсации влаги на защитных очках, головокружения, ухудшения способности логически мыслить из-за ухудшения работы головного мозга). Касание нагретых поверхностей, воздействие пара и огня может привести к ожогам и другим негативным последствиям. Воздействию нагревающего микроклимата могут подвергаться те, кто работает под открытым небом; и работающие в помещениях, например – пожарники, пекари, фермеры, строители, горнорабочие (особенно те, кто трудится в карьерах на поверхности), работники, выполняющие ремонт котлов, и работающие на заводах.

В 2011 г. Институт и OSHA опубликовали информационный бюллетень (*infosheet*) о проблемах со здоровьем, возникающих при работе в нагревающем микроклимате. При его совместном создании некоторые рекомендации были обновлены (например, относящиеся к питьевому режиму). Кроме того, были (более) тщательно определены факторы, увеличивающие риск ухудшения здоровья, и симптомы этого ухудшения. В 2013 г. Институт опубликовал небольшую (4 страницы) памятку (*Preventing Heat-related Illness or Death of Outdoor Workers* [DHHS \(NIOSH\) Publication Number 2013-143](#) [[NIOSH 2013](#)]). Работающие вне помещений могут подвергаться перегреву, как из-за выполнения тяжёлой физической работы, так и при воздействии со стороны окружающей среды.

Разделы документа, относящиеся к тепловому балансу организма, в основном остались без изменений (но было внесено изменение, относящееся к изолирующим свойствам одежды – в соответствии с новыми рекомендациями ИСО). Проведённые недавно исследования дали новую информацию о биологических эффектах перегрева – влиянии его на центральную нервную систему, регулирование кровообращения, механизм потовыделения, баланс воды и электролита в организме, и влияние питания. Появилась новая информация о факторах, увеличивающих риск для здоровья при воздействии нагревающего микроклимата. (Например) исследование [[Kenny et al. 2010](#)] показало, что у тех, кому за 60, этот риск выше. Были проведены дополнительные исследования для оценки влияния пола работников на потерю электролита при потовыделении; на общее потовыделение всего тела; и влияние беременности на способность переносить воздействие нагревающего микроклимата [[Meyer et al. 1992](#); [Navy Environmental Health Center 2007](#); [Gagnon and Kenny 2011](#)]. Так как в США избыточный вес работников и беременность затрагивают всё больше и больше людей, то теперь это становится серьёзной проблемой при сбережении здоровья рабочих. Воздействие нагревающего микроклимата на людей с избыточным весом и на беременных создаёт повышенный риск ухудшения здоровья (по сравнению с худыми и не беременными людьми) [[Henschel 1967](#); [Chung and Pin 1996](#); [Kenny et al. 2010](#)]. На риск ухудшения здоровья при воздействии нагревающего микроклимата также влияют другие факторы – приём наркотических веществ и лекарств, включая кокаин, алкоголь, лекарственные препараты (принимаемые по указанию врача), и кофеин. Длительное время считали, что употребление кофе оказывает негативный (мочегонный) эффект, способствуя обезвоживанию организма, и тем самым увеличивая нагрузку на сердечно-сосудистую систему [[Serafin 1996](#)]. Но более поздние исследования показали, что влияние употребления кофе на переносимость нагревающего микроклимата может быть гораздо слабее, чем это считалось ранее [[Roti et al. 2006](#); [Armstrong et al. 2007a](#); [Ely et al. 2011](#)].

Также за последние годы изменилось определение того, что расценивать тепловым ударом (*heat stroke*). Теперь тепловым ударом считают (*в США*) или классический тепловой удар, или же тепловой удар, возникающий при выполнении тяжёлой физической работы (в производственных условиях последнее случается чаще). У этих двух видов теплового удара могут отличаться признаки (индивидуальные особенности рабочего, например – возраст и состояние здоровья; характер выполняемой работы – сидячая или тяжёлая физическая; симптомы – наличие или отсутствие потовыделения) [[DOD 2003](#)]. Необходимо провести повторные инструктажи, особенно в отношении симптомов. Многие рабочие были (ошибочно) проинструктированы, что до тех пор, пока потовыделение не прекратилось, риск теплового удара у них невысокий.

Информация об измерении тепловой нагрузки в основном осталась без изменений. Но была добавлена информация о биметаллических термометрах, и психрометрической диаграмме. Эта диаграмма наглядно показывает взаимосвязь между температурой, измеренной «сухим» термометром; измеренной «влажным» термометром; относительной влажностью; давлением паров воды; и температурой точки росы. Такая диаграмма особенно полезна для оценки (тепловых) условий (работы), выполняемой в помещениях. Кроме того, для вычисления индексов (показателей) тепловой нагрузки по показаниям метеостанций могут использоваться современные компьютерные программы и математические модели.

(Негативное) воздействие нагревающего микроклимата можно уменьшить, снизив внутреннее (метаболическое, при обмене веществ) теплообразование в организме, и/или изменив его теплообмен с окружающей средой за счёт конвекции, излучения или испарения. В контролируемых (производственных) условиях эти три вида теплопередачи можно изменить, используя изменение вентиляции, подачу более холодного окружающего (атмосферного) воздуха в воздухоохладитель; снижение температуры источников теплового излучения; экранирование рабочих; использование кондиционеров. Для защиты от чрезмерного перегрева также можно ограничивать длительность нахождения сотрудников в условиях нагревающего микроклимата (расписание режима работа/отдых; уменьшение внутреннего (метаболического) теплообразования в организме; повышение выносливости организма при воздействии нагревающего микроклимата (акклиматизация). Хотя большинство здоровых рабочих могут акклиматизироваться к нагревающему микроклимату в течение какого-то периода времени, некоторые рабочие могут сохранить свою неспособность переносить такое негативное воздействие. Эта неспособность может быть связана со многими факторами; и для определения этой особенности организма у конкретного рабочего можно использовать проверку (особенно после случаев «теплового утомления» или теплового удара, случившегося при выполнении тяжёлой физической работы) [[Moran et al. 2007](#)]. Для сбережения здоровья рабочих может дополнительно использоваться: разработка программы предупреждения при воздействии нагревающего микроклимата, и использование средств индивидуальной защиты (СИЗ) от перегрева (с искусственным охлаждением) и спецодежды (с охлаждением с помощью проточной воды; с помощью подачи воздуха; охлаждающие жилеты и элементы одежды, обеспечивающие испарительное охлаждение после предварительного увлажнения).

Работодатели должны разработать и выполнять программу медицинского мониторинга, направленную на предотвращение негативных исходов и выявление ранних признаков (симптомов), которые могут появляться при развитии заболеваний, возникающих при воздействии нагревающего микроклимата. Такая программа должна включать в себя как предварительные, так и периодические медицинские осмотры; и план наблюдения за состоянием рабочих во время работы.

Важно, чтобы работодатели обеспечили проведение инструктажей по охране труда до начала работы в условиях нагревающего микроклимата - как для рабочих, так и для руководителей нижнего звена (бригадиров и т.п.). Такой инструктаж должен включать в себя информацию о симптомах ухудшения здоровья, вызванного перегревом; рекомендации по правильному питьевому режиму (например – пить 1 стакан воды (*8 oz. - 8 жидких унций, ~236 мл*) или какого-то напитка каждые 15-20 минут); правила ухода и использования теплозащитной спецодежды и СИЗ; влияние различных дополнительных факторов (употребление алкоголя, наркотиков и лекарств; беременность и т.п.) на способность переносить воздействие нагревающего микроклимата; важность постепенного привыкания к этим условиям (акклиматизация); информирование о симптомах (ухудшения здоровья); и оказание первой помощи. Кроме того, руководителям нужно объяснить, как следить за сообщениями о прогнозах погоды.

(При разработке этого) документа были повторно изучены (разработанные ранее) рекомендуемые Институтом значения Предельно-Допустимых Уровней (ПДУ, *Recommended Alert Limits, RALs*; и *Recommended Exposure Limits, RELs*). Оказалось, что разработанные ранее ПДУ для не акклиматизированных рабочих (*далее в тексте они будут называться ПДУ_{на} - прим.*); и ПДУ для акклиматизированных рабочих (*далее в тексте они будут называться ПДУ_а - прим*) – обеспечивают необходимый уровень защиты для большинства рабочих. Не было найдено никакой информации, которую можно было бы взять за основу при пересмотре этих значений. У большинства здоровых рабочих, подвергающихся воздействию нагревающего микроклимата и / или выполняющих физическую работу, при воздействии нагревающего микроклимата, меньшем ПДУ_{на} и ПДУ_а - не произойдёт ухудшения здоровья.

Рекомендуемые значения ПДУ, разработанные для применения при оценке воздействия по температуре, измеряемой термометром с «влажным» чувствительным элементом, схожи со значениями, предлагаемыми Управлением по охране труда (OSHA), Ассоциацией американских государственных промышленных гигиенистов (ACGIH), Американской ассоциацией по промышленной гигиене (AIHA), и Международной организацией по стандартизации (ИСО). Также для оценки воздействия нагревающего микроклимата на рабочих начал приобретать признание [Универсальный температурный индекс микроклимата](#) (*Universal Thermal Climate Index, UTCI*), разработанный в 2009 г. [[Blazejczyk et al. 2013](#)].

При рецензировании этого документа (с 2014 г.) были высказаны опасения в связи с тем, что научных данных для обоснования (разработанных) Институтом максимально-допустимых кратковременных предельных значений (*ceiling limits*) акклиматизированных и не акклиматизированных рабочих недостаточно. Однако многие акклиматизированные рабочие живут и работают при температуре, превышающей эти предельные значения – без каких-то негативных последствий для здоровья. Последующее обсуждение научного обоснования этих максимально-допустимых кратковременных значений побудило исключить их из документа.

Хотя проведённые научные исследования дали достаточно много новой информации после предыдущего пересмотра документа, но они дали ответы не на все вопросы, и необходимость в проведении дополнительных исследованиях сохранилась. Появились две новые области (для таких исследований), которые могут расти: это влияние на рабочих изменения климата; и то, как воздействие нагревающего микроклимата оказывает влияние на здоровье рабочих при сочетанном воздействии токсичных химических веществ. Глобальное изменение климата может повлиять на степень воздействия нагревающего микроклимата на рабочих (на серьёзность последствий воздействия; на частоту случаев ухудшения здоровья и на распределение этих случаев), но неизвестно, в какой степени скажется это влияние [[Schulte and Chun 2009](#); [Schulte et al. 2015](#)]. Токсикологические исследования показали, что работа в условиях нагревающего микроклимата может влиять на поступление химических веществ в организм. Большинство информации по этой теме было получено при проведении экспериментов на животных; и поэтому необходимо лучше узнать механизм и роль микроклимата при воздействии химических веществ на здоровье людей [[Gordon 2003](#); [Gordon and Leon 2005](#)]. По мере изменения климата потребность в такой информации будет возрастать [[Leon 2008](#)].

В этот пересмотренный документ, помимо новой научной информации, добавлены дополнительные ресурсы для обучения и тренировки рабочих и работодателей. В [приложении В](#) приводятся сведения об использовании диаграмм цвета мочи, сама диаграмма, и дополнительная информация. В [приложении С](#) приводятся значения Индекса температуры Метеослужбы США, а также модифицированные (соответствующие значениям этого индекса) уровни риска и мероприятия по сбережению здоровья рабочих, разработанные Управлением по охране труда (OSHA).

Институт рекомендует работодателям разработать и выполнять мероприятия для сбережения здоровья рабочих, подвергающихся воздействию нагревающего микроклимата (*Примечание: Институт юридически не имеет права требовать это от работодателей, и контролировать выполнение ими таких требований. Право разрабатывать юридически обязательные для выполнения требования, и контролировать их выполнение, есть у Управления по охране труда; а это управление (OSHA) использует научно-обоснованные рекомендации Института при разработке требований. А OSHA такие требования пока не принял – вообще. Управление прямо предупреждает работодателя, что конкретных требований по защите рабочих от нагревающего микроклимата нет; и что отсутствие требований - не снимает с работодателя (общую) ответственность за создание безопасных и гигиеничных условий труда для всех работников. По медобследованию и по обеспечению работников пригодной для питья водой – законы есть.*). Работодатель обязан предотвратить сочетанное воздействие нагревающего микроклимата и внутреннего (метаболического) теплообразования на акклиматизированных и не акклиматизированных рабочих, превышающее соответствующие значения ПДУна и ПДУа (*applicable RALs/REls*), которые приводятся на [фиг. 8-1](#) и [8-2](#). Работодатель обязан следить за (метеорологическими) условиями работы; и учитывать внутреннее (метаболическое) теплообразование (то есть – какая работа выполняется, лёгкая, средней тяжести, или тяжёлая). В зависимости от уровня риска, для сбережения здоровья рабочих может потребоваться проведение медико-санитарных мероприятий; использование защитной спецодежды и СИЗ. При необходимости выполнения работы в условиях нагревающего микроклимата, рекомендуется проведение медобследований и мониторинг физиологического состояния рабочих. Работодатели, руководители нижнего звена, и рабочие, должны пройти обучение для того, чтобы они (хорошо) знали: симптомы профессионально-обусловленных заболеваний, развивающихся при воздействии нагревающего микроклимата; правильный питьевой режим; обеспечить уход за защитной спецодеждой и СИЗ от перегрева (и их правильное, своевременное применение); влияние разных факторов на способность переносить воздействие нагревающего микроклимата (употребление алкоголя и наркотиков, приём лекарств, беременность и др.); важность постепенного привыкания (акклиматизации); необходимость своевременно сообщать о появлении симптомов ухудшения здоровья; оказание первой помощи.

При приёме на работу новых сотрудников, и при возвращении из отпуска (после перерыва) опытных сотрудников, работодатель обязан (разработать и выполнять) план постепенного привыкания, акклиматизации. В противном случае, недостаточное привыкание к воздействию нагревающего микроклимата может стать главной причиной развития профессионально обусловленных заболеваний и несчастных случаев со смертельным

исходом. Институт рекомендует работодателям обеспечить рабочих питьевой водой (с температурой ниже 15°C / 59°F) поблизости от рабочего места, и поощрять их пить её, в соответствии с правильным питьевым режимом. При работе в условиях нагревающего микроклимата менее 2 часов, и выполнении физической работы средней тяжести, (нужно) выпивать 1 стакан воды каждые 15-20 минут. А при работе в этих условиях (приводящих к потовыделению) в течение многих часов следует пить специальные спортивные напитки, содержащие сбалансированное количество электролитов (теряемых организмом при потовыделении). Кроме того, работодатель обязан разработать и обеспечить выполнение режима труда и отдыха (в условиях не нагревающего микроклимата – помещения с кондиционером; или в тени) для отдыха рабочих и для удаления из организма излишнего тепла, накопившегося во время периода работы. Эти мероприятия предназначены для сбережения здоровья работающих в условиях нагревающего микроклимата на различных рабочих местах.

Сокращения.

Ab - *Area, Body Surface* – площадь поверхности тела;

A_{Db} - *Area, DuBois* – площадь поверхности тела, вычисляемая по формуле Дюбуа: $A_{Db} = 0,007184 \times M^{0,425} \times H^{0,725}$, где M – вес (кг), H – рост (в см);

Ar - *Area, Effective Radiating* – площадь поверхности тела, которая участвует в теплообмене с окружающими предметами за счёт излучения (м²);

As - *Area, Solar Radiation* – площадь проекции тела, перпендикулярная направлению на солнце (м²);

Aw - *Area, Wetted* – площадь поверхности кожи, увлажнённой (потом);

Aw/SWA_{Db} × 100 - *Wettedness, Percent of Skin* – доля (%) кожи, покрытая потом;

ACGIH - *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* - [Американская ассоциация государственных промышленных гигиенистов](#), объединяет гигиенистов и людей, работающих в промышленности - тех, чья деятельность связана с профилактикой профессиональных заболеваний;

ACSM - *American College of Sports Medicine* – Американский колледж спортивной медицины;

ADH - *Antidiuretic Hormone* - [антидиуретический гормон](#), вазопрессин. Этот гормон регулирует количество воды в теле, повышая при необходимости концентрацию мочи;

AIHA - *American Industrial Hygiene Association* – Ассоциация американских промышленных гигиенистов, некоммерческая (общественная) организация, объединяющая специалистов (*из США и других стран*) в областях охраны труда, техники безопасности, токсикологии и других, связанных с обеспечением защиты рабочих от вредных и/или опасных производственных факторов;

ATP - *Adenosine Triphosphate* - [аденозинтрифосфат](#), универсальный источник энергии для всех биохимических процессов в организме;

BLS - *Bureau of Labor Statistics* – Отдел статистики в Министерстве труда США; собирает, обрабатывает, анализирует и публикует информацию по экономическим вопросам; вопросам занятости и др.;

BMI - *Body Mass Index* – [индекс массы тела](#), косвенный показатель, который может использоваться для оценки наличия избыточной массы. Вычисляется по формуле: $BMI = M / H^2$, где M – вес (кг), H – рост (в метрах);

bpm - *Beats Per Minute* – частота сердечных сокращений, ударов в минуту;

BUN - *Blood Urea Nitrogen* – содержание азота мочевины в крови, в норме от 6 до 20 мг мочевины на 100 мл крови;

°C - *Degrees Celsius* – [градусы Цельсия](#); пересчёт температур: $T (C) = [T(F) - 32] \times 5 / 9$, или [онлайн](#).

C – *Convection* – [конвекция](#);

Cal/OSHA - *California OSHA* – отделение [Управления по охране труда](#) (OSHA) в Калифорнии;

CDC - *Centers for Disease Control and Prevention* – [Центры по профилактике и сдерживанию заболеваний](#) (в Министерстве здравоохранения и социальных служб США);

CEТ - *Corrected Effective Temperature* - показатель температуры, учитывающий влажность и скорость движения воздуха. Для учёта теплопередачи за счёт излучения может определяться не с помощью термометра с влажным чувствительным элементом, а с помощью термометра с зачёрнённым чувствительным элементом.

СК - *Creatine Kinase* - [креатинкиназа](#), фермент, который расходуется организмом при повышенных физических нагрузках;

CNS - *Central Nervous System* – [центральная нервная система](#);

СРК - *Creatine Phosphokinase* - фермент, который расходуется организмом при повышенных физических нагрузках;

СО - *Cardiac Output* – объём крови, прокачиваемый сердцем (конкретнее, правым или левым желудочком) за единицу времени;

CSF - *Cerebrospinal Fluid* – [спинномозговая жидкость](#);

DIC - *Disseminated Intravascular Coagulation* - [ДВС-синдром](#) (диссеминированное внутрисосудистое свёртывание, коагулопатия потребления, тромбгеморрагический синдром) — нарушенная свёртываемость крови по причине массивного освобождения из тканей [тромбопластических веществ](#);

DOD - *Department of Defense* – [Министерство обороны \(США\)](#);

-E - *Evaporative Heat Loss* – это [теплоотдача](#) за счёт [испарения](#);

E – *Evaporation* – [испарение](#);

ECG – *Electrocardiogram* – [электрокардиограмма](#) (ЭКГ);

E_{max} - *Maximum Water Uptake* - максимальная скорость, с которой влага (например - пот) может испаряться в окружающий воздух при имеющихся метеоусловиях (температура и др.), кг/час, или Вт/м²;

E_{req} - *Amount of Sweat Evaporated to Maintain Body Heat Balance* – количество пота, которое должно (теоретически) испариться для того, чтобы обеспечить такую отдачу тепла в окружающее пространство, чтобы организм сохранял постоянную температуру (не перегревался);

EH - *Extreme Heat Event*, (в данном случае ~ *Heat wave*) - период аномально высокой температуры воздуха (*жары*), создающая угрозу для жизни и здоровья людей;

EMS – *Emergency Medical Services* – название «*скорой помощи*» в США;

ET - *Effective Temperature* - комплексный показатель (учитывающий температуру воздуха, его влажность и скорость движения), позволяющий оценить субъективное ощущение человека (тепло/холодно);

°F - *Degrees Fahrenheit* – *градусы Фаренгейта*; перевод: Температура [град. Цельсия] = $(5 / 9) \times$ (Температура [град. Фаренгейта] – 32); Температура [град. Фаренгейта] = $32 + (9 / 5) \times$ (Температура [град. Цельсия]); или [онлайн](#);

fcl - *Reduction Factor for Heat Exchange due to Clothing* – поправочный коэффициент, используемый для учёта уменьшения теплообмена между телом рабочего и окружающей средой из-за влияния одежды;

g – *Gram* – грамм (1/1000 кг);

GI – *Gastrointestinal* – желудочно-кишечный;

h – *Hour* – час;

H - *Body Heat Content* – количество тепловой энергии, накопленное телом работника;

hc - *Convective Heat Transfer Coefficient* – коэффициент теплообмена за счёт конвекции;

he - *Evaporative Heat Transfer Coefficient* – коэффициент теплообмена за счёт испарения;

hr – *Radiative Heat Transfer Coefficient* - коэффициент теплообмена за счёт излучения;

hr+c - *Radiative + Convective Heat Transfer Coefficient* – (суммарный) коэффициент теплообмена за счёт конвекции и за счёт излучения;

HAP - *Heat Alert Program* – программа профилактики несчастных случаев и ухудшения здоровья в периоды экстремально высокой температуры воздуха;

HNE - *Health Hazard Evaluation* ~ «американский вариант» аттестации рабочих мест с целью выявления опасных и вредных производственных факторов (для дальнейшего обоснованного планирования мероприятий по их устранению).

HR - *Heart Rate* – частота сердечных сокращений в минуту, *пульс*;

HSI - *Heat Stress Index* - комплексный показатель, учитывающий условия работы в нагревающем микроклимате и способность организма их выдержать. Равен отношению количества пота, которое должно испариться для поддержания безопасной температуры тела, к количеству пота, которое может реально испариться, см. [раздел 9.2.2.](#)

HTT - *Heat Tolerance Test* – проверка способности людей выдержать воздействие нагревающего микроклимата, см. [раздел 6.2.5.](#)

Ia - *Thermal Insulation, Still Air* – теплоизолирующие свойства слоя неподвижного воздуха (находящегося под одеждой);

Icl - *Thermal Insulation, Clothing* – теплоизолирующие свойства одежды (одного слоя);

Icl+Ia - *Thermal Insulation, Effective* – суммарные теплоизолирующие свойства самой одежды и неподвижного слоя воздуха под ней;

Im - *Moisture Permeability Index of Clothing* – коэффициент паропроницаемости одежды (ткани) для паров воды (безразмерный); равен 0 для газонепроницаемой изолирующей одежды, и равен 1 (максимальное значение) если одежда позволяет испаряться поту так, как будто её нет (например, тонкая проницаемая одежда + ветер);

im/clo - *Permeability Index-Insulation Ratio* – отношение паропроницаемости одежды к её теплоизолирующим свойствам; это отношение более точно определяет способность одежды препятствовать теплоотдаче за счёт испарения, чем одна лишь паропроницаемость;

ISO - *International Organization for Standardization* - *Международная организация по стандартизации*;

K – *Conduction* – *теплопроводность*, теплопередача за счёт переноса тепла при прямом контакте тел (сред) с разной температурой;

kcal – *Kilocalories* – *килокалории*, единица измерения количества теплоты (внесистемная), 1 ккал \approx 4,19 кДж;

kg – *Kilogram* – *килограмм*;

kJ – *Kilojoule* – *килоджоуль*;

L – *Liter* – *литр*;

M – *Metabolism* – *обмен веществ*, метаболизм;

Met - *Unit of metabolism* – единица измерения интенсивности обмена веществ, 1 Met = 50 ккал / (м²×час);

min – *Minute* – *минута*;

mL – *milliliter* - миллилитр = 1/1000 от 1 литра;

mmHg - *Millimeters of Mercury* – *миллиметры ртутного столба*, внесистемная единица измерения давления; 1 мм рт. ст. \approx 133,3 Па;

MR - *Metabolic Rate* – количество химической энергии, преобразуемой в организме в процессе обмена веществ в полезную работу и тепло за единицу времени;

MRT - *Mean Radiant Temperature* – такая постоянная (одинаковая) температура окружающей среды, в которой теплообмен между телом человека и этой окружающей средой (именно за счёт излучения) будет равным реальному теплообмену между телом человека и реальной окружающей его средой (именно за счёт излучения);

ms⁻¹, m/s - *Meters per Second* – скорость, м/с;

MSHA - *Mine Safety and Health Administration* – [Управление по безопасности и охране труда в горной промышленности](#) (в составе Минтруда США);

Na – *Sodium* – [натрий](#);

NIOSH - *National Institute for Occupational Safety and Health* – [Национальный институт охраны труда](#), входит в состав Центров по профилактике и сдерживанию заболеваний (CDC) в Министерстве здравоохранения и социальных служб США;

NFPA - *National Fire Protection Association* – [Национальная ассоциация по защите от пожаров](#), некоммерческая организация, занимающаяся разработкой стандартов безопасности от пожаров, электрической безопасности, и в строительстве;

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration* – [Национальное управление океанических и атмосферных исследований](#) (в составе Министерства торговли США), занимается метеорологическими и геодезическими исследованиями и прогнозами;

NSAIDs - *Nonsteroidal Anti-inflammatory Drugs* - [нестероидные противовоспалительные препараты](#), обезболивающие, жаропонижающие и противовоспалительные лекарства;

OEL - *Occupational Exposure Limit* - [предельно допустимый уровень воздействия](#) (вредного физического фактора - в данном случае);

OSHA - *Occupational Safety and Health Administration* – [Управление по охране труда](#) в Минтруда США, созданное в соответствии с Законом об охране труда 1970 г. Разрабатывает требования к работодателю, юридически обязательные для выполнения; и контролирует выполнение их;

Pa - *Pressure, atmospheric* – [атмосферное давление](#) воздуха (~101 325 Па; ~760 мм. рт. ст.);

Psk - *Pressure, Wetted Skin* - давление паров воды на поверхности влажной (вспотевшей) кожи, которое принимается равным 42 мм рт. столба (5,6 кПа) при температуре кожи 35°C (95°F);

Psk,s - *Pressure, Skin Temperature* – давление паров воды при температуре кожи 36°C и относительной влажности 100%; принимается равным 5,9 кПа;

PCr - *Creatine Phosphate* - [креатинфосфорная кислота](#), поддерживает постоянную концентрацию аденозинтрифосфата, то есть является источником энергии для мышц и мозга;

PHEL - *Physiological Heat Exposure Limit* – максимально допустимая длительность работы в условиях известного нагревающего микроклимата, разработана для ВМС США, [ссылка](#).

PPE - *Personal Protective Equipment* – [средства индивидуальной защиты](#) (СИЗ);

R – *Radiation* – [излучение](#) (тепловое);

RAL - *Recommended Alert Limit* – рекомендуемое Институтом (NIOSH) значение предельно-допустимого «уровней реагирования» вредного физического фактора. Эта величина, вместе с ПДУ, используется для регулирования требований к работодателю в части реагирования на чрезмерное и ожидаемое чрезмерное воздействие вредного физического фактора в производственных условиях США. *Alert Limit* меньше ПДУ, и (превышение/не превышение) RAL определяет то, какие меры (по защите рабочих) и с какой периодичностью работодатель должен выполнять. В настоящем документе RAL обозначается как ПДУ_{на} – предельно допустимый уровень для не акклиматизированных (не привыкших к перегреву) рабочих;

RAAS - *Renin-Angiotensin-Aldosterone System* - гормональная [система, регулирующая](#) давление крови и объём крови в организме;

REL - *Recommended Exposure Limit* – предельно допустимая концентрация, или предельно допустимый уровень (воздействия вредного вещества или вредного физического фактора), разрабатываемый Национальным институтом охраны труда (рекомендуемый); в настоящем документе обозначается как ПДУ_а - предельно допустимый уровень для акклиматизированных (привыкших к перегреву) рабочих;

RER - *Respiratory Exchange Ratio* – отношение между количеством углекислого газа (образующегося при обмене веществ), и количеством потреблённого кислорода (обычно человек вдыхает больше кислорода, чем используется при образования углекислого газа);

RH - *Relative Humidity* – [относительная влажность воздуха](#);

S - *Body Heat Storage* – изменения количества тепловой энергии, накопленной телом работника;

SACHS - *Standards Advisory Committee on Heat Stress* – Комитет по нагревающему микроклимату (США);

SCBA - *Self-contained Breathing Apparatus* – [Автономный дыхательный аппарат](#);

SR - *Sweat Produced Per Unit Time* – потовыделение за единицу времени;

SV - *Stroke Volume* – объём крови, прокачиваемый левым желудочком сердца за одно сокращение, у здорового человека при массе тела 70 кг - примерно 70 мл;

SWA - *Area of Skin Wet with Sweat* – площадь кожи, покрытая потом;

ta - *Temperature, Ambient* – температура окружающей среды (воздуха около тела человека);

tadb - *Temperature, Adjusted Dry Bulb* – скорректированная температура, измеряется термометром, чувствительный элемент которого защищён от прямого воздействия солнечного света (излучения);

tb - *Temperature, Mean Body* – средняя температура тела;

tcr - *Temperature, Core body* – температура центра тела;

tdp - *Temperature, Dew-point* – температура точки росы, то есть такая, при которой влажность достигает 100%, и начинается конденсация воды;

tg - *Temperature, Globe* – (температура шарика (по [ГОСТ Р ИСО 7243-2007](#)), измеренная термометром, сухой чувствительный элемент которого находится внутри, в центре тонкостенного полого зачерненного медного шара);

tnwb - *Temperature, Natural Wet Bulb* – (естественная температура влажного шарика термометра, по [ГОСТ Р ИСО 7243-2007](#)) температура, измеренная термометром с влажным чувствительным элементом, который находится в условиях, которые соответствуют характерной скорости движения воздуха, без принудительного обдува, (*a twb – с принудительным обдувом*);

to - *Temperature, Operative* – действующая температура, температура в таком помещении с чёрными стенами, при которой теплообмен человека с окружающей средой за счёт конвекции и излучения будет таким же, что и в конкретных производственных условиях;

tor - *Temperature, Oral* – температура тела человека (оральная), измеренная во рту под языком в течение 3-5 минут;

tr - *Temperature, Radiant* – комплексный показатель температуры на поверхности тела (предмета), вычисляется с учётом температуры тел, от которых исходит излучение; температуры и скорости воздуха;

tr - *Temperature, Mean Radiant* – средняя температура окружающих поверхностей, с которыми происходит теплообмен за счёт излучения;

tre - *Temperature, Rectal* – ректальная температура тела, измеряемая в **прямой кишке** на расстоянии 10 см;

tsk - *Temperature, Skin* – температура кожи, измеряемая термометром при размещении чувствительного элемента на поверхности тела;

tsk - *Temperature, Mean Skin* – средняя температура кожи, полученная путём замеров температуры в разных местах, и последующим пересчётом с учётом площади поверхности разных частей тела;

tty - *Temperature, Tympanic* – температура барабанной перепонки, приблизительно измеряется при размещении датчика в канале уха;

twb - *Temperature, Psychrometric Wet Bulb* - минимальная температура, которую можно получить за счёт испарения воды в окружающий воздух; измеряется термометром с влажным чувствительным элементом, при принудительном обдувании воздухом (*температура tnwb – без принудительного обдува*);

TLV[®] - *Threshold Limit Value* – Предельно допустимые концентрации (химических веществ), или Предельно допустимые уровни (физических факторов), разрабатываемые Американской ассоциацией государственных промышленных гигиенистов ([ACGIH](#));

TWA - *Time Weighted Average* – усреднённая по времени величина воздействия вредного фактора, в данном случае физического. Усреднение может выполняться за разные периоды – за 8-часовую смену; или за другой подходящий период времени (для воздействия нагревающего микроклимата – за час);

ULPZ - *Upper Limit of the Prescriptive Zone* – верхняя граница допустимой области деятельности;

UTCI - *Universal Thermal Climate Index* – комплексный показатель температуры (см. [раздел 9.3.4](#)), учитывающий физиологическую реакцию человека на окружающие условия.

Va - *Air Velocity* – скорость воздуха;

Ve - *Minute Ventilation* – объём воздуха (или газа), вдыхаемый (или выдыхаемый) за 1 минуту;

VO₂ max - *Maximum Oxygen Consumption* – максимальное потребление кислорода, количество кислорода, усваиваемое человеком за 1 минуту;

w - *Wettedness, Skin* – доля всей кожи, покрытая потом;

W – *Work* – работа;

WBGT - *Wet Bulb Globe Temperature* – комплексный показатель температуры окружающей среды, учитывающий как температуру воздуха, так и влажность, и теплообмен за счёт излучения и конвекции.

WGT - *Wet Globe Temperature* – температура, измеренная термометром с увлажнённым чувствительным элементом, который обдувается воздухом; учитывает охлаждение за счёт испарения (которое зависит от относительной влажности воздуха);

WHO - *World Health Organization* – Всемирная организация здравоохранения ([ВОЗ](#)).

Словарь.

Акклиматизация (*Acclimatization*): изменения в физиологическом состоянии организма, находящиеся в пределах его нормальной адаптации к условиям внешней среды, и развивающиеся при воздействии нагревающего микроклимата в течение нескольких дней (подряд). Эти изменения являются «тренировкой», позволяющей организму успешнее сопротивляться негативному воздействию перегрева; они (при одинаковых внешних условиях) уменьшают риск ухудшения здоровья (у акклиматизированного рабочего по сравнению с не акклиматизированным) за счёт более полного использования организмом своих механизмов защиты, и повышают работоспособность.

Площадь тела (по Дюбуа) (*Area, DuBois A_{Du}*): общая площадь тела человека (в м²), вычисленная по формуле Дюбуа на основе массы и роста, $A_{Du} = 0,007184 \times M^{0,425} \times H^{0,725}$, где M – вес (кг), H – рост (в см);.

Площадь тела, участвующая в теплообмене излучением (*Area, Effective Radiating Ar*): площадь тела, измеряемая в м², которая участвует в теплообмене тела с окружающими предметами за счёт излучения.

Площадь тела (подвергающаяся воздействию солнечного света) (*Area, Solar Radiation A_s*): площадь проекции тела человека (в м²) на плоскость, перпендикулярную направлению солнечных лучей.

Площадь тела, покрытая потом (*Area, Wetted A_w*): площадь тела человека (в м²), покрытая потом.

Тепловой баланс (*Body Heat Balance*): состояние равенства [теплопродукции](#) и [теплоотдачи](#), обеспечивающее организму практически [постоянную температуру тела](#).

Уравнение теплового баланса (*Body Heat Balance Equation*): математическое выражение, описывающее взаимосвязь между поступлением тепла в организм (извне и внутреннее теплообразование) и теплоотдачу в окружающую среду; записывается в виде: $S = (M - W) \pm C \pm R \pm K - E$.

Изменение содержания тепла в организме (*Body Heat Storage, S*): положительное или отрицательное изменение содержания тепла в организме. При изменении S, превышающем 0,87 кДж/кг, микроклимат относят к нагревающему или к охлаждающему.

Циркадный ритм (*Circadian Rhythm*): [периодические биологические изменения в организме](#), которые [повторяются в течение периода времени ~ 24 часа](#), и которые влияют на показатели состояния организма.

Кло (*clo*): единица измерения, применяемая для оценки теплоизолирующих свойств разных видов одежды. 1 clo = 5,55 (ккал × м²) / (час × град С). При носке одежды с кло = 1 «среднестатистический» человек чувствует себя комфортно при температуре 21°C (~70°F). По-другому, 1 кло = 0,155 м² × °C / Вт.

Теплопередача за счёт теплопроводности (*Conductive Heat Transfer, K*): величина теплообмена, вызванная исключительно передачей тепла при прямом контакте двух сред (твёрдых, жидких, газообразных), имеющих разную температуру.

Коэффициент теплопередачи за счёт теплопроводности (*Conductive Heat Transfer Coefficient, hk*): коэффициент (показатель интенсивности) теплообмена между двумя средами (твёрдыми, жидкими или газообразными), имеющими разную температуру. Размерность: Вт / (м² × °C).

Теплопередача за счёт конвекции (*Convective Heat Transfer, C*): та часть теплообмена между телом и окружающей средой, которая происходит исключительно за счёт конвекции.

Коэффициент теплопередачи за счёт конвекции (*Convective Heat Transfer Coefficient, hc*): коэффициент (показатель интенсивности) теплообмена между поверхностью тела и окружающим воздухом, относимый к площади поверхности кожи (м²); размерность: Вт / (м² × °C).

Теплоотдача тела за счёт испарения воды (пота) (*Evaporative Heat Loss, -E*): теплоотдача тела человека за счёт испарения воды (пота) с кожи, измеряется в килокалориях или ваттах (ккал, Вт).

Теплопередача за счёт испарения (*Evaporative Heat Transfer, E*): интенсивность теплообмена между кожей и окружающей средой, которая определяется исключительно испарением пота с кожи, или конденсацией влаги окружающего воздуха на коже, измеряется в: Вт; Вт/м², ккал/час.

Коэффициент теплопередачи за счёт испарения (*Evaporative Heat Transfer Coefficient, he*): коэффициент (показатель интенсивности) теплообмена между поверхностью тела и окружающим воздухом, зависящий от различия давления паров воды (на коже и в воздухе) и от скорости воздуха.

(Общая) теплоёмкость организма (*Heat Capacity*): произведение массы тела на удельную теплоёмкость.

Общее содержание тепла в организме (*Heat Content of Body*): произведение средней температуры тела (t_b) на среднюю теплоёмкость тела.

Тепловые судороги (*Heat Cramps*): Заболевание, возникающее из-за работы в условиях нагревающего микроклимата, и характеризующееся спазматическими (судорожными) сокращениями мышц (обычно ног и рук). Обычно возникает из-за недостатка соли в организме при её маленьком поступлении и большом выведении вместе с потом при сильном потовыделении – без обезвоживания организма.

Тепловое утомление (*Heat Exhaustion*): Заболевание, возникающее при работе в условиях нагревающего микроклимата, так что это приводит к повышению температуры центра тела свыше 38°C ($100,4^{\circ}\text{F}$) и нарушение нормальной работы одной или более систем организма – при сохранении нормальной работы центральной нервной системы. Тепловое утомление может быть признаком надвигающегося теплового удара (*heat stroke*).

Тепловое напряжение (*Heat Strain*): напряжение физиологических механизмов терморегуляции при воздействии нагревающего микроклимата, направленное на поддержание постоянной безопасной температуры тела.

Тепловая нагрузка на организм, тепловой стресс (*Heat Stress*): Сумма тепловой энергии, поступающей в организм извне и образующаяся в процессе обмена веществ (с учётом носки одежды), приводящая к накоплению тепла в организме.

Тепловой удар (*Heat Stroke*): тепловой (солнечный) удар, состояние, опасное для жизни и здоровья, возникающее при воздействии нагревающего микроклимата; и выражающееся в опасном увеличении температуры тела (более $41,1^{\circ}\text{C}$; 106°F) и нарушением нормальной терморегуляции. При тепловом ударе нарушается нормальная работа центральной нервной системы, что выражается во внезапной и стойкой потере сознания, которой могут предшествовать головокружение, головная боль, тошнота (рвота), нарушение работы мозга, странное поведение (психомоторное возбуждение), и увеличение температуры тела.

Тепловой обморок (*Heat Syncope*): Потеря сознания (и/или коллапс; обморок или головокружение) при воздействии нагревающего микроклимата, не сопровождающаяся ни увеличением температуры тела, ни прекращением потовыделения (*как бывает при тепловом ударе – прим.*). Тепловой обморок схож с вазовагальным (нейрокардиогеническим) обмороком, но он возникает из-за перегрева.

Устойчивость работника к перегреву (*Heat Tolerance*): Способность (индивидуального) человека переносить воздействие нагревающего микроклимата, и поддерживать при этом (безопасную) температуру тела с эффективностью, не ниже средней (среди населения). Эта индивидуальная черта организма часто зависит от акклиматизации (тренированности) человека, и его общего состояния здоровья и физической подготовки.

Относительная влажность (*Humidity, Relative, RH*): отношение фактически имеющегося содержания паров воды в воздухе к содержанию паров в насыщенном ими воздухе (при тех же температуре и давлении).

Гиперпирексия (*Hyperpyrexia*): Температура центра тела, превышающая 40°C (104°F).

Гипертермия (*Hyperthermia*): Состояние человека, при котором температура центра тела превышает $37,2^{\circ}\text{C}$ (99°F). Различают слабую гипертермию ($37,2\text{--}38,5^{\circ}\text{C}$; $99\text{--}101,3^{\circ}\text{F}$), среднюю (то есть – тепловое утомление, температура центра тела ($38,5\text{--}39,5^{\circ}\text{C}$; $101,3\text{--}103,1^{\circ}\text{F}$), глубокая/сильная ($>39,5^{\circ}\text{C}$; $103,1^{\circ}\text{F}$), или глубокая клиническая гипертермия (то есть – тепловой удар ($>40,5^{\circ}\text{C}$; $104,9^{\circ}\text{F}$). Превышение 45°C (113°F) при не оказании своевременной медицинской помощи может привести к смерти.

Максимальное потребление кислорода (*Maximum Oxygen Consumption, $\dot{V}O_{2max}$*): максимальное количество кислорода, которое может использовать организм.

Интенсивность обмена веществ (*Metabolic Rate, MR*): количество химической энергии, преобразуемой в организме в процессе обмена веществ в полезную работу и тепло за единицу времени.

Обмен веществ, метаболизм (*Metabolism M*): Переход химической энергии в тепловую энергию и в механическую работу.

Область допустимой деятельности (*Prescriptive Zone*): Такие условия окружающей среды, в которых выполнение работы приводит к отводу тепла из организма так, что поддерживается постоянная нормальная температура тела.

Атмосферное давление (**Па**) (*Pressure, Atmospheric, Pa*): давление, создаваемое массой воздуха; в среднем 760 мм ртутного столба (101 кПа) на уровне моря; эта величина уменьшается при увеличении высоты.

(Парциальное) давление паров воды (*Pressure, Water Vapor, Pa*): давление (в паскалях), создаваемое исключительно паром воды, находящимся в воздухе.

Врач (*Qualified Health Care Professional*): квалифицированный медицинский работник, имеющий образование, опыт работы, лицензию (и льготы - если это применимо), который занимается своей профессиональной деятельностью в пределах своей специализации.

Теплопередача за счёт излучения (*Radiant Heat Exchange, R*): величина теплообмена, вызванная исключительно передачей тепла за счёт излучения между двумя (излучающими) поверхностями, имеющими разную температуру.

Коэффициент теплопередачи за счёт теплопроводности (*Radiative Heat Transfer Coefficient, hr*): показатель интенсивности теплообмена между двумя чёрными поверхностями, имеющими температуру, отличающуюся на 1 единицу её измерения. Размерность: Вт/(м² × град С).

Уровень реагирования (*Recommended Alert Limit, RAL*): рекомендуемое Институтом значение тепловой нагрузки на сотрудника, работающего в нагревающем микроклимате, которое является предельно-допустимым для не акклиматизированных рабочих. Далее в тексте – предельно допустимый уровень для не акклиматизированных рабочих, ПДУ_{на}.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) (*Recommended Exposure Limit, REL*): рекомендуемое Институтом предельно допустимое значение тепловой нагрузки на акклиматизированных сотрудников; в данном случае – для тех, кто привык к перегреву (акклиматизировался). Далее в тексте - предельно допустимый уровень для акклиматизированных рабочих, ПДУ_а.

Рабдомиолиз, некроз (отмирание) тканей мышц скелета (*Rhabdomyolysis*): состояние организма, возникающее при перегреве и длительном выполнении физической работы, которое приводит к быстрому разрушению мышц, их разрыву и отмиранию мышечной ткани. См. [раздел 4.2.2](#).

«**Стандартный рабочий**» (*Standard Man*): репрезентативный человек, с массой тела 70 кг (*154 фунта*) и площадью поверхности тела 1,8 м² (*19,4 квадратных фута*).

Потовыделение (тепловое) (*Sweating, Thermal*): [реакция потовых желез](#) на тепловой раздражитель (нагрев).

Скорректированная температура (*Temperature, Adjusted Dry Bulb tadb*): температура, измеренная термометром, чувствительный элемент которого защищён от прямого попадания солнечных лучей.

Температура (окружающей среды) (*Temperature, Ambient ta*): температура окружающей среды (воздуха около тела человека). Также называется (на западе) температурой, измеренной термометром с сухим чувствительным элементом.

Средняя температура окружающей среды (*Temperature, Ambient, Mean ta*): среднее значение температуры *ta*, измеренное несколькими термометрами в разных местах; или в разное время.

Температура центра тела ([Temperature, Core Body tcr](#); или *Core Temperature*): температура тканей и органов в теле человека.

Температура точки росы ([Temperature, Dew-point tdp](#)): температура [точки росы](#), то есть такая, при которой влажность достигает 100%, и начинается конденсация воды.

Эффективная температура (*Temperature, Effective ET*): [комплексный показатель](#) (учитывающий температуру воздуха, его влажность и скорость движения), позволяющий оценить субъективное ощущение человека (тепло/холодно).

Температура шарика (*Temperature, Globe tg*): температура, измеренная термометром, сухой чувствительный элемент которого находится внутри, в центре тонкостенного полого зачерненного медного шара (по [ГОСТ Р ИСО 7243-2007](#)).

Средняя температура тела (*Temperature, Mean Body tb*): среднее значение температуры, измеренной в разных точках и в теле человека, и на поверхности кожи. Это значение может быть приближённо определено на основании температуры кожи температуры центра тела.

Средняя температура окружающих поверхностей (*Temperature, Mean Radiant tr*): средняя температура теплового излучения окружающей среды (поверхности окружающих предметов).

Средневзвешенная температура кожи (*Temperature, Mean Skin tsk*): средняя температура кожи, полученная путём замеров температуры в разных местах, и последующим пересчётом (с учётом площади поверхности разных частей тела).

Естественная температура влажного шарика термометра (*Temperature, Natural Wet Bulb twb*): температура, измеренная термометром с влажным чувствительным элементом, который находится в условиях, которые соответствуют характерной скорости движения воздуха.

Действующая температура (*Temperature, Operative to*): такая постоянная одинаковая температура помещения, имеющего чёрный цвет поверхности, находясь в которой теплообмен рабочего за счёт конвекции и излучения будет равен реальному теплообмену (за счёт конвекции и излучения) в реальных производственных условиях (когда температура и цвет окружающих предметов не одинаковы).

Оральная температура (*Temperature, Oral tor*): температура тела человека, измеренная во рту под языком в течение 3-5 минут.

Психрометрическая температура (*Temperature, Psychrometric Wet Bulb twb*): минимальная температура, которую можно получить за счёт испарения воды в окружающий воздух; измеряется термометром с влажным чувствительным элементом, принудительно обдуваемым воздухом.

Комплексный показатель температуры (*Temperature, Radiant tr*): показатель температуры на поверхности тела (предмета), вычисляется с учётом температуры тел, от которых исходит излучение; температуры и скорости воздуха: $MRT = T_g + (1,8 \times Va^{0.5}) \times (T_g - Ta)$, где MRT = Mean Radiant Temperature (°C), средняя температура поверхностей, окружающих тело; T_g = температура шарика ([ГОСТ Р ИСО 7243](#)), (°C); T_a = температура воздуха (°C); и Va = скорость воздуха (м/с).

Ректальная температура (*Temperature, Rectal tre*): температура тела, измеряемая в прямой кишке на расстоянии 10 см.

Температура кожи (*Temperature, Skin tsk*): температура, измеряемая термометром при размещении чувствительного элемента на поверхности тела.

Температура барабанной перепонки (*Temperature, Tympanic ty*): для точного измерения этой температуры необходимо разместить чувствительный элемент непосредственно на барабанную перепонку. На практике, для оценки температуры барабанной перепонки, чувствительный элемент размещают в канале уха, в непосредственной близости от барабанной перепонки.

Терморегуляция (*Temperature Regulation*): сохранение температуры тела в границах, обеспечивающих нормальное функционирование систем и органов. В условиях нагревающего или охлаждающего микроклимата (с учётом внутреннего теплообразования при обмене веществ, выполнении физической работы) сохранение температуры обеспечивается за счёт физиологической реакции организма (при перегреве - увеличивается кровоток через кожу, что повышает её температуру; происходит потовыделение); и за счёт поведения человека (переход в место с меньшей температурой, в тень и др.)..

Теплоизолирующие свойства одежды (*Thermal Insulation, Clothing*): способность одежды уменьшать теплообмен между телом и окружающей средой.

Эффективная теплоизоляция одежды (*Thermal Insulation, Effective*): суммарная теплоизоляция тела от окружающей среды, обеспечиваемая и одеждой, и слоем неподвижного воздуха.

Тепловое напряжение (*Thermal Strain*): напряжение физиологических механизмов [терморегуляции](#) при воздействии нагревающего микроклимата.

Тепловая нагрузка (стресс) (*Thermal Stress*): сумма теплового воздействия окружающей среды и внутренней теплопродукции организма рабочего.

Полное тепловое воздействие (*Total Heat Load*): сумма поступления тепла извне и теплообразования в организме при обмене веществ.

Комплексный показатель температуры (*Universal Thermal Climate Index, UTCI*): показатель (см. [раздел 9.3.4](#)), учитывающий физиологическую реакцию человека на окружающие условия.

Комплексный показатель температуры окружающей среды (*Wet Bulb Globe Temperature WBGT*): показатель, учитывающий температуру воздуха, измеренную термометром с сухим чувствительным элементом; влажность воздуха; и солнечное излучение. Вычисляется с помощью перечисленных параметров для оценки (внешнего) теплового воздействия на рабочего.

Увлажнённость кожи (*Wettedness, Skin w*): площадь кожи, покрытая потом.

Доля увлажнённой кожи, (%) (*Wettedness, Percent of Skin*): доля (%) всей кожи, которая покрыта потом.

Работа (*Work*): внешняя механическая работа, совершаемая человеком за счёт энергии, получаемой организмом при обмене веществ.

Условные обозначения.

Обозначение	Термин	Единицы измерения
Ab	Площадь поверхности тела	м ²
ADu	Площадь поверхности тела (по Дюбуа)	м ²
Ag	Площадь кожи, подвергающаяся воздействию теплового излучения	м ²
Aw	Площадь увлажнённой кожи	м ²
C	Теплообмен за счёт конвекции	Вт; Вт/м ²
CO	Объём крови, прокачиваемый сердцем за единицу времени (за минуту)	л/мин
E _{max}	Максимальное поступление паров воды в воздух при преобладающих метеорологических условиях	кг/час
E _{req}	Количество пота, которое должно испариться для того, чтобы избежать перегрева организма (сохранить тепловое равновесие)	кг/час
F _{cl}	Коэффициент для учёта снижения конвективного теплообмена из-за влияния одежды	безразмерный
H	Количество тепловой энергии в теле	Вт
h _c	Коэффициент теплообмена за счёт конвекции	Вт/(м ² ×°C) ; ккал/(час×м ² ×°C)
h _e	Коэффициент теплообмена за счёт испарения	Вт/(м ² ×кПа)
HR	Частота сердечных сокращений ЧСС (<u>пульс</u>)	ударов/мин
hr	Коэффициент теплообмена за счёт излучения.	Вт/(м ² ×°C) ; ккал/(час×м ² ×°C)
hr+c	Коэффициент теплообмена за счёт излучения и конвекции (вместе).	Вт/(м ² ×°C) ; ккал/(час×м ² ×°C)
I _a	Теплоизолирующие свойства слоя неподвижного воздуха.	кло
I _{cl}	Теплоизолирующие свойства одежды (одного слоя).	кло
im	Показатель влагопроницаемости одежды.	безразмерный
im/clo	Отношение влагопроницаемости одежды к её теплоизолирующим свойствам.	безразмерный
K	Теплообмен за счёт теплопроводности.	Вт; Вт/м ²
ккал	Килокалория (<i>Kilocalories</i>), 1 ккал = 4184 Дж.	<i>kcal·h⁻¹</i>
M	<u>Метаболизм</u> , обмен веществ.	met
Met	Единица измерения метаболизма.	1 met = 50 ккал/(м ² ×час)
мм. рт. ст.	Единица измерения давления, не системная.	1 mmHg = 133 кПа
м/с	Метры в секунду.	
ра	(Парциальное) давление водяных паров в воздухе.	мм рт. ст.; кПа
P _{sk}	Давление паров воды на поверхности кожи, которое принимается равным 42 мм рт. столба (5,6 кПа) при температуре кожи 35°C (95°F).	мм рт. ст.; кПа
p _{sk,s}	Давление паров воды при температуре кожи 36°C (и относительной влажности 100%; принимается равным 5,9 кПа).	мм рт. ст.; кПа
RH	<u>Относительная влажность</u> .	% (проценты)
R	Теплообмен за счёт излучения.	Вт; Вт/м ²
S	Потовыделение.	литр
SR	<u>Потовыделение</u> за единицу времени.	грамм/мин; г/час; кг/мин; кг/час
SV	Объём крови, прокачиваемый левым желудочком сердца за одно сокращение.	мл
SWA	Площадь тела, покрытая потом.	м ²
%SWA	SWA/ADu × 100 = доля площади тела (%), которая покрыта потом.	% (проценты)
T	Абсолютная температура, t + 273	°К
T _a	Температура окружающего воздуха, измеренная термометром с сухим чувствительным элементом	°C, °F
t _{adb}	Температура окружающего воздуха, измеренная термометром с сухим чувствительным элементом, защищённым от прямого попадания солнечного света.	°C, °F

t _{cr}	Температура центра тела.	°C, °F
T _{dp}	Температура точки росы (когда при неизменном содержании влаги в воздухе относительная влажность достигает 100%).	°C, °F
T _g	Температура, измеренная сухим термометром, который находится в центре тонкостенного зачерненного шара.	°C, °F
T _{nwb}	Температура, измеренная влажным термометром при характерной скорости движения воздуха.	°C, °F
t _o	Действующая температура (температура помещения с чёрными стенами, в котором теплообмен излучением и конвекцией равен реальному).	°C, °F
t _r	Температура поверхности, участвующей в теплообмене с помощью излучения.	°C, °F
t _r	Средняя температура теплового излучения окружающей среды (поверхности окружающих предметов).	°C, °F
t _{re}	Ректальная температура, измеряется в прямой кишке на глубине 10 см.	°C, °F
t _{sk}	Температура кожи.	°C, °F
t _{sk}	Средняя температура кожи	°C, °F
T _{pwb}	Психометрическая температура, измеренная термометром с влажным элементом, принудительно обдуваемым воздухом	°C, °F
t _w	Такая постоянная (одинаковая) температура окружающей среды, в которой теплообмен между телом человека и этой окружающей средой (именно за счёт излучения) будет равным реальному теплообмену между телом человека и реальной окружающей его средой (именно за счёт излучения);	°C, °F
t _{wg}	Температура, измеренная термометром с увлажнённым чувствительным элементом, который обдувается воздухом; учитывает охлаждение за счёт испарения (которое зависит от относительной влажности воздуха)	°C, °F
V _a	Скорость воздуха	м/с; футов/мин
$\dot{V}O_{2max}$	Максимальное потребление кислорода	мл/(кг×мин) ⁽¹⁾ ; или литров/час ⁽²⁾
W	Работа	ккал/час
μ	Коэффициент полезного действия, механическая эффективность работы	% (проценты)
w	Доля от всей кожи, которая покрыта потом	безразмерный
σ	Постоянная Стефана — Больцмана	Вт/(м ² ×К ⁴)
ε	Коэффициент излучения	безразмерный
<p>1 – показатель аэробной тренированности организма, способности сердца и лёгких более эффективно снабжать мускулы кислородом;</p> <p>2 – показатель общего потребления кислорода при максимальной, пиковой нагрузке.</p>		

Благодарности.

Авторы этого документа признательны за вклад в него
и за рецензирование, выполненные сотрудниками Института:

Отдел обучения и информирования ([Education and Information Division](#))

Пол Шульте *Paul Schulte, PhD (Director)*

Томас Ленц *Thomas Lentz, PhD, MPH*

Кэтлин МакМахон *Kathleen MacMahon, DVM, MS*

Лауралин Тейлор МакКернан *Lauralynn Taylor McKernan, ScD, CIH*

Хе-Кьюнг Чун *HeeKyoung Chun, DSc*

Барбара Дамс *Barbara Dames*

Шерри Фэнджер *Sherry Fendinger*

Ральф Зумвальд *Ralph Zumwalde*

Отдел изучения заболеваемости, оценки риска и исследований на рабочих местах ([Division of Surveillance, Hazard Evaluations, and Field Studies](#))

Грегори Берр *Gregory Burr, CIH*

Джудит Эйзенбергер *Judith Eisenberg, MD, MS*

Мелоди Кавамото *Melody Kawamoto, MD, MS*

Марк Метнер *Mark Methner, PhD*

Даг Траутман *Doug Trout, MD, MHS*

Отдел изучения и профилактики травматизма ([Division of Safety Research](#))

Ларри Джексон *Larry Jackson, PhD*

Отдел подготовки к и ликвидации последствий ЧС ([Emergency Preparedness and Response Office](#))

Джозеф Литл *Joseph Little, MSPH*

Отдел фундаментальных и лабораторных исследований профзаболеваний и травматизма ([Health Effects Laboratory Division](#))

Дэн Шарп *Dan Sharp, MD, PhD*

Отдел охраны труда горняков ([Office of Mine Safety and Health Research](#))

Кристофер Притчард *Christopher Pritchard, MS, PE*

Лаборатория средств индивидуальной защиты ([National Personal Protective Technology Laboratory](#))

Кристофер Коффи *Christopher Coffey, PhD*

Отдел Западных штатов ([Western States Division](#))

Ивонн Будро *Yvonne Boudreau, MD, MSPH*

Главное управление ([Office of the Director](#))

Джон Декер *John Decker, MS, RPh, CIH*

Джон Пьячентино *John Piacentino, MD*

Пол Миддендорф *Paul Middendorf, PhD, CIH*

Нюра Садегпо *Nura Sadeghpour, MPH*

Селен Коллинз оказала помощь в редактировании, а Ванесса Уильямс, Никки Ромеро и Гино Фазио участвовали в создании макета документа (*Seleen Collins Vanessa Williams, Nikki Romero, Gino Fazio*).

Кроме того, авторы особенно признательны тем внешним рецензентам, которые прислали комментарии и внесли вклад в создание этого документа:

Томас Бернارد *Thomas Bernard, PhD, MS* College of Public Health

(Университет Южной Флориды)

Филип Бишоп *Phillip Bishop, EdD, MS* Human Performance Laboratory (Университет Алабамы)

Торд Кьеллстром *Tord Kjellstrom, MD, PhD, MEng* Environmental Health Consultant, Professor
Health and Environment International Trust (Мапуа, Новая Зеландия)

Джон Мюллер *John Muller, MD, MPH, FACOEM* Occupational and Environmental Medicine
(Navy Marine Corps Public Health Center)

Сюзанна Шнайдер *Suzanne Schneider, PhD* Department of Health Exercise and Sports Sciences
(Университет Нью Мехико)

Розмари Сокас *Rosemary Sokas, MD, MOH* Professor and Chair Department of Human Science
School of Nursing and Health Studies (Университет Джорджии)

Также проект этого документа был выставлен на публичное обсуждение, и все комментарии были учтены при подготовке окончательного варианта текста.

Глава 1. Стандарт по охране труда, регулирующий защиту рабочих от нагревающего микроклимата (рекомендуемый).

Национальный институт охраны труда (*NIOSH*) рекомендует использовать для сохранения жизни и здоровья рабочих, подвергающихся воздействию нагревающего микроклимата, все указания (этого) стандарта, представленные в настоящем документе. Выполнение рекомендаций этого стандарта должно предотвратить или значительно снизить риск ухудшения здоровья у людей, работающих в нагревающем микроклимате. Если поступление тепла в организм извне и также тепловыделение внутри (из-за выполняемой физической работы) превышают теплоотдачу, происходит нарушение терморегуляции, и это может привести к развитию профессиональных заболеваний, несчастным случаям и смерти рабочих. Для предотвращения этого работодатель должен использовать изменение технологии, средства коллективной защиты, правильно организовать режим работы сотрудников, провести тренировки, акклиматизацию рабочих, проводить измерения тепловой нагрузки на них, проводить медицинские обследования, обеспечить правильное своевременное использование защитной спецодежды и средств индивидуальной защиты (СИЗ).



В этом документе под общей (полной) тепловой нагрузкой (*total heat stress*) имеют в виду сумму тепла, образующегося внутри организма при обмене веществ (метаболического), и тепла, поступающего в организм из окружающей среды; минус то тепло, которое отводится из организма в окружающую среду. Поступление извне и/или образование в организме тепла вызывает физиологические изменения (тепловое напряжение, *heat strain*), направленные на увеличение теплоотдачи для сохранения нормальной, безопасной температуры центра тела [Parsons 2003]. При умеренном тепловом напряжении, когда поступление/образование в организме тепла не слишком велико, эта физиологическая реакция на перегрев полезна и желательна. Но если поступление тепла в организм становится слишком большим, превышающем его способность компенсировать это, происходит увеличение температуры центра тела сверх границ, обеспечивающих нормальную работу органов и систем. Это создаёт опасность развития заболеваний и др. То, при какой именно (большой) тепловой нагрузке физиологические изменения станут чрезмерными, зависит от индивидуальных особенностей конкретного рабочего, способности его организма выдерживать воздействие нагревающего микроклимата. У разных людей разная способность выдерживать тепловую нагрузку (без негативных последствий для здоровья, в пределах нормального приспособления к непостоянным внешним условиям); но у любого рабочего есть верхняя граница (безопасной) тепловой нагрузки, при превышении которой перегрев организма может привести к ухудшению здоровья, и даже к смерти. У большинства рабочих подходящие по величине (умеренные) и повторяющиеся воздействия повышенной тепловой нагрузки включают механизм физиологической адаптации (приспособления) к изменившимся внешним условиям (акклиматизацию). Это приспособление повышает способность организма справляться с поступлением тепла, обеспечивая его нормальную работу в изменившихся условиях. Такая акклиматизация позволяет рабочему выдерживать большую тепловую нагрузку без ущерба для здоровья.

Частота случаев развития заболеваний, вызванных действием нагревающего микроклимата на группу рабочих (или повторяемость таких заболеваний у одного и того же рабочего) является показателем, индикатором того, что (работодатель), возможно, не обеспечил требуемый уровень защиты рабочих от перегрева; не обеспечил адекватное медобследование; и не провёл оценку условий работы в отношении риска чрезмерного перегрева [Rutstein et al. 1983]. Случаи появления заболеваний рабочих, вызванных воздействием нагревающего микроклимата, являются показателем необходимости провести медицинское расследование для определения того, насколько адекватны используемые мероприятия по защите рабочего. А в настоящем документе приводятся рекомендации, выполнение которых снизит риск развития «тепловых» заболеваний.

Если рабочие не акклиматизированы, а тепловая нагрузка на них (поступление тепла в организм извне, плюс образование тепла в организме при обмене веществ во время физической работы) не превышает соответствующие разработанные Институтом ПДУна для не-акклиматизированных людей (*Recommended Alert Limits RALs*, см. [фиг. 8-1](#)), то следует ожидать, что риск/частота значительного ухудшения здоровья (из-за перегрева) у них будут незначительны. Практически все здоровые рабочие, успевшие акклиматизироваться к работе в нагревающем микроклимате, и подвергающиеся тепловому воздействию как извне, так и метаболическому, могут перенести это воздействие без ухудшения здоровья – если воздействие не превышает разработанные Институтом ПДУа для акклиматизированных рабочих (*Recommended Exposure Limits RELs*; см. [фиг. 8-2](#)). Для оценки тепловой нагрузки при поступлении тепла извне и метаболического (вместе) используют среднее значение за 1 час (*1-hour time-weighted averages TWAs*), в соответствии с рекомендациями Американской ассоциации государственных промышленных гигиенистов (ACGIH) [ACGIH 2014]. В настоящем документе

термин «здоровые рабочие» относится к людям, чья физическая подготовка и состояние здоровья соответствуют (выполняемой работе), и которые не требуют дополнительной защиты, дополнительных изменений в программе акклиматизации, или дополнительного наблюдения за состоянием здоровья – помимо того, которое требуется из-за работы в условиях нагревающего микроклимата.

В соответствии с указаниями в главах 4, 5 и 6, (работодатель обязан) разработать и проводить программу медицинского наблюдения за сотрудниками, чтобы минимизировать риск ухудшения их здоровья из-за работы в условиях нагревающего микроклимата. В эту программу должно входить: предварительное медицинское обследование (для тех, кто будет работать в условиях нагревающего микроклимата); и периодические медосмотры – для тех, кто уже работает в условиях нагревающего микроклимата.

1.1 Предельно допустимые уровни воздействия, и определение теплового воздействия.

1.1.1 Предельно допустимые уровни.

Не акклиматизированные рабочие

Воздействие нагревающего микроклимата (включая теплообразование в теле при выполнении физической работы) на не акклиматизированных здоровых рабочих, не использующих средства индивидуальной защиты (СИЗ от перегрева) не должно превышать ПДУна для не акклиматизированных рабочих (RAL), показанные на [фиг. 8-1](#).

Акклиматизированные рабочие

Воздействие нагревающего микроклимата (включая теплообразование в теле при выполнении физической работы) на акклиматизированных здоровых рабочих, не использующих средства индивидуальной защиты (СИЗ от перегрева) не должно превышать ПДУна для акклиматизированных рабочих (REL), показанные на [фиг. 8-2](#). В разделе ([4.1.5 Акклиматизация к нагревающему микроклимату](#)) приводится дополнительная информация об акклиматизации.

Влияние одежды

Значения ПДУна и ПДУа, приведённые на [фиг. 8-1](#) и [8-2](#), разработаны для рабочих, чьё состояние здоровья и физическая подготовка соответствуют выполняемой работе, и которые одеты в обычную однослойную рабочую одежду, состоящую из рубашки с длинными рукавами и брюк; или эквивалентную одежду. А если рабочие одеты в одежду с меньшей воздухо- и влагопроницаемостью; или в одежду, теплоизолирующие свойства которой выше, чем у описанной выше однослойной, то эти ПДУ ([фиг. 8-1](#) и [8-2](#)) могут не обеспечить требуемую защиту. Кроме того, для защиты некоторых рабочих, с повышенной чувствительностью, могут потребоваться дополнительные мероприятия при их работе в условиях нагревающего микроклимата. В разделе ([3.3 Влияние одежды на теплообмен](#)) приводится описание изменений, необходимых для учёта особенностей одежды.

1.1.2 Определение теплового воздействия окружающей среды.

Методы измерений

В большинстве случаев, для оценки теплового воздействия окружающей среды следует использовать или *Wet Bulb Globe Thermometer* (WBGT), или эквивалентный метод, например - *Effective Temperature* (ET), *Corrected Effective Temperature* (CET), или *Wet Globe Temperature* (WGT), а затем преобразовать результат измерений в температуру WBGT. Если рабочие используют газонепроницаемую одежду, то лучше использовать *dry bulb temperature* (t_a) или скорректированную (t_{adb}) температуру, а не WBGT, так как непроницаемая одежда препятствует теплоотдаче за счёт испарения, и допускает только теплоотдачу за счёт излучения, конвекции и теплопередачи [[Åstrand et al. 2003](#)]. Результаты этих измерений могут использоваться для оценки тепловой нагрузки, и позволят квалифицированному специалисту по охране труда разработать мероприятия для защиты здоровья рабочего.

Требования к проведению измерений

Измерение теплового воздействия окружающей среды должно проводиться на рабочем месте сотрудника (или как можно ближе к нему), на том месте, где он находится; и оно должно быть репрезентативным. Если сотрудник не находится на одном месте, а переходит с места на место (отличающиеся друг от друга), или если на его постоянном рабочем месте тепловое воздействие может значительно отличаться, то нужно сделать замеры в каждом месте, и в течение каждого периода времени, когда воздействие окружающей среды на рабочего постоянно. Для вычисления средней за 1 час (*hourly TWA*) температуры WBGT нужно учитывать (все) выполняемые производственные задания, и все периоды отдыха (по расписанию, и не плановые).

Улучшение условий труда

(Работодатель обязан) проводить измерения теплового воздействия окружающей среды не реже 1 раза в час во время наиболее «горячей» доли каждой смены; в наиболее жаркие месяцы года, и тогда, когда произойдёт (или ожидается) период экстремально высокой температуры (*heat wave*). Если в течение двух последовательных замеров будет выявлено превышение ПДУна для не акклиматизированных или ПДУа для акклиматизированных рабочих (*RAL или REL*), то (работодатель) обязан улучшать условия труда сотрудников с помощью подходящих средств коллективной защиты, организационных мероприятий, или иными способами – до тех пор, пока результаты двух последовательных замеров не покажут, что тепловое воздействие окружающей среды не превышает ПДУ настоящего стандарта.

Начало проведения измерений теплового воздействия окружающей среды

Для всех «горячих» рабочих мест необходимо сделать замеры температуры WBGT и учесть индивидуальные особенности (использование газонепроницаемой спецодежды и т.п.); и эта информация должна использоваться при планировании мероприятий по защите рабочих с помощью средств коллективной защиты, организационных мероприятий, или иными способами. После проведения этой (первоначальной) оценки условий труда, (работодатель обязан) проводить замеры в соответствии с указаниями этого раздела – в те периоды года и в те дни, когда (на основе первоначальных замеров и учёте индивидуальных особенностей) можно ожидать, что суммарное (полное) тепловое воздействие (от окружающей среды плюс тепловыделение при обмене веществ) может превысить ПДУна для не акклиматизированных или ПДУа для акклиматизированных рабочих; а также при получении предупреждений о (возможном) опасном увеличении температуры от Национальной метеорологической службы, или из других источников.

1.1.3 Определение внутреннего тепловыделения.

Для (правильной) оценки опасности для здоровья нужно учитывать и то тепло, которое выделяется в организме рабочего при обмене веществ. Для этого нужно определить, какое внутреннее теплообразование может быть у каждого рабочего, выполняющего лёгкую, среднюю или тяжёлую работу. Эта оценка проводится для того, чтобы (правильно) определить, не превышает ли общее, суммарное (внешнее и внутреннее) поступление тепла соответствующих значений ПДУ для не акклиматизированных или акклиматизированных рабочих. Каждый раз, когда полученное значение внутреннего тепловыделения, в сочетании с измеренной температурой WBGT превышают соответствующие ПДУна или ПДУа ([фиг. 8-1](#) и [8-2](#)), необходимо измерить внутреннее тепловыделение с помощью не прямой калориметрии (см. [Главу 5](#)) или эквивалентным способом. Использование не прямой калориметрии на рабочих местах может быть затруднено; но такие замеры могут быть сделаны в лабораторных условиях на испытателях при выполнении аналогичной работы. А эта информация может использоваться для оценки тепловыделения на рабочих местах, что позволит уточнить, нет ли превышения ПДУ. Есть альтернативный вариант решения проблемы. Специалист по охране труда может использовать данные из ([Compendium of Physical Activities](#)) для того, чтобы узнать, какое (ождается) внутреннее тепловыделение; и использовать эту информацию для оценки того, нет ли превышения ПДУ [[Ainsworth et al. 2011](#)]. В таблице 1-1 (*отсутствует – прим. к переводу*) приводится краткий перечень разных видов деятельности и соответствующего им внутреннего тепловыделения.

Внутреннее тепловыделение нужно измерять в килокалориях в час (ккал/час) или в ваттах (Вт) для часовых интервалов, для которых определяется среднее тепловое воздействие (включая в интервалы как плановые, так и неплановые периоды отдыха) ($1 \text{ ккал/час} = 1,16 \text{ Вт}$ – прим.).

Пример

Если акклиматизированный «стандартный» рабочий массой 70 кг (*154 фунта*) выполняет работу средней тяжести в течение 60 минут в течение каждого часа, то оценка внутреннего тепловыделения для него (средняя за час) будет ~ 348,9 Вт (*300 ккал/час*). На [фиг. 8-2](#) (для акклиматизированных рабочих), вертикальная линия 300 ккал/час пересекается с соответствующим графиком ПДУа при температуре WBGT 27,8 °C (*82°F*). То есть, если измеренная температура WBGT превышает 27,8 °C (*82°F*), то внутреннее тепловыделение у этого рабочего следует измерить непрямым методом (*indirect open-circuit method*), или другим эквивалентным способом. А если тот же рабочий был не акклиматизирован, то на [фиг. 8-1](#) получим, что измеренная температура WBGT не должна превышать 25°C (*77°F*).

1.1.4 Определение физиологического состояния организма.

В качестве альтернативного метода получения тех оценок, которые описаны в предыдущих частях этого раздела, можно использовать мониторинг за физиологическим состоянием организма. В этом случае следует считать, что суммарная тепловая нагрузка (поступление извне и внутреннее тепловыделение) превышают

соответствующий ПДУ, если физиологические показатели состояния организма превышают значения, указанные в разделе [\(9.4 Измерение показателей физиологического состояния организма\)](#). Частота сердечных сокращений, температура центра тела, снижение массы тела (за счёт потери воды) могут использоваться для оценки физиологической реакции организма на нагревающий микроклимат. Кроме этого, для физиологического мониторинга имеются более современные методы и оборудование, см. разделы [\(8.4 Физиологический мониторинг стресса, создаваемого нагревающим микроклиматом\)](#) и [\(9.4 Измерение показателей физиологического состояния организма\)](#).

1.2 Медицинские обследования рабочих.

1.2.1 Общие положения.

(1) Для всех рабочих, которые выполняют или могут выполнять работу в условиях нагревающего микроклимата так, что (возможно) превышение ПДУ для не акклиматизированных рабочих, работодатель должен разработать и проводить программу медицинских обследований (включая в неё всех рабочих - не акклиматизированных, и акклиматизированных). Проведение медицинских обследований имеет большое значение для определения состояния здоровья и его измерения у сотрудников – как до начала работы в условиях нагревающего микроклимата, так и во время работы; а также для оказания неотложной медицинской помощи (при необходимости), и сбора медицинской информации (например, для выявления изменения состояния здоровья; выявлять необходимость в обучении для профилактики и др.). Дополнительная информация приводится в [Главе 7](#) (Медицинские обследования рабочих).

(2) Работодатель должен обеспечить, что все медицинские обследования будут проводиться или квалифицированным медицинским специалистом (например, врачом, имеющим лицензию, и/или другим дипломированным специалистом в области медицины); или под его руководством.

(3) Эти медицинские обследования сотрудников должны проводиться за счёт работодателя, без вычетов из заработной платы, и в удобное время в подходящем месте.

1.2.2 Предварительный медицинский осмотр.

При проведении предварительного медицинского осмотра следует считать, что все сотрудники не акклиматизированы к воздействию нагревающего микроклимата. Минимальный объём такого медицинского обследования рабочих, которым предстоит работать в условиях нагревающего микроклимата, должен включать:

(1) Подробную информацию о предыдущих местах работы; и информацию о перенесённых заболеваниях. При проведении медицинского осмотра необходимо проверить все системы организма (которые необходимо проверить при проведении «стандартного» предварительного обследования при приёме на работу); а также дополнительно выяснить – переносил ли в прошлом сотрудник заболевания, вызываемые нагревающим микроклиматом (с постановкой диагноза), был ли у него ранее острый некроз (скелетных) мышц ([рабдомиолиз](#)) и узнать о его акклиматизации к условиям на новом месте работы.

(2) Необходимо провести всестороннее медицинское обследование. В случаях, если сотруднику предстоит выполнять тяжёлую физическую работу в условиях нагревающего микроклимата; если рабочий относится к группе повышенного риска по возрасту (старше 50 лет), или он моложе 50 лет, но попадает в группу риска из-за проблем с сердечно-сосудистой системой, то – по усмотрению ответственного медицинского специалиста – сотрудник могут пройти дополнительную проверку (например - электрокардиограмма, с последующей расшифровкой кардиологом).

(3) Необходимо сделать оценку того, не возникнет ли повышенного риска для здоровья (при работе в нагревающем микроклимате) из-за приёма (некоторых) лекарств (по рецепту для лечения), приёма лекарств без рецепта, добавок, алкоголя и кофе. Влияние этих факторов описано в [Главе 7](#).

(4) Учёт влияния избыточного веса (считая, что он имеется при индексе массы тела $BMI \geq 30$). (Необходимо измерить рост и вес, и вычислить индекс по формуле:

$BMI = M / H^2$, где H – рост (м), а M – масса тела (кг); $\{BMI = \text{масса тела (в фунтах)} \times 703 / [\text{рост (в дюймах)}]^2\}$;

(5) Необходимо определить способность рабочего использовать защитную спецодежду и СИЗ (особенно респираторы), если это требуется или может потребоваться.

(6) Другие обстоятельства, и подробности проведения медобследования описаны в разделе [7.3.1.1](#).

1.2.3 Периодические медицинские обследования.

Все сотрудники, которые могут подвергаться тепловому воздействию, превышающему ПДУна (для не акклиматизированных рабочих), должны проходить периодические медицинские осмотры не реже 1 раза в год. При их проведении, работодатель обязан обеспечить объём обследования не меньше, чем это описано в предыдущих разделах. А если есть причины (например – увеличение теплового воздействия; изменение состояния здоровья сотрудников), то периодические медобследования следует проводить чаще – по усмотрению ответственного медицинского специалиста.

1.2.4 Неотложная медицинская помощь.

В случае, если у рабочего обнаружился признаки или симптомы теплового удара или теплового утомления, то работодатель должен принять все меры для оказания ему неотложной медицинской помощи (например, вызвать скорую помощь по тел. 911, и принять меры для охлаждения тела пострадавшего рабочего). При возникновении других проблем со здоровьем, вызванных работой в нагревающем микроклимате, и не представляющих опасности для жизни, могут быть приняты меры, описанные в [таблице 4-3](#).

1.2.5 Информирование медицинского специалиста, проводящего медобследование.

Работодатель обязан предоставить врачу, проводящему медицинские обследования сотрудников (или ответственному за проведение таких обследований) следующую информацию:

- (1) Копию настоящего стандарта по охране труда при работе в нагревающем микроклимате.
- (2) Описание работы, выполняемой сотрудником, и организации её проведения (например – график/режим выполнения работы; местонахождение рабочего места) в той степени, в какой это необходимо для учёта внешней тепловой нагрузки и внутреннего тепловыделения при обмене веществ.
- (3) Оценка возможного теплового воздействия на сотрудника (как внешнего, так и внутреннего), включая результаты всех соответствующих замеров на рабочих местах, и все оценки (например – внутреннего тепловыделения при выполнении работы известного характера).
- (4) Описание всех СИЗ и/или защитной одежды, которые рабочий использует; или которые могут потребоваться использовать.
- (5) Соответствующая информация о результатах предыдущих медобследований рабочего, которая может быть труднодоступна для проводящего обследование медицинского специалиста.

1.2.6 Письменный отчёт медицинского специалиста о результатах медобследования.

(После проведения медобследования), проводивший его медицинский специалист должен предоставить работодателю письменный отчёт о результатах, включающий:

- (1) Результаты медицинского обследования, относящиеся к профессиональным обязанностям и условиям работы сотрудника.
- (2) Оценка того, нет ли у сотрудника каких-нибудь медицинских противопоказаний, то есть, позволяет ли его состояние здоровья работать в условиях нагревающего микроклимата без повышенного риска для здоровья.
- (3) Оценка того, способен ли рабочий выдержать воздействие нагревающего микроклимата (см. разделы ([6.2.3 Улучшение устойчивости работников к воздействию нагревающего микроклимата](#)) и ([6.2.5 Выявление способности работника выдерживать воздействие нагревающего микроклимата](#))).
- (4) Оценка того, способен ли рабочий выполнять свои должностные обязанности (то есть – оценка физической подготовки).
- (5) Рекомендации по снижению риска развития производственно обусловленных заболеваний, вызванных воздействием нагревающего микроклимата. В них может входить: мероприятия по охлаждению тела рабочего; привыкание; рекомендации по графику работа/отдых; предложения по изменению места работы и др.
- (6) Заявление о том, что рабочий проинформирован о результатах медобследования (тем, кто его проводил), и о всех данных о состоянии здоровья, которые могут потребовать дополнительного объяснения, или о заболеваниях, требующих лечения. Рабочему объясняется, что он может работать в условиях нагревающего микроклимата до тех пор, пока не (будут обнаружены) признаки негативного влияния на здоровье. В (письменный) отчёт, предназначенный для работодателя, не должны включаться конкретные результаты, данные проверок/анализов, диагнозы (выявленных заболеваний), не относящиеся к оценке способности рабочего выдержать работу в нагревающем микроклимате. В соответствии со всеми требованиями федерального и местного законодательства, относящимися к конфиденциальности, должны быть приняты надлежащие меры по сохранению информации о проведённом обследовании.

1.3 Сбор и анализ информации о негативных последствиях теплового воздействия.

1.3.1 Определение.

Сбор и анализ информации о негативных последствиях теплового воздействия проводится для оценки эффективности мероприятий, направленных на защиту рабочих от перегрева [включая необходимость в замерах], и для повышения этой эффективности. Он включает в себя систематичный сбор и анализ информации о периодичности и распределении случаев негативных последствий воздействия нагревающего микроклимата для здоровья в определённой группе людей.

1.3.2 Требования.

Для каждого рабочего места нужно собрать и проанализировать информацию о: **(а)** изменениях на рабочем месте, **(б)** выявлении рабочих с повышенной индивидуальной чувствительностью, **(с)** о случаях негативных последствий теплового воздействия на рабочих, и о случаях повторов у одного и того же рабочего, **(d)** данные о распределении мест, периодов (моментов) времени, и сотрудников, у которых были такие случаи, и **(е)** (результаты) измерений состояния окружающей среды, или физиологическую информацию о пострадавшем, относящуюся к рассматриваемому событию.

1.4 Предупреждение об опасности в рабочих зонах.

1.4.1 Рабочие зоны, опасные в отношении воздействия нагревающего микроклимата.

На рабочих местах, и на входах в рабочие зоны или помещения, где имеется значимая для здоровья рабочих опасность воздействия нагревающего микроклимата (включая внешнее тепловое воздействие и внутреннее тепловыделение), превышающая ПДУна или ПДУа, должны быть вывешены хорошо различимые предупреждения. Эти предупреждения должны содержать информацию о необходимости использовать защитную одежду и/или СИЗ, и информацию о том, как оказать первую помощь пострадавшему от перегрева.

Эта информация должна быть размещена следующим образом:

ОПАСНОСТЬ

Воздействие нагревающего микроклимата

Требуется использование защитной спецодежды от перегрева, или СИЗ от перегрева

(Внимание, здесь) может случиться тепловой удар, или иные нарушения здоровья, возникающие при перегреве

1.4.2 Информация об оказании помощи пострадавшим.

Во всех местах, где есть риск теплового удара, предупреждающие об опасности плакаты должны сопровождаться (дополняться) информацией о вызове неотложной медицинской помощи, и инструкцией с указаниями по оказанию первой помощи (до прибытия врачей).

1.4.3 Дополнительные требования к предупреждающим плакатам.

Все предупреждающие плакаты должны быть напечатаны на английском языке, а если необходимо – то и на другом языке, наиболее часто используемым сотрудниками, не знающими английский язык. Те рабочие, которые не способны прочитать предупреждающие надписи, должны быть проинформированы о написанных на плакатах предупреждениях, и о степени опасности в рабочих зонах. Все надписи на плакатах должны быть чистыми, и разборчивыми (удобночитаемыми) в любое время.

1.5 Защитная спецодежда и СИЗ.

Для того, чтобы воздействие нагревающего микроклимата на рабочих не превышало предельно-допустимое (ПДУна для не акклиматизированных; и ПДУа для акклиматизированных рабочих) (работодатель должен использовать) средства коллективной защиты, и организационные мероприятия. Если же в результате усилий работодателя по защите рабочих от перегрева всё-таки произойдёт превышение этих ПДУ, то рабочие должны быть обеспечены теплозащитной спецодеждой и СИЗ, соответствующей условиям труда, например: фартуки и костюмы с покрытием, отражающим тепловое излучение; охлаждающие СИЗ - с водяным охлаждением; с воздушным охлаждением; одежда с предварительно замораживаемыми вкладышами (ёмкости с водой и т.п.); элементы предварительно увлажняемой одежды, использующие испарительное охлаждение

(головные уборы, шарфы, жилетки); и др., см. раздел ([6.3 Спецодежда и средства индивидуальной защиты от перегрева](#)).

1.6 Информирование и обучение рабочих.

1.6.1 Требования к информированию и к обучению.

Все рабочие, принимаемые на работу, а также те, кто уже давно работает в условиях имеющегося или возможного воздействия нагревающего микроклимата, способного стать причиной смерти или профессионально-обусловленного заболевания, и их руководители, с помощью (предварительного и) периодического обучения должны быть осведомлены о:

- (1) Опасности, возникающей при воздействии нагревающего микроклимата.
- (2) Обстоятельствах, увеличивающих риск для здоровья.
- (3) Симптомы/признаках ухудшения здоровья при перегреве.
- (4) Возможные последствия воздействия нагревающего микроклимата.
- (5) Оказание первой помощи; и конкретные методы её оказания.
- (6) Меры безопасности, принимаемые при работе в условиях (возможного) перегрева.
- (7) Обязанности и ответственность рабочих за использование методов и методов снижения вредного воздействия (на себя и других сотрудников), включая указание сразу сообщать руководителю о появлении признаков / симптомов ухудшения здоровья, вызванного перегревом.
- (8) Приём некоторых лекарств по предписанию врача, безрецептурный приём ряда лекарств, потребление алкоголя или кофе, может увеличить риск для здоровья, снизив сопротивляемость организма. См. [Главу 7](#).
- (9) Сотрудники и их руководители должны знать о назначении и составе программ наблюдения за условиями работы, и наблюдения за состоянием здоровья; и теми преимуществами, которые даёт рабочему участие в этих программах.
- (10) Использование защитной спецодежды и СИЗ, если это требуется.
- (11) Отношение работников к воздействию перегрева на них. У некоторых рабочих может быть ошибочное мнение, что они «закалённые, живучие, устойчивые к воздействию перегрева». Из-за этого они могут преднамеренно поступать так, что произойдёт обезвоживание организма до начала работы, причём регулярно. Это заблуждение опасно, и его нужно преодолеть путём обучения.

1.6.2 Программы обучения.

(1) Работодатель обязан разработать и выполнить) программу обучения. Её должны проводить люди с достаточно высокой квалификацией (подготовкой или опытом работы) в области охраны труда и гигиены труда. Выполнение этой программы должно обеспечить информирование всех рабочих, подвергающихся перегреву, о всех вопросах, перечисленных в настоящем разделе документа. Информация должна доводиться до сведения каждого обучаемого подходящим способом, в письменном виде или в устной форме. Работодатель должен разработать написанный план обучения, включающий записи о всех учебных материалах.

(2) Работодатель должен информировать всех сотрудников, подвергающихся (и потенциально подвергающихся) перегреву, о том, где они могут найти учебные материалы в письменном виде. Эти материалы должны быть легкодоступны для рабочих, и бесплатно.

1.6.3 «Паспорт безопасности» для теплового воздействия.

(1) Информация, перечисленная в этом разделе документа, должна быть записана на плакате/листочке (аналогично «паспорту безопасности» для токсичных химических веществ), или в той форме, которая указана Управлением по охране труда (OSHA).

(2) Кроме того, в этом плакате («паспорте тепловой безопасности») должны быть:

- (a) Конкретные указания по оказанию первой помощи пострадавшим, и информация для связи (для условий конкретного рабочего места).
- (b) Замечания для лица, ответственного за оказание квалифицированной медицинской помощи, относящиеся к классификации, медицинских аспектах, и мерах профилактики производственно обусловленного ухудшения здоровья, вызванного перегревом. В них должна включаться информация о категориях и клинических особенностях каждого вида ухудшения здоровья; факторы, влияющие на риск такого исхода; информация о нарушении физиологических процессов, приводящая к ухудшению здоровья при перегреве; методы лечения и профилактики.

1.7 Защита рабочих от перегрева.

1.7.1 Общие требования.

(1) Работодатель обязан разработать и выполнить написанную программу (защиты рабочих от перегрева), в которую должно входить снижение воздействия на рабочих до величин, не превышающих ПДУ, за счёт использования средств коллективной защиты, и / или организационных мероприятий.

(2) Если использование средств коллективной защиты и организационных мероприятий не позволит снизить тепловое воздействие на рабочих до величины, меньшей ПДУ (для не акклиматизированных и акклиматизированных рабочих – соответствующее значение), то (работодатель обязан) с помощью этих средств и мероприятий снизить тепловое воздействие до минимального достижимого уровня, и – дополнительно к ним – использовать подходящую теплозащитную спецодежду и/или СИЗ. Кроме этого, работодатель обязан разработать и выполнить программу реагирования на периоды экстремально высокой температуры (описана в разделе [1.7.4 Программа реагирования на периоды повышенной температуры](#)).

1.7.2 Средства коллективной защиты.

(1) Чтобы определить, какие виды средств коллективной защиты требуются для конкретного рабочего места, и какая степень защиты необходима для того, чтобы тепловое воздействие не превышало ПДУ на или ПДУа, следует использовать основное уравнение, описывающее теплообмен между рабочим и окружающей средой (см. [Главу 4](#) и [Главу 5](#)). Если внешние условия (температура, влажность и подвижность воздуха, тепловое излучение) приводят к превышению соответствующего ПДУ (ПДУ на или ПДУа), то необходимо использовать средства коллективной защиты, с учётом следующего:

(а) Если температура воздуха выше температуры кожи, то для уменьшения теплообмена за счёт конвекции следует снизить температуру воздуха и/или его подвижность (если скорость воздуха выше 1,5 м/с *300 футов/мин*). А если температура воздуха ниже, чем температура кожи, то нужно увеличить теплообмен за счёт конвекции путём повышения скорости воздуха. На теплообмен между телом человека и окружающей средой влияет тип, количество и свойства одежды. (Это можно сделать с помощью изолированных кабин с микроклиматом, местной и общеобменной вентиляционных систем, [воздушных душей](#)).

(б) Если температура твёрдых предметов вблизи рабочего выше температуры кожи, то для уменьшения теплообмена за счёт излучения необходимо использовать экраны (отражающие или поглощающие излучение), размещая их между рабочим и нагретыми предметами. Для уменьшения теплообмена также можно использовать изменение технологии или способа выполнения работы; изоляцию источника тепла; и удаление рабочего от нагретых предметов.

(с) Если есть необходимость, то можно увеличить теплообмен за счёт испарения, увеличив скорость движения воздуха вокруг рабочего; уменьшить влажность воздуха (снизив поступление пара в воздух при наличии утечек, или от оды – если она есть на полу на рабочем месте), или снизить влажность поступающего воздуха. На теплообмен между телом человека и окружающей средой за счёт испарения влияет воздухо- и паропроницаемость одежды.

1.7.3 Организационно-гигиенические мероприятия.

(1) Если использование средств коллективной защиты не обеспечивает снижение теплового воздействия до соответствующего ПДУ, то для уменьшения поступления тепла извне и теплообразования при обмене веществ, и улучшения защиты рабочих следует изменить способ выполнения работы, и использовать наилучший опыт, накопленный промышленной гигиеной. Для этого можно использовать, например:

(а) Ограничение длительности пребывания рабочего в условиях нагревающего микроклимата, уменьшая длительность его пребывания в нагретых местах и/или увеличивая длительность его нахождения в местах с пониженной температурой, т.е. изменив режим работы («защита временем»).

(б) Для уменьшения внутреннего теплообразования можно использовать механизацию выполняемой работы; специальные инструменты; или увеличить количество людей, выполняющих ту же самую работу.

(с) Увеличение устойчивости рабочих к тепловому воздействию за счёт акклиматизации – (работодатель должен) разработать и выполнить план акклиматизации (см. [таблицу 4-1](#)), и должен улучшить их физическую подготовку.

(д) Рабочие и их руководители (бригадиры) должны пройти обучение для распознавания ранних симптомов ухудшения здоровья при тепловом воздействии; и для правильного оказания первой помощи пострадавшим.

(е) При выполнении работы более чем одним человеком, необходимо чтобы сотрудники наблюдали за коллегами с целью выявления ранних симптомов ухудшения здоровья (слабость, неустойчивая походка, раздражительность, дезориентация, изменение цвета кожи, недомогание «общего характера»).

(ф) В некоторых случаях от рабочих может потребоваться самонаблюдение; и (для этого) они вместе со своими руководителями, специалистами по охране труда и медицинским специалистом должны разработать режим (расписание) выполнения работы.

(g) Рабочие, подвергающиеся воздействию тепла до 2 часов подряд, и выполняющие работу средней тяжести, должны иметь удобный доступ к охлажденной питьевой воде (температура ниже 15°C (59°F), и их нужно научить пить часто и понемногу (1 стакан 8 жидких унций ~ 236 мл каждые 15-20 минут). Должны использоваться индивидуальные стаканы (а не один для всех). А если работа в условиях нагревающего микроклимата продолжается более 2 часов, то рабочих нужно обеспечить специальными напитками (спортивными), содержащими сбалансированное количество электролитов, которые возместят их убыль из-за потовыделения. Концентрация электролитов/углеводов не должна превышать 8% по объёму.

1.7.4 Программа реагирования на периоды повышенной температуры.

Работодатель должен разработать и, при необходимости, выполнить программу реагирования на период экстремально высокой температуры воздуха. Для предсказания таких периодов следует использовать прогнозы Национальной метеослужбы, или любой другой компетентной метеослужбы. Периодом повышенной температуры считают период, когда максимальная температура воздуха днём превышает 35°C (95°F); или когда максимальная дневная температура превышает 32°C (90°F), и при этом она выше температуры воздуха в предшествующие дни на 5°C (9°F) и более. Подробно это описано в разделе 1.8 Хранение записей.

1.8 Регистрация и хранение информации.

1.8.1 Оценка поступления тепла извне и внутреннего теплообразования.

(1) Работодатель обязан сделать записи о всех замерах внешнего теплового воздействия на рабочих (см. раздел [1.1.2 Определение теплового воздействия окружающей среды](#)), и всех оценках внутреннего теплообразования - в соответствии с настоящим стандартом; и обязан аккуратно хранить эти записи.

(2) Если работодатель определит, что измерение внутреннего тепловыделения (как это требует настоящий стандарт) не требуется, то он должен сделать запись об оценке, позволившей сделать такой вывод (см. раздел [1.1.3 Определение внутреннего тепловыделения](#)).

1.8.2 Медицинское обследование.

Работодатель должен сделать записи о медицинских обследованиях каждого из рабочих, в соответствии с настоящим стандартом (см. раздел [1.2 Медицинские обследования рабочих](#)), и обеспечить их хранение.

1.8.3 Сбор и анализ информации о негативных последствиях теплового воздействия.

Работодатель обязан выполнить и хранить аккуратные записи о своей деятельности (по сбору и анализу информации о негативных последствиях теплового воздействия на рабочих), проводимой в соответствии с требованиями настоящего стандарта, см. раздел ([1.3 Сбор и анализ информации о негативных последствиях теплового воздействия](#)).

1.8.4 Регистрация случаев негативных последствий перегрева.

Работодатель должен сделать записи о всех заболеваниях и несчастных случаях у рабочих, вызванных тепловым воздействием, включая туда условия на рабочем месте и сведения о выполнявшейся работе (относящиеся к этим заболеваниям и несчастным случаям), и обеспечить их хранение, см. раздел [7.4 Медицинские осмотры – периодическая оценка собранной информации](#).

1.8.5 Увеличение теплового воздействия.

Работодатель должен сделать записи о всех проведённых акклиматизациях рабочих, включая данные о постепенном повышении теплового воздействия, и/или о повышении уровня физической подготовки, и хранить эти записи. См. раздел [4.1.5 Акклиматизация к нагревающему микроклимату](#).

Глава 2. Введение.

В соответствии с [Законом об охране труда](#) от 1970 г., Институт разрабатывает научно обоснованные рекомендации – требования к работодателю по охране труда (раздел 20(a)(3) Закона). В соответствии с обязанностями, которые возложены Конгрессом на Институт, последний должен разрабатывать рекомендуемые стандарты по охране труда, а также значения ПДК и ПДУ (то есть – юридически не обязательные для выполнения, но научно обоснованные), выполнение которых позволит сохранить жизнь и здоровье рабочих при определенном стаже (для которого они разработаны). Указанные выше ограничения включают, но не ограничиваются, воздействиями вредных производственных факторов, которое может ухудшить здоровье, работоспособность, сократить ожидаемую продолжительность жизни. Разработка таких рекомендуемых стандартов позволяет Институту дать научное обоснование требованиям охраны труда; а передача этих документов в Управление по охране труда (OSHA) и Управление по безопасности и охране труда в горной промышленности (MSHA) позволяет этим организациям разработать требования к работодателю (юридически обязательные для выполнения, и научно обоснованные). Такие публикации Института знакомят с результатами его работы специалистов в высших учебных заведениях, в промышленности, в профсоюзах и общественных объединениях, и всех тех, кого интересуют вопросы охраны труда. В обоснования рекомендуемого стандарта по охране труда, публикуемого Институт, входит обзор научно-технической информации по проблеме, сведения о том, насколько часто и/или как много рабочих подвергается вредному воздействию, о риске для здоровья (информация о несчастных случаях и заболеваемости), о имеющихся способах защиты.

В 1972 г. Институт опубликовал рекомендуемые требования к работодателю по защите от перегрева ([Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Hot Environments \[NIOSH 1972\]](#)), а в 1986 г. опубликовал [обновлённый вариант документа \[NIOSH 1986a\]](#) плюс брошюру (*Working in Hot Environments, Revised 1986 [NIOSH 1986b]*, [пересмотрена в 2011 г.](#)). В этих документах приводилась сделанная Институтом оценка риска для здоровья, вызываемая перегревом (для всех рабочих мест), и рекомендуемый стандарт по охране труда с требованиями, выполнение которых позволит защитить рабочих.

В случаях, когда суммарное тепловое воздействие (поступление тепла извне и внутреннее теплообразование) превышает способность организма поддерживать постоянную и безопасную температуру тела, у рабочих развиваются профессионально обусловленные заболевания, и происходят несчастные случаи. В документе 1986 г. Институт рекомендовал использовать «скользящую шкалу» ограничений, основанную на оценках поступления тепла извне и внутреннего теплообразования. Тогда, сделанные в документе рекомендации основывались на имевшейся научной информации и на опыте, накопленном в промышленности. А настоящий документ учитывает результаты более поздних научных исследований, и более полно обоснован (по сравнению с предыдущими). В этом документе описаны обновленные критерии и методы, используемые для выявления, оценки и защиты от чрезмерного теплового воздействия, включая средства коллективной защиты, организационные и санитарно-гигиенические мероприятия. В документе также есть рекомендации (по проведению медицинских обследований рабочих, их обучению и организации выполнения работы), направленные на выявление, лечение и профилактику профзаболеваний, вызываемых перегревом.

Эти рекомендации разрабатывались для того, чтобы их выполнение обеспечивало: **(1)** защиту рабочих от профессиональных заболеваний при тепловом воздействии; и от ухудшения выполнения требований техники безопасности из-за перегрева, **(2)** техническую осуществимость теми способами, которые обоснованы и воспроизводимы, и **(3)** выполнимость рекомендаций с помощью методов и оборудования, которые уже существуют. Кроме того, этот рекомендуемый стандарт также предназначен для защиты от чрезмерного воздействия токсичных веществ и вредных физических факторов (при их сочетанном воздействии с нагревающим микроклиматом). Рекомендуемые значения ПДУ (для выполняемой работы разной интенсивности), показанные на [фиг. 8-1](#) и [8-2](#), не являются верхней границей теплового воздействия, которое могут выдержать все рабочие. Скорее, это граничные значения, при превышении которых работодатель должен использовать средства коллективной защиты, организационные и санитарно-гигиенические мероприятия чтобы снизить риск развития профессиональных заболеваний (и несчастных случаев) даже у рабочих с самой низкой устойчивостью к тепловому воздействию.

Несмотря на усилия по предотвращению несчастных случаев со смертельным исходом и развития профзаболеваний (вызванных нагревающим микроклиматом), они продолжают происходить. Так, в 2008 г. Центры по профилактике и сдерживанию заболеваний (CDC) сообщили, что за период 1992-2006 гг. в США погибло 423 работников сельского хозяйства (из них 16% занимались сборкой урожая). В среднем, число несчастных случаев со смертельным исходом (из-за теплового воздействия) среди уборщиков урожая (0,39 на 100 000) значительно больше, чем у всех работающих в гражданском секторе народного хозяйства (0,02) [[Luginbuhl et al. 2008](#)]. Хотя в штате Калифорния (разработали и применяют) требования к охране труда при работе в нагревающем микроклимате, но несчастные случаи продолжают происходить, а профзаболевания продолжают выявлять; особенно у работников сельского хозяйства. Этот повышенный риск обусловлен

экстремальными условиями работы, недостатком знаний у рабочих, их бедностью, сезонностью выполняемой работы, необразованностью и другими обстоятельствами, связанными с миграцией [[Stoecklin-Marois et al. 2013](#)].

В 2010 г. среди рабочих негосударственного сектора экономики, а также среди рабочих, нанятых местными органами самоуправления, из-за воздействия нагревающего микроклимата произошло 4190 несчастных случаев и профессиональных заболеваний

¹ (когда сотрудник не выходил на работу 1 день и более) [[Bureau of Labor Statistics 2011](#)]. Среди пострадавших 86% были в возрасте от 16 до 54 лет. В том же году, зарегистрировано 40 случаев смерти рабочих, вызванных перегревом на рабочем месте. Больше всего погибших (18 человек) работали в строительстве, 6 человек занимались сельским хозяйством и добычей полезных ископаемых, а ещё 6 работали в других отраслях (включая переработку отходов). Три человека работало на промышленных предприятиях. Возраст 80% погибших – от 25 до 54 лет. Так как заболевания, вызванные перегревом, далеко не всегда правильно идентифицируются (т.е. причина не всегда точно указывается), и так как регистрируются лишь те случаи, когда рабочий отсутствует на работе не менее дня, то реальное число погибших и заболевших именно из-за перегрева точно не известно. Кроме того, вообще не известно, сколько же людей подвергается чрезмерному тепловому воздействию на работе.

По данным проверок (инспекторов) OSHA, между 2012 и 2013 гг. было выявлено 20 случаев профзаболеваний или гибели рабочих (из-за перегрева) [[Arbury et al. 2014](#)]. В большинстве из этих случаев работодатели не разрабатывали программ защиты сотрудников от чрезмерного теплового воздействия; или же программы были неполными. Среди недостатков программ, чаще всего в них отсутствовала акклиматизация, и этот недостаток наиболее явно был связан с гибелью людей.

Глава 3. Уравнение теплового равновесия и теплообмен.

Для нормальной работы систем и органов человека крайне важно, чтобы температура центра тела оставалась в допустимых пределах, около $37 \pm 1^\circ\text{C}$ ($98,6 \pm 1,8^\circ\text{F}$). Для поддержания постоянной температуры тела необходимо, чтобы поступление тепла в организм и внутреннее теплообразование в нём равнялись теплоотдаче в окружающую среду. Интенсивность теплообмена и величина отданной/полученной тепловой энергии определяется фундаментальными законами термодинамики, описывающими теплообмен между телами. Количество тепловой энергии, которое требуется отдать в окружающую среду, зависит от: (1) внутреннего теплообразования (при обмене веществ), которое обычно находится в диапазоне от 1 ккал / (кг массы тела × час) массы тела (в покое, ~ 1,16 Вт/кг) до 5 ккал/(кг×час), то есть 7 Вт/кг; при выполнении умеренно-тяжёлой работы в промышленности; и (2) поступлением тепла извне (если это происходит). Интенсивность теплообмена с окружающей средой зависит от температуры и влажности воздуха, температуры кожи, скорости воздуха, испарения пота, температур источников излучения, а также типа, количества, и свойств одежды. За исключением выполнения тяжёлой работы в условиях очень сухого воздуха, охлаждение организма за счёт увлажнения выдыхаемого воздуха пренебрежимо мало. Ниже приводится упрощённое уравнение теплообмена.

3.1 Уравнение теплообмена.

Основное уравнение теплообмена:

$$S = (M - W) \pm C \pm R \pm K - E$$

где

S = изменение тепловой энергии, накопленной телом;

(M - W) = полное теплообразование в организме при обмене веществ, минус выполненная рабочим внешняя механическая работа;

C = теплообмен за счёт конвекции;

R = теплообмен за счёт излучения;

K = теплообмен за счёт теплопроводности;

E = теплоотдача за счёт испарения.

Чтобы решить это уравнение, необходимо знать теплообразование в организме при обмене веществ (метаболическое), температуру воздуха, давление паров воды, скорость воздуха, и среднюю температуру источников излучения [[Belding 1971](#); [Ramsey 1975](#); [Lind 1977](#); [Grayson and Kuehn 1979](#); [Goldman 1981](#); [Nishi 1981](#); [ISO 1982b](#); [ACGIH 1985](#); [DiBenedetto and Worobec 1985](#); [Goldman 1985a](#), [1985b](#); [Horvath 1985](#); [Havenith 1999](#); [Malchaire et al. 2001](#)].

3.2 Виды теплообмена.

Основными путями теплообмена между телом человека и окружающей средой является конвекция, излучения и испарение. В условиях работы в нагревающем микроклимате, теплообмен за счёт теплопроводности обычно невелик (кроме случаев касания горячих предметов – инструмента, оборудования, пола или других предметов, или если люди работают в воде, или если работают лёжа на спине [[Havenith 1999](#)]). Вычисления теплопередачи этими способами можно делать, используя уравнения в системе единиц измерения СИ, в метрической системе, или в английских единицах измерения. В системе СИ, теплообмен измеряется в ваттах на квадратный метр поверхности тела (Вт/м²). Эти уравнения разработаны и для полуобнажённого рабочего, и для рабочего, одетого в обычную рубашку с длинным рукавом и в брюки (как в английских единицах, так и в единицах измерения СИ). Значения, получаемые при вычислениях, дают теплообмен в ккал/час для «стандартного рабочего» (масса тела 70 кг (*154 фунта*); площадь тела 1,8 м² (*19,4 квадратных фута*)). В дальнейшем при обсуждении будут использоваться только единицы измерения СИ. Если рабочие крупнее или меньше, чем «стандартный рабочий», то нужно использовать соответствующие поправочные коэффициенты [[Belding 1971](#)]. В [Приложении А](#) приводятся уравнения теплообмена за счёт конвекции, излучения и испарения, в которых используются единицы измерения СИ.

3.2.1 Конвекция (C).

Интенсивность теплообмена между кожей и находящимся непосредственно около неё воздухом за счёт конвекции зависит от различия температур: окружающего воздуха (t_a) и средневзвешенной температуры кожи (t_{sk}), и от скорости движения воздуха относительно кожи (V_a). Влияние этих факторов при теплообмене с окружающей средой может быть записано алгебраически для «стандартного рабочего» (масса тела 70 кг (*154 фунта*), площадь поверхности тела 1,8 м²), одетого в обычную однослойную рабочую одежду [[Belding 1971](#)]:

$$C = 7,0 \times Va^{0,6} \times (ta - tsk)$$

где

C = интенсивность теплообмена за счёт конвекции, ккал/час;

Va = скорость воздуха в м/с;

ta = температура окружающего воздуха °C (°F);

tsk = средневзвешенная температура кожи; обычно её считают равной 35°C (95°F).

Если температура воздуха $ta > 35^\circ\text{C}$, то за счёт конвекции будет происходить нагрев тела окружающим воздухом. А если температура воздуха $ta < 35^\circ\text{C}$, то за счёт конвекции будет происходить охлаждение тела окружающим воздухом.

Это основное (теоретическое) уравнение в английских единицах можно переработать для «стандартного рабочего», одетого в обычную однослойную рабочую одежду:

$$C = 0,65 \times Va^{0,6} \times (ta - tsk)$$

где

C = интенсивность теплообмена за счёт конвекции в *Btu/час*;

Va = скорость воздуха в *футах в минуту*;

ta = температура окружающего воздуха °C (°F);

tsk = средневзвешенная температура кожи; обычно её считают равной 35°C (95°F).

3.2.2 Излучение (R).

Интенсивность теплообмена за счёт излучения зависит главным образом от градиента температуры между средней температурой окружающих объектов (t_w) и средневзвешенной температурой кожи (t_{sk}). Теплообмен за счёт излучения зависит от абсолютной температуры поверхностей окружающих предметов в четвёртой степени, и в меньшей степени от температуры кожи ($T_w - T_{sk}$)⁴. Но при носке рабочим обычной однослойной рабочей одежды, достаточно точный результат даёт использование уравнения [[Belding 1971](#)]:

$$R = 6,6 \times (t_w - t_{sk})$$

где

R = интенсивность теплообмена за счёт излучения, ккал/час, или Вт/м²;

t_w = средняя температура твёрдой поверхности расположенных поблизости излучающих объектов, °C (°F);

t_{sk} = средневзвешенная температура кожи.

Для рабочего, одетого в обычную однослойную рабочую одежду, это уравнение можно записать в английских единицах измерения:

$$R = 15,0 \times (t_w - t_{sk})$$

где

R = интенсивность теплообмена за счёт излучения, *Btu/час*;

t_w = средняя температура поверхности окружающих излучающих объектов, °C (°F);

t_{sk} = средневзвешенная температура кожи.

3.2.3 Испарение (E).

Испарение воды (пота) с кожи человека приводит к отводу тепла из организма в окружающую среду. Максимальная возможная теплоотдача за счёт испарения зависит от скорости движения воздуха (Va) и различия в давлениях паров воды – в воздухе (Pa), и на увлажнённой потом коже (при температуре кожи) (Psk). Для рабочего, одетого в обычную однослойную рабочую одежду, можно записать уравнение, описывающее взаимосвязи между этими параметрами [[Belding 1971](#)]:

$$E = 14 \times Va^{0,6} \times (Psk - Pa)$$

где

E = интенсивность теплоотдачи за счёт испарения, ккал/час;

Va = скорость воздуха, м/с;

Pa = давление паров воды в окружающем воздухе, мм рт. столба;

Psk = давление паров воды на поверхности кожи, которое принимается равным 42 мм рт. столба (5,6 кПа) при температуре кожи 35°C (95°F).

Для рабочего, одетого в обычную однослойную рабочую одежду, это уравнение можно записать в английских единицах измерения:

$$E = 2,4 \times Va^{0,6} \times (Psk - Pa)$$

где

E = интенсивность теплоотдачи за счёт испарения, *Btu/час*;

Va = скорость воздуха, футов/мин;

Pa = давление паров воды в окружающем воздухе, мм рт. столба;

Psk = давление паров воды на поверхности кожи, которое принимается равным 42 мм рт. столба (5,6 кПа) при температуре кожи 35°C (95°F).

3.2.4 Теплопередача (K).

Этот вид теплообмена относится к прямой передаче тепла за счёт контакта между двумя средами (твёрдыми, жидкими или газообразными), имеющими разную температуру. В настоящем документе, интенсивность теплообмена за счёт теплопередачи зависит от градиента температур между поверхностью кожи и контактирующими с ней объектами (поверхностью нагретого металла; касающегося кожи охлаждающего жилета с ёмкостями с замороженной водой); и от «тепловых» свойств контактирующих объектов (например, вода лучше поглощает тепло, чем воздух или камень) [[McArdle et al. 2010a](#)]. В большинстве случаев, интенсивность теплообмена за счёт теплопередачи значительно меньше, чем за счёт испарения, конвекции и излучения. Но в некоторых случаях (например, при использовании СИЗ от перегрева: жилетов с ёмкостями с замороженной водой; одежды с трубками, по которым течёт охлаждённая жидкость, и др.), теплопередача может иметь большое значение. Теоретическое уравнение, описывающее влияние разных параметров на интенсивность теплообмена за счёт теплопередачи, можно записать так:

$$hk = K \times A \times (T_1 - T_2) / L, \quad \text{где}$$

hk = интенсивность теплообмена за счёт теплопередачи;

K = тепловая «проводимость», зависящая от физических свойств объектов;

A = площадь контакта объектов с разной температурой, м²;

L = расстояние между точками, имеющими температуру T_1 и T_2 (в метрах);

T_1 = температура более горячего объекта, °С;

T_2 = температура менее горячего объекта, °С.

Это уравнение можно переписать так, чтобы оно описывало передачу тепла от или к коже:

$$hk = K \times A (T_{\text{skin}} - T_{\text{object}}) / L, \quad \text{где } K = \text{интенсивность теплообмена за счёт теплопередачи, ккал/час.}$$

3.3 Влияние одежды на теплообмен.

Одежда является препятствием между кожей и окружающей средой, защищая человека от обычных негативных природных факторов – перегрева, переохлаждения, дождя и истирания (обувь). Для эффективной защиты от токсичных веществ, физических и биологических факторов, разработана специальная защитная спецодежда. При необходимости, одежда рабочего может изменить интенсивность теплообмена (за счёт конвекции, теплопередачи, излучения и испарения) между кожей и окружающей средой. Поэтому, чтобы вычислить интенсивность теплопередачи каждого вида, необходимо сделать коррекцию (использовать поправочные коэффициенты), учитывающие тип, количество и свойства одежды (если она заметно отличается от обычной однослойной одежды – числом слоёв, или по влаго- и газопроницаемости). Для этого используется безразмерный коэффициент влияния одежды (*clothing efficiency factor*) F_{cl} для «сухого» теплообмена [[Goldman 1978](#); [McCullough et al. 1982](#); [Vogt et al. 1982](#)]. В целом, с ростом числа слоёв, и с уменьшением газопроницаемости, одежда мешает теплоотдаче (за счёт конвекции, излучения и испарения) в большей степени.

Для случаев носки защитной спецодежды трёх разных видов и различных условий на рабочем месте были предложены поправочные коэффициенты F_{cl} , которые разрабатывались на основе вычисления изменений теплоотдачи, вызванного ноской одежды [[Heat Stress Management Program for the Nuclear Power Industry: Interim Report 1986](#)]. Эти значения коэффициентов привели к изменению значений ПДУ_н и ПДУ_а. При разработке этих поправок, как базовый вариант (при сравнении), использовали обычную рабочую одежду. Так, при носке двухслойной одежды, значения ПДУ_н и ПДУ_а следует уменьшить на 2°С (3,8°F). А при носке частично газонепроницаемой одежды, теплоотражающих костюмов или защитных фартуков, рукавиц и т.п., значения ПДУ_н и ПДУ_а следует снизить на 4°С (7,2°F). Эти поправки основаны на научных оценках (разных видов теплопередачи), и они не были ещё подтверждены ни достаточным количеством исследований в контролируемых лабораторных условиях, ни при продолжительном использовании на рабочих местах.

В тех случаях, когда условия труда требуют использования газонепроницаемой защитной спецодежды, использование комплексного показателя WBGT как показателя теплового состояния окружающей среды становится неоправданным. В таких случаях, лучше использовать термометр с сухим чувствительным элементом (t_{adb}) вместо измерений WBGT. Если температура, измеренная таким сухим термометром, достигает примерно 20°С (68°F), требуется проводить наблюдение за физиологическими показателями состояния рабочего (температура центра тела, и / или частота сердечных сокращений ЧСС). Способ, которым будет измеряться температура центра тела, и пульс, будет определяться обстоятельствами; а правильное заблаговременное планирование (размещение измерительной системы для определения физиологических показателей) должно быть сделано до одевания (газо)непроницаемого костюма/СИЗ. Мониторинг физиологических показателей должен проводиться по графику, разработанному с учётом внутреннего тепловыделения и температуры окружающей среды, измеренной термометром с сухим чувствительным элементом, и с коррекцией на солнечное излучение (t_{adb}). При выполнении работы средней тяжести, рекомендуемая периодичность физиологического мониторинга находится в диапазоне от 1 раза в 2 часа (при температуре t_{adb} 24°С 75°F) до 1 раза в 15 минут часа (при температуре t_{adb} 32°С 90°F) [[NIOSH 1985](#)].

3.3.1 Теплоизолирующие свойства одежды; и теплоотдача (не за счёт испарения).

Даже при полном отсутствии одежды, вблизи тела человека имеется слой неподвижного воздуха (пограничный слой). Он работает как слой теплоизоляции, препятствующий теплообмену между телом и окружающей средой. Обычно, когда тело и воздух вокруг него неподвижны, этот слой воздуха (I_a) обеспечивает теплоизоляцию, соответствующую примерно 0,8 кло. По определению, теплоизоляция 1 кло соответствует теплообмену $5,55 \text{ ккал} \times \text{м}^2 / \text{час}$ за счёт излучения и конвекции (H_{R+C}) на каждый градус Цельсия $^{\circ}\text{C}$ отличия температур кожи (средневзвешенной температуры кожи t_{sk}) и откорректированной температуры воздуха, измеренной термометром с сухим чувствительным элементом $t_{adb} = (t_a + t_r)/2$. Средневзвешенная температура кожи – это среднеарифметическая температура кожи, измеренная в разных местах, и откорректированная с учётом веса (доли) площадей разных частей тела. При пересчёте учитывается и то, каково количество передаваемого тепла через эти участки кожи. Поверхность кожи обычно делят на следующие области: грудь, бицепсы, предплечья, бёдра, голени, и подлопаточная область. При определении вклада разных частей тела в среднюю температуру обычно считают, что использование системы [Ramanathan \[1964\]](#) даёт достаточно точный результат. Для стандартного рабочего с площадью тела $1,8 \text{ м}^2$, теплообмен за 1 час за счёт излучения и конвекции (H_{R+C}) можно вычислить так:

$$H_{R+C} = (10/\text{clo}) \times (t_{sk} - t_{adb})$$

Таким образом, слой неподвижного воздуха вокруг полностью раздетого стандартного человека (эквивалентный теплоизоляции 0,8 кло) ограничивает теплообмен величиной $\sim 14,5 \text{ Вт}$ ($12,5 \text{ ккал/час}$) на каждый градус $^{\circ}\text{C}$ отличия температуры кожи и воздуха. Неподвижный человек, находясь в неподвижном воздухе, производит $104,7 \text{ Вт}$ (90 ккал/час) тепла за счёт обмена веществ; и теряет около $12,8 \text{ Вт}$ (или $\sim 12\%$, 11 ккал/час) за счёт дыхания и примерно такого же испарения влаги с кожи. Кроме того, если температура (воздуха) t_{adb} будет ниже температуры кожи t_{sk} (но разница меньше, чем на $5,5^{\circ}\text{C}$), то рабочий будет потеть, и отдавать тепло в окружающую среду за счёт испарения – часть оставшегося избыточного тепла, $79,1 \text{ Вт}$ (68 ккал/час), образующегося при обмене веществ [[Goldman 1981](#)].

При движении окружающего воздуха, прилегающий к телу слой неподвижного воздуха становится тоньше, и достигает минимума $\sim 0,2$ кло при скорости $4,5 \text{ м/с}$ (890 футов/мин , или 10 миль/час). При такой скорости окружающего воздуха, теплоотдача человека в окружающую среду без участия потовыделения составит $79,1 \text{ Вт}$ (68 ккал/час) при температуре воздуха, меньшей температуры кожи всего лишь на $1,4^{\circ}\text{C}$ (то есть: $68/[10/0,2] = 1,4$).

На основании изучения материалов, используемых для производства одежды, был сделан вывод, что теплоизолирующие свойства обычно примерно линейно зависят от толщины. Отличие в волокнах и в способе изготовления ткани даёт очень небольшое отличие в теплоизолирующих свойствах (за исключением случаев, когда способ изготовления ткани влияет на толщину и/или на газопроницаемость материала. Волокна ткани обеспечивают неподвижность воздуха в толще ткани, и тем самым препятствуют теплообмену. (сами) волокна достаточно хорошо проводят тепло. Увеличение плотности волокон (например, при попытке одеть ботинок, одев на ногу два носка, если ботинок подходит по размеру ноге с одним носком) может фактически ухудшить теплоизоляцию ноги [[Goldman 1981](#)].

Типичное значение теплоизолирующих свойств одежды – $1,57$ кло на 1 см толщины (4 кло на дюйм). Этот показатель сложно использовать для очень тонких слоёв ткани, или одежды, схожей с нижним бельём, которая может просто обеспечивать наличие (под собой) слоя неподвижного воздуха толщиной до 5 мм . Такие тонкие слои ткани (одежды), сами по себе, вносят небольшой вклад в теплоизолирующие свойства одежды – за исключением случаев, когда: **(а)** движения рабочего приводят к такому движению этой одежды, которое заставляет двигаться воздух, находящийся между ней и телом («эффект насоса»); **(б)** происходит сжатие одежды за счёт давления, создаваемого другой одеждой, внешними предметами, или сильным ветром; или **(с)** когда ветер продувает насквозь наружный слой одежды, удаляя неподвижный слой воздуха около тела [[ASHRAE 1981b](#); [Goldman 1981](#); [McCullough et al. 1982](#)]. В [таблице 3-1](#) приводится список значений теплоизолирующих свойств одежды (для разной комплектации всей одетой одежды). Общая, суммарная теплоизоляция (обеспечиваемая всей одеждой) не является простой арифметической суммой значений теплоизолирующих свойств отдельных предметов одежды. Скорее, она составляет 80% от арифметической суммы – из-за сжатия слоёв ткани одного элемента одежды другим. Указанное («среднее») снижение на 20% является грубым и приближённым. Реальное значение сильно зависит от таких параметров, как свойства волокон, их переплетения, удельного веса ткани, использование поролон и других нетканых материалов, и того, насколько хорошо одежда подходит человеку (по форме и размеру).

В целом, теплоизоляция зависит от толщины одетой одежды, а это в свою очередь определяется числом слоёв одежды. Добавка каждого нового слоя – если он не сдавливается – увеличивает общую теплоизоляцию. По этой причине теплоизолирующие свойства разных двухслойных костюмов схожи; и теплоизолирующие свойства разных трёхслойных костюмов тоже схожи (между собой) – вне зависимости от используемых волокон ткани и ткацкого способа изготовления [[Goldman 1981](#)].

Так как одежда изолирует человека от окружающей среды, и препятствует отводу избыточного тепла от тела (из-за теплоизолирующих свойств или из-за газонепроницаемости), то для правильной оценки тепловой нагрузки на одетого человека были разработаны поправочные коэффициенты. Пример таких поправок приводится в таблице 3-2.

В [таблице 3-2](#) приводятся поправки, учитывающие изменение тепловой нагрузки при носке разных видов спецодежды и СИЗ. Эта таблица позволяет оценить, какую общую тепловую нагрузку налагает на рабочего носка указанной (или аналогичной) одежды. В других публикациях, и в руководствах ACGIH есть более подробная информация по этой теме.

3.3.2 Газопроницаемость одежды и теплоотдача за счёт испарения.

Теплоотдача за счёт испарения при носке одежды, в целом, примерно линейно зависит от толщины одежды. Коэффициент паропроницаемости im (*moisture permeability index*) – безразмерная величина, которая (теоретически) принимает минимальное значение, равное нулю, для случая носки паронепроницаемой одежды, и максимальное значение, равное 1 для случая, когда вся влага, которая могла бы (при отсутствии одежды) испариться и уйти в окружающий воздух (с учётом его влажности, и проницаемости одежды), сможет пройти через ткань одежды. Так как движение водяного пара происходит в процессе диффузии, и ограничивается её скоростью через слой неподвижного воздуха, то значение $im = 1$ будет получено лишь при тонкой одежде и наличии ветра.

Таблица 3-1. Теплоизолирующие свойства различной одежды (выраженные в кло), **источник:** (ISO [2007])

Комплект одежды	Теплоизолирующие св-ва одежды, Icl	
	кло	м2×°C / Вт
Нижнее бельё, комбинезон, носки, обувь	0,70 0,110	
Нижнее бельё, рубашка, брюки, носки, обувь	0,75	0,115
Нижнее бельё, рубашка, комбинезон, носки, обувь	0,80	0,125
Нижнее бельё, рубашка, брюки, лёгкая куртка, носки, обувь	0,85	0,135
Нижнее бельё, рубашки, брюки, халат, носки, обувь	0,90	0,140
Нижнее бельё, футболка, рубашка, брюки, лёгкая куртка, носки, обувь	1,00	0,155
Нижнее бельё, футболка, рубашка, брюки, комбинезон, носки, обувь	1,10	0,170
Рубашка с длинными рукавами, кальсоны, усиленная (утеплённая) куртка, брюки, носки, обувь	1,20	0,185
Нижнее бельё, футболка, рубашка, брюки, лёгкая куртка, усиленная (утеплённая) куртка, носки, обувь	1,25	0,190
Нижнее бельё, футболка, рубашка, комбинезон, утеплённые (усиленные) брюки, усиленная куртка, носки, обувь	1,40	0,220
Нижнее бельё, футболка, рубашка, брюки, лёгкая куртка, утеплённые (усиленные) брюки, усиленная куртка, носки, обувь	1,55	0,225
Нижнее бельё, футболка, рубашка, брюки, лёгкая куртка, утеплённые (усиленные) брюки, усиленная куртка, носки, обувь	1,85	0,285
Нижнее бельё, футболка, брюки, куртка, утеплённые куртка и комбинезон, носки, обувь, шапка, перчатки	2,00	0,310
Рубашка с длинными рукавами, кальсоны, утеплённые куртка и брюки, парка с утеплённой подкладкой, утеплённый комбинезон, носки, обувь, шапка, перчатки	2,55	0,395

У большинства тканей значение Im в неподвижном воздухе меньше, чем 0,5 (то есть, значение im от 0,45 до 0,48). Обработка ткани водоотталкивающими составами, очень плотное переплетение волокон ткани, пропитка для обеспечения стойкости к химикатам – всё это значительно снижает im . Но даже в том случае, когда паронепроницаемые слои материала одежды снижают значение im , оно редко достигает нуля. В этом случае сохраняется перенос тепла за счёт испарения влаги с кожи и её конденсации на внутренней стороне паронепроницаемого слоя одежды. За счёт этого даже при носке полностью газонепроницаемой защитной одежды, коэффициент im равен ~ 0,08.

Трудно найти такой вид обработки ткани, который бы повышал значение её паропроницаемости (величину im). Поверхностно-активные вещества, которые увеличивают количество свободных гидроксильных радикалов (ОН) на поверхности волокон, что в некоторой степени повышает смачиваемость, могут повысить im для ткани. Но теплопередача от кожи в окружающую среду за счёт испарения пота не является простой зависимостью, определяемой im ; скорее, она определяется величиной отношения газопроницаемости к теплоизолирующим свойствам, ($im/кло$). Для «стандартного рабочего» (у которого происходит теплоотдача за

счёт конвекции и излучения с площади тела 1,8 м²), максимальную теплоотдачу за счёт испарения пота можно оценить по формуле:

$$HE_{max} = 10 \times im/clo \times 2,2 \times (Psk - Pa)$$

Коэффициент 2,2 – это [коэффициент Льюиса](#); Psk – давление паров воды (пота) при температуре кожи (tsk), и Pa – давление паров воды в окружающем воздухе при температуре воздуха (ta). Таким образом, максимальное значение теплоотдачи за счёт испарения носит линейный характер, и обратно зависит от теплоизолирующих свойств одежды – если не ухудшится из-за дополнительной обработки одежды водоотталкивающими составами, или (крайний случай) использования газонепроницаемых слоёв [[Goldman 1973, 1981, 1985a](#)]. Коэффициент ([число](#)) [Льюиса](#) получается на основе данных о доле увлажнённой кожи, скрытой теплоты (*latent heat*) и теплообменом за счёт испарения (he).

3.3.3 Физиологические проблемы, возникающие из-за носки одежды.

Чтобы определить то, какая доля кожи должна покрыться потом (w), чтобы обеспечить требуемую степень отвода избыточного тепла от тела в окружающую среду, можно в упрощённом варианте использовать отношение величин: теплоотдачи, которое требуется (Ereq), к максимально возможной в рассматриваемых условиях теплоотдаче за счёт испарения (E_{max}). Тогда получим долю кожи, покрытую потом (в процентах от всей кожи):

$$w = 100\% \times E_{req} / E_{max}$$

Таблица 3-2. Поправочные коэффициенты для разных видов одежды (°C-WBGT)

Вид одежды	Поправочный коэффициент, (°C-WBGT)	
	Старое значение	Значение 2006 г.
Обычная рабочая одежда (базовый случай)	0	0
Комбинезон (одежда) из ткани	3,5	0
Двухслойная одежда из ткани	5	3
Комбинезон из волокна (спанбонд), полученного выдуванием расплавленного полимера, синтетический (SMS)	-	0,5
Комбинезон из полиолефина	-	1
Ограничено используемый газонепроницаемый комбинезон	-	11

Источник: Bernard TE, Threshold Limit Values for Physical Agents Committee, [ACGIH \[2014\]](#).

Увлажнение части кожи не приносит дискомфортных ощущений. Более того, в условиях нагревающего микроклимата, и выполнения физической работы, увлажнение части кожи увеличивает комфорт. А когда доля кожи, покрытая потом, достигает 20%, начинает появляться ощущение дискомфорта. Это ощущение становится заметным, а также отмечается снижение работоспособности, при доле площади кожи, покрытой потом, от 20 до 40%. При доле вспотевшей кожи $w = 60\%$ снижение работоспособности становится всё более заметным. При доле вспотевшей кожи 70% пот начинает теряться, не охлаждая организм – он не испаряется, а стекает. Физиологическое напряжение (механизмов терморегуляции) становится заметным при доле запотевшей кожи от 60 до 80%. Увеличение w свыше 80% даёт незначительный эффект – даже для вполне акклиматизированных, молодых и физически крепких рабочих. Написанное выше показывает, что носка любой защитной рабочей спецодежды ухудшит переносимость нагревающего микроклимата. Так как сумма теплоизолирующих свойств (слоя неподвижного воздуха и слоя одежды, $I_a + I_{clo}$) редко бывает ниже 2,5, то отношение паропроницаемости к теплоизолирующим свойствам (im/clo) редко будут выше 0,20 [[Goldman 1985b](#)].

Физиологическую нагрузку на организм, возникающую при носке одежды, поступлении тепла в организм и выполнении физической работы, можно оценить с помощью уравнений, показывающих распределение кровеносного потока, идущего от сердца (то есть - по степени потребности в этой крови для разных целей). Объём крови, прокачиваемый сердцем за минуту (*cardiac output CO*) определяется объёмом, прокачиваемым за одно сокращение, умноженным на частоту сердечных сокращений в минуту ($CO = SV \times HR$). При увеличении интенсивности выполняемой работы рост частоты сердечных сокращений примерно линейный. Интенсивность выполняемой работы, в отношении располагаемого количества энергии, ограничивается максимально возможным поступлением кислорода к работающим мышцам за счёт притока крови. Оно измеряется в литрах в минуту (л/мин). А в условиях нагревающего микроклимата, приходится делить объём крови, подаваемый сердцем, на две части – к мышцам и к коже (для увеличения её температуры и повышения теплоотдачи). При этом не вся кровь подаётся к коже и мышцам – в кислороде нуждаются и другие органы – особенно мозг, само сердце, и внутренние органы [[McArdle et al. 2010a](#)].

При постоянной физической нагрузке объём крови, прокачиваемый сердцем за одно сокращение (SV), быстро достигает постоянной величины. Поэтому интенсивность физической нагрузки (то есть – количество кислорода, подаваемое к работающим мышцам) достаточно хорошо определяется частотой сердечных сокращений (HR). Максимальная частота сердечных сокращений ограничивает способность рабочего продолжать работу. На работоспособность оказывают негативное влияние и те обстоятельства, которые препятствуют возврату крови из периферических (кровеносных сосудов) назад к сердцу, в промежутке между его сокращениями. Максимально возможная частота сердечных сокращений HR зависит от возраста, и может быть приближённо вычислена как: $220 \text{ уд/мин} - \text{возраст (лет)}$ [[Hellon and Lind 1958](#); [Drinkwater and Horvath 1979](#)]. Если в покое частота сердечных сокращений составляет 60 уд/мин, то у рабочего (возраст 20 лет) возможное повышение составит: $220 - 20 - 60 = 140 \text{ уд/мин}$; а в возрасте 60 лет ($= 220 - 60 - 60$) 100 уд/мин. Так как при одинаковом весе и одинаковой физической (механической) работе, выполняемой 20 и 60-летним рабочими, у них будут разные максимально возможные значения частоты сердечных сокращений, то снижение производительности сердца с возрастом увеличит как ощущаемое восприятие нагрузки, так и реальную физиологическую нагрузку на пожилых сотрудников. Поэтому (при оценке условий труда и их регулировании) лучше использовать значение доли реальной частоты сердечных сокращений от максимально возможной (для конкретного рабочего с учётом его возраста), а не какое-то абсолютное значение частоты сердечных сокращений.

Перенос тепла, образующегося при работе мышц, к коже, также определяется минутной производительностью сердца (CO). И во время покоя, и во время работы, проходящая через центр тела кровь нагревается за счёт внутреннего теплообразования при обмене веществ. Чтобы кровь, идущая от кожи к внутренним органам, охлаждалась сама и охлаждала центр тела, необходима разница в температуре не менее 1°C ($1,8^\circ\text{F}$) между кожей (tsk) и внутренними органами (ректальная температура tre). Перенос тепла к коже ограничивается производительностью сердца (CO) и разницей температур кожи и внутренних органов (tre - tsk).

Температура внутренних органов (измеряется как ректальная tre) определяется внутренним (метаболическим) теплообразованием за счёт обмена веществ (M), так что при отсутствии препятствий теплоотдаче за счёт испарения пота и конвекции (одеждой, большой относительной влажностью окружающего воздуха, или из-за малоподвижности воздуха) $tre = 36,7 + 0,004 \times M$. Например, если в покое $M = 105 \text{ Вт}$, то $tre \approx 37,1^\circ\text{C}$ ($98,8^\circ\text{F}$). Обычно, в тех же условиях (при отсутствии ограничений на испарение пота), температура кожи tsk ниже температуры внутренних органов tre на примерно $3,3^\circ\text{C} + (0,006 \times M)$. Так, в покое, при $tre = 37^\circ\text{C}$, температура кожи будет $(37 - 3,3 + 0,6) = 34,3^\circ\text{C}$. Разница в температурах на 3-4 градуса показывает, что (в покое) каждый литр крови, перемещающийся от внутренних органов к коже, переносит к ней около 4,6 Вт (или 4 ккал/час) тепловой энергии. При увеличении интенсивности обмена веществ (M) возрастает температура внутренних органов tre, и снижается температура кожи tsk за счёт испарения пота. Поэтому при увеличении интенсивности выполняемой работы легче отводить тепло от тела человека (при увеличении M на каждые 100 Вт (86 ккал/час) разница температур tre и tsk увеличивается на 1°C ($1,8^\circ\text{F}$); например: температура кожи tsk снижается на $0,6^\circ\text{C}$ ($1,1^\circ\text{F}$), и ректальная температура возрастает на $0,4^\circ\text{C}$ ($0,7^\circ\text{F}$) на каждые 100 Вт увеличения M). Таким образом, при выполнении тяжёлой физической работы ($M = 500 \text{ Вт}$, или 430 ккал/час), каждый литр крови будет переносить от внутренних органов к коже уже 10,5 Вт (9 ккал/час) тепловой энергии, что в 2,5 раз больше, чем в покое [[Goldman 1973, 1985a](#)].

Работа в условиях нагревающего микроклимата увеличивает нагрузку на сердце (производительность CO), в том числе из-за расширения кровеносных сосудов в коже – меньше крови возвращается в центральные кровеносные сосуды. Постепенное уменьшение наполняемости венозных кровеносных сосудов уменьшает поступление крови к сердцу между его сокращениями, что снижает объём крови, прокачиваемый за одно сокращение. Это приводит к росту частоты сердечных сокращений HR, что позволяет сохранить минутную производительность сердца. При выполнении работы в течение 8-часовой смены, среднее значение HR (ЧСС) у здоровых, молодых и физически крепких рабочих, не должно превышать 110 уд/мин. При длительности работы 4 и два часа, средние значения частоты сердечных сокращений не должны превышать 140 и 160 уд/мин [[Brouha 1960](#)]. Если большая физическая нагрузка приводит к превышению этих значений, её следует снизить. Условия нагревающего микроклимата, добавляемые к выполнению физической работы, быстро приводят к появлению проблем – даже у крепких здоровых молодых рабочих. А если не удаётся предотвратить уменьшение объёма циркулирующей крови (из-за недостаточного потребления воды, и большого потовыделения, или рвоты, поноса или мочеотделения), то эти проблемы возрастают. Общая потеря влаги организмом может составлять 1 литр в час за 8-часовую смену.

Наступление кризиса, тепловое утомление и коллапс – это видимые проявления того, что кровоснабжение мозга недостаточно. Снижение минутной производительности сердца (CO) происходит из-за недостаточного возврата крови из периферических сосудов к сердцу, и ухудшения его наполнения перед каждым сокращением; или из-за недостатка времени между сокращениями для нормального наполнения (при частоте сокращений, достигшей максимального значения).

Одежда мешает теплоотдаче с поверхности кожи, и при носке одежды с большей степенью теплоизоляции происходит предсказуемое повышение температуры кожи. А рост tsk при увеличении

теплоизолирующих свойств одежды уменьшает теплоотвод через неё от внутренних органов. Вследствие этого носка одежды повышает температуру внутренних органов t_{re} . Другой случай, когда отвод тепла через кожу затруднён – это помехи испарению пота, когда оно необходимо для охлаждения тела (когда внутреннее теплообразование превышает теплоотдачу за счёт конвекции и излучения). Это возможно при большой относительной влажности воздуха; или низкой паропроницаемости одежды (маленьком отношении im/clo).

Когда количество пота, которое должно испариться (для обеспечения теплоотвода, соответствующего поступлению тепла в организм – чтобы поддерживать постоянную температуру) E_{req} становится равным максимально возможному поступлению влаги в воздух при преобладающих метеоусловиях E_{max} , температура кожи быстро возрастает, и начинается быстрый рост температуры центра тела. Считается, что повышение температуры центра тела свыше $38,0^{\circ}\text{C}$ ($100,4^{\circ}\text{F}$) для «среднего» рабочего – нежелательно. При температуре центра тела $39,2^{\circ}\text{C}$ ($102,6^{\circ}\text{F}$), соответствующая температура кожи составит 38°C ($100,4^{\circ}\text{F}$) – температура кожи t_{sk} поднимается вслед за температурой центра тела t_{re} , и подходит к минимальному перепаду 1°C ($1,8^{\circ}\text{F}$), при котором литр крови может перенести лишь 1,16-2,33 Вт (1-2 ккал/час) тепла. В этих условиях вероятность коллапса, вызванного перегревом, составляет 25%. При повышении температуры центра тела t_{re} до $39,5^{\circ}\text{C}$ ($103,1^{\circ}\text{F}$), и соответствующего повышения температуры кожи, риск коллапса из-за перегрева ещё больше. Если температура центра тела достигла 40°C (104°F), и произошло (соответствующее) возрастание температуры кожи, то практически каждый рабочий подвергается неминуемому риску появления заболевания (из-за сильного перегрева). Наконец, если температура внутренних органов t_{re} превысит 41°C ($105,8^{\circ}\text{F}$) приводит к тепловому удару – состоянию, опасному для жизни, и требующему неотложной медицинской помощи. Недостаточность производительности сердца (CO) может усугубляться обезвоживанием (снижается объём крови, прокачиваемый за одно сокращение (SV)), возрастом (снижается максимально возможная частота сердечных сокращений (HR)), и плохой физической подготовкой (пониженная производительность сердца). Если имеется сочетание всех трёх указанных факторов, то снижение работоспособности, и опасное возрастание температуры центра тела происходит быстрее.

Как было показано выше, носка любой защитной спецодежды (и при выполнении тяжёлой физической работы при умеренной температуре окружающей среды; и при выполнении лёгкой работы при высокой температуре) может значительно уменьшить максимально достижимую работоспособность, так как одежда препятствует теплоотводу. Носка двухслойной спецодежды, или любой однослойной газонепроницаемой одежды (для защиты от токсичных газов), вероятно, увеличит тепловую нагрузку на рабочего – если не будут использоваться какие-то дополнительные средства для охлаждения [[Goldman 1973, 1985a](#)].

Глава 4. Влияние нагревающего микроклимата на организм.

4.1 Физиологические реакции организма на нагревающий микроклимат.

4.1.1 Центральная нервная система.

Центральная нервная система выполняет общее, целостное управление терморегуляцией организма. Считается, что основную часть этой работы выполняет гипоталамус (часть мозга, отвечает за поддержание нормального состояния организма, и регулирование работы органов). Ранее считали, что передний гипоталамус является «термостатом», сумматором; а задний гипоталамус обеспечивает поддержание заданной температуры внутренних органов, и включает соответствующие физиологические реакции – при появлении изменений температуры центра тела.

В соответствии с этой моделью, передний гипоталамус получает информацию с рецепторов, чувствительных к изменению температуры кожи, мышц, желудка, других тканей центральной нервной системы, и других частей организма. Кроме того, сам передний гипоталамус содержит нейроны, реагирующие на температуру поступающей в него артериальной крови. Как показали эксперименты на животных, нейроны, обеспечивающие передачу информации о температуре, используют моноамины (из числа других нейротрансмиттеров) [Cooper et al. 1982]. Эти моноаминовые передатчики имеют большое значение при передаче соответствующей информации в задний гипоталамус. Известно, что «настройка» заднего гипоталамуса регулируется ионным обменом. Но гипотеза о «настройке» (*set point*) вызвала сильные разногласия [Greenleaf 1979]. Конкретно: (1) не удалось выявить то нейро-анатомическое место, которое отвечает за «настройку», и (2) физиологические реакции организма на перегрев нельзя объяснить с помощью «настройки». Сейчас считают, что гипоталамус суммирует информацию от терморепцепторов, и на этой основе обеспечивает физиологическую реакцию организма на повышение температуры. Но современная (научная) информация показывает, что гипоталамус регулирует температуру в диапазоне значений (около среднего значения), в котором отсутствуют физиологические реакции. Эти реакции возникают лишь тогда, когда температура превышает пороговые значения, что приводит или к потовыделению; или увеличению теплообразования, и соответствующей вазомоторной реакции (сжатие или расширение сосудов) [Mekjavic and Eiken 2006]. Также для терморегуляции имеет значение отношение концентраций ионов натрия и кальция. Концентрация ионов натрия в крови и тканях может быть легко изменена при воздействии нагревающего микроклимата и выполнении физической работы.

Если происходит передача информации от переднего гипоталамуса к заднему о температуре, то логично будет предположить, что при передаче информации о перегреве, по соответствующему каналу, передача информации о переохлаждении (по другому каналу) будет в какой-то степени заблокирована (и наоборот). Но известно, что на всех уровнях центральной нервной системы существует многократное дублирование поступления информации, и несомненно, что имеется много сложных нервных «обходных путей» её передачи (*neural “loops”*).

Более поздние исследования показали, что работа гипоталамуса определяется скорее не «настройкой», а интегрированием сигналов терморепцепторов и формированием ответной реакции, которую можно назвать «перекрёстно-запрещающей» (*cross inhibitory*). Другими словами, когда преобладают сигналы от терморепцепторов, показывающие нагрев кожи, суммарная ответная реакция выражается в увеличении потовыделения, и увеличении периферийного кровообращения; и одновременно в снижении теплообразования (и наоборот) [Mekjavic and Eiken 2006]. Как ни странно, для поддержания безопасного значения температуры центра тела (при увеличении температуры окружающей среды) – первая повышается, т.к. это увеличивает передачу тепла к более холодной коже; и позволяет повысить температуру кожи, что улучшает теплоотвод с неё в окружающую среду [Taylor et al. 2008]. В этом разделе рассмотрена роль переднего гипоталамуса в развитии теплового стресса в условиях нагревающего микроклимата, и обусловленных перегревом несчастных случаях и заболеваниях; но имеется много других факторов, также влияющих на передний гипоталамус и терморегуляцию организма. На него влияют: гормоны (репродуктивные и щитовидной железы); (концентрация) ионов и ОСМОЛЯЛЬНОСТЬ (*общая концентрация всех растворённых частиц*) цереброспинальной жидкости (CSF); глюкоза; сигналы от других участков мозга; циркадные изменения; менструальная функция [Kandel and Schwartz 2013].

Необходимо разобраться – имеется ли различие между (физиологически) повышенной температурой, и лихорадкой? Считается, что задний гипоталамус повышает «настройку» (температуры). При лихорадке, организм включает функции сбережения тепла (как например дрожь, и сокращение кожная вазоконстрикция (сужение сосудов) так, чтобы повысить температуру тела до нового, стабильного и регулируемого значения [Cooper et al. 1982]. А при выполнении работы в условиях нагревающего микроклимата (что может привести к нагреву организма), температура тела повышается до нового стабильного значения, которое регулируется гипоталамусом;

и при этом используются только те (физиологические) реакции, которые обеспечивают отвод тепла от организма. При лихорадке, повышенная температура тела регулируется обычными физиологическими механизмами, и поддерживается (ими) около нового, увеличенного значения [[Taylor et al. 2008](#)].

4.1.2 Выполнение физической работы и работоспособность.

Мышцы составляют одну из наиболее распространённых тканей организма; их масса достигает 45% от всей массы тела. Кости скелета, на которые действуют мышцы, составляют около 15% от массы тела. Кости сравнительно слабо участвуют во внутреннем образовании тепла при обмене веществ. Даже в состоянии покоя человека, его мышцы обеспечивают от 20 до 25% от внутреннего тепловыделения [[Rowell 1993](#)]. Внутреннее (метаболическое) тепловыделение в состоянии покоя, если его отнести к площади тела, или к массе мышц, или к массе тела без жира - имеет схожее значение у разных людей. С другой стороны, при выполнении физической работы теплообразование в мышцах может быть гораздо больше, и для поддержания постоянной и безопасной для здоровья температуры тела это тепло нужно удалить. Образование тепла в организме (при выполнении разной работы) может быть очень различным; а выполнение работы в условиях нагревающего микроклимата создаёт дополнительные проблемы для терморегуляции (за счёт дополнительного поступления тепла извне; или за счёт помех теплоотдаче в окружающую среду) [[Parsons 2003](#)].

Большое значение имеет то, какая доля от максимального потребления кислорода $\dot{V}O_2\max$ (которое может использовать организм) необходима для выполнения конкретной работы. Во-первых, (для увеличения потребления кислорода) сердечно-сосудистая система должна увеличивать объём крови, прокачиваемый за минуту (CO), а при потреблении кислорода до 40% от максимального ($\dot{V}O_2\max$) это требует увеличения и частоты сердечных сокращений HR, и объёма крови, прокачиваемого за одно сокращение SV. А при достижении максимального значения объёма, прокачиваемого за одно сокращение, рост производительности сердца возможен только за счёт роста частоты сердечных сокращений (пока не будет достигнуто её максимальное значение) [[McArdle et al. 1996b](#); [Taylor et al. 2008](#)]. Эти изменения в работе сердечно-сосудистой системы обеспечивают подачу достаточного количества крови к мышцам, и их работу при повышенной нагрузке [[McArdle et al. 1996b](#)]. Если выполнение тяжёлой физической работы необходимо в течение длительного времени, особенно в условиях нагревающего микроклимата, возникают дополнительные проблемы [[Åstrand et al. 2003](#)]. Во-вторых, работа мышц приводит к увеличению их температуры, что связано с возрастанием температуры центра тела, и дополнительным влиянием на терморегуляцию. В-третьих, выполнение тяжёлой физической работы, даже при умеренной температуре окружающей среды, работающие мышцы могут оказаться недостаточно обеспеченными кислородом [[Taylor et al. 2008](#)].

При повышенной температуре, подача кислорода к тканям организма в требуемом количестве может быть затруднена, так как перемещение крови отчасти используется не для этого, а для отвода тепла от внутренних органов к коже (при ограниченной производительности сердца) [[Rowell 1993](#)]. Из-за недостатка кислорода, работающие мышцы начинают использовать свои запасы энергии, не требующие кислорода. Они получают энергию от окисления гликогена в мышцах [[McArdle et al. 1996b](#)]. Это приводит к накоплению молочной кислоты, и соответственно мышечной усталости. При дальнейшем увеличении доли потребляемого кислорода (от максимального значения $\dot{V}O_2\max$), анаэробный обмен веществ начинает занимать всё большую и большую долю в суммарном обмене веществ в мышцах. При этом не удовлетворённая потребность мышц в кислороде «накапливается», и это накопление должно устраняться (для обеспечения переработки накопившейся в мышцах молочной кислоты). Это может происходить во время отдыха. В условиях нагревающего микроклимата, период отдыха после (тяжёлой) работы должен быть увеличен так, чтобы обеспечить отвод накопившегося в организме избыточного тепла (тело должно остыть); для переработки накопившейся молочной кислоты; и для восполнения израсходованной с потом воды. Обычно для достаточного обеспечения организма водой хватает потребления безалкогольных напитков (вволю) [[Montain and Chevront 2008](#)]. А если человек пьёт алкогольные напитки после смены, проработанной в условиях нагревающего микроклимата, то благодаря мочегонным свойствам алкоголя организм может не получить достаточного количества воды [[Schuckit 2011](#)]. Из-за этого, восстановление нормального содержания воды в организме может задержаться до следующего дня. На процесс восстановления и на недостаток кислорода влияют т.н. «алактатные составляющие» (*alactate components*, отсутствие накопления молочной кислоты). Это влияние может затрагивать возвращение крови в лёгкие после прохождения через мышцы; отдачи кислорода, связанного с миоглобином; остаточным влиянием гормонов, влияющих на теплообразование (адреналин, норэпинефрин, тироксин и глюкокортикоиды /*epinephrine, norepinephrine, thyroxine, and glucocorticoids*/), и пополнение аденозинтрифосфата (АТФ) и креатинфосфата (PCr) в клетках мышц [[McArdle et al. 2010a](#)].

Известно, что у разных людей, выполняющих физическую работу при одинаковой доле потребления кислорода от максимально возможной ($\dot{V}O_2\max$), в широком диапазоне температур окружающей среды (от 5°C до 29°C, 41–84,2°F), температура центра тела возрастает до одной и той же равновесной величины [[Lind 1976, 1977](#)]. А при выполнении совершенно одинаковой механической работы в одинаковых условиях людьми с очень разным максимальным потреблением кислорода ($\dot{V}O_2\max$), температуры их центров тел будут различны. Сейчас

рекомендуют, чтобы при выполнении работы на промышленных предприятиях, потребление кислорода сотрудниками было не выше 30-40% от (их) максимально возможного значения ($\dot{V}O_{2max}$). А выполнение этой рекомендации в условиях комфортабельного прохладного микроклимата соответствует ректальной (внутренней) температуре 37,4-37,7°C (99,3–99,9°F) [[Åstrand et al. 2003](#)]. При отсутствии (внешнего) теплового воздействия, и при потреблении половины кислорода от максимально возможного (50% $\dot{V}O_{2max}$), ректальная температура составит 38°C (100,4°F).

Максимальное потребление кислорода у разных людей не одинаково. Помимо различий, зависящих от пола и возраста, имеются индивидуальные отличия. В группе из 100 рабочих, подгруппа из 95 человек (выбранная по близости их максимального потребления кислорода к средней величине), охватывает диапазон $\pm 20\%$ от среднего во всей этой группе значения $\dot{V}O_{2max}$. Эти отличия могут наполовину объясняться разной массой тела (особенно - мышечной массой); а другие причины непостоянства ещё не установлены. С возрастом, происходит уменьшение значения максимального потребления кислорода $\dot{V}O_{2max}$ (после достижения максимума в 20 лет). У здоровых людей после 30 лет, это максимальное потребление снижается примерно на 10% на каждые 10 лет возраста. Возрастное снижение менее заметно у тех, кто (следя за здоровьем), сохраняет хорошую физическую подготовку. У женщин, в среднем, максимальное потребление кислорода составляет около 70% от $\dot{V}O_{2max}$ от этого значения у мужчин того же возраста (из-за меньшей абсолютной массы мышц, большего количества жировых тканей, и меньшей концентрации гемоглобина) [[Åstrand and Rodahl 1977](#); [Åstrand et al. 2003](#)]. При выполнении одной и той же работы на температуру их центра тела у мужчин и женщин с разной массой тела, разного возраста и работоспособности, оказывает влияние множество факторов.

Другой причиной отличий являются потенциально значительные различия в: производительности сердечно-сосудистой системы; потовыделении; и способности регулировать электролитный состав внутренних жидких сред организма.

При повышении температуры тела в условиях нагревающего микроклимата, работоспособность уменьшается (в ограниченной степени). Это снижение становится заметнее при возрастании температуры тела. Обезвоживание организма, само по себе, не уменьшает максимально возможное потребление кислорода ($\dot{V}O_{2max}$) – кроме случаев очень сильного обезвоживания. Потому причиной снижения работоспособности является именно повышение температуры тела. Прежде чем снижение станет заметным, температура центра тела должна вырасти до $>38^\circ\text{C}$ (100,4°F). Но рост ректальной температуры до 39°C (102,2°F) может привести к некоторому уменьшению максимального потребления кислорода ($\dot{V}O_{2max}$).

Способность выполнять физическую работу длительное время в условиях нагревающего микроклимата снижается при обезвоживании, что может привести к уменьшению потовыделения; соответствующему увеличению внутренней температуры тела (ректальной), и частоты сердечных сокращений HR. При сильном тепловом воздействии, и большом потовыделении (750-1000 мл/час), недостаток воды в организме становится сложно компенсировать. Обычно, (субъективно ощущаемая человеком) жажда не соответствует потребности его организма в воде, и он пьёт меньше, чем требуется для возмещения потерь воды при потовыделении [[DOD 2003](#)]. Факты показывают, что рост температуры тела в условиях нагревающего микроклимата приводит к снижению работоспособности.

Познавательные способности (когнитивные, умственные) у людей, выполняющих физическую работу в условиях нагревающего микроклимата, могут возрастать, снижаться, или практически не изменяться [[O'Neal and Bishop 2010](#)]. Если перегрев организма снижает умственную работоспособность, это может привести к падению производительности труда, требующего внимания (бдительности), выполнения психомоторных заданий и т.п. [[Givoni and Rim 1962](#); [Ramsey and Morrissey 1978](#); [Hancock 1981, 1982](#); [Marg 1983](#)]. Это снижение работоспособности может быть, хотя бы отчасти, связано с ростом температуры центра тела, и обезвоживанием организма. В некоторых случаях теплового утомления, ректальная температура возросла до значений 38,5°C – 39,0°C (101,3–102,2°F), что нарушало (нормальную) работу центральной нервной системы (судя по ухудшению способности правильно и быстро выполнять движения, замешательству, увеличению раздражительности, ухудшению зрения, и изменению личных свойств (*changes in personality*)). Эти последствия перегрева побудили сделать предположение (которое пока не проверено), что они вызваны ухудшением кровоснабжения мозга, называемого церебральной аноксией [[MacPherson 1960](#); [Leithead and Lind 1964](#); [Hancock 1982](#)].

4.1.3 Регулирование кровообращения.

Движение крови к разным органам и системам определяется вегетативной нервной системой, и эндокринной системой. Движение крови обеспечивает все ткани организма кислородом и питанием; и позволяет удалять продукты обмена веществ в них, и образующееся при обмене веществ тепло. Но если работа выполняется в условиях нагревающего микроклимата, то (повышение производительности) сердца достигает такой степени, когда оно уже не в состоянии – одновременно – и обеспечивать кровоснабжение всех тканей и систем; и обеспечивать отвод тепла.

При выполнении физической работы, сначала происходит сокращение кровеносных сосудов во всём теле, включая подкожные ткани. Улучшение кровоснабжения работающих мышц происходит за счёт воздействия (на

некоторые кровеносные сосуды) сосудорасширяющих веществ «местного» действия; и эти вещества дополнительно препятствуют сокращению тех сосудов, которые доставляют кровь к работающим мышцам, за счёт ранее упомянутого общего (для всего организма, по сигналам нервной системы). Чем выше физическая нагрузка, тем сильнее сокращаются те кровеносные сосуды, которые не обеспечивают доставку крови к работающим мышцам. Это очень важно, так как сокращение крупных и многочисленных венозных сосудов органов пищеварения может добавить до одного литра крови к её движущемуся объёму [Rowell 1977, 1993].

Если же (организму) нужно увеличить теплоотдачу в окружающую среду, то вегетативная нервная система уменьшает описанное выше сужение кровеносных сосудов подкожных тканей; а затем расширяет их за счёт неуставленного пока механизма. Обеспечение защиты организма от перегрева обеспечивается, в основном, за счёт потовыделения; и за счёт неизвестного механизма, управляющего расширением периферических кровеносных сосудов под кожей.

Если человек длительное время выполняет физическую работу, требующую большого (как доля от $\dot{V}O_2\max$) потребления кислорода; или выполняет менее тяжёлую работу – но в условиях нагревающего микроклимата, то нагрузка на сердце остаётся достаточно постоянной, но объём крови в центральных венозных кровеносных сосудах снижается из-за расширения подкожных сосудов. Постепенно уменьшается объём крови, прокачиваемый сердцем за одно сокращение (SV), и для сохранения прежнего минутного расхода крови CO необходимо увеличить частоту сердечных сокращений HR. Также уменьшается эффективный, циркулирующий объём крови (отчасти – за счёт потери влаги при потовыделении; отчасти из-за того, что кровеносная система пытается обеспечить повышенную подачу крови и к мышцам, и к коже [Rowell 1977].

Кровеносная система играет важную роль в терморегуляции организма, т.к. движение нагретой внутренними органами крови к более холодной коже обеспечивает отвод тепла от них; а затем отвод от кожи в окружающую среду. Если человек на подвергается тепловому воздействию, и находится в состоянии покоя, то расход крови через (подкожные) кровеносные сосуды составляет приблизительно от 200 до 500 мл/мин; а при сильном перегреве может возрасти до 7-8 л/мин. Движение крови к периферийным (подкожным) сосудам определяет отвод тепла от внутренних органов, и её отвод от организма в окружающую среду [Taylor et al. 2008]. Но увеличение подачи крови к коже уменьшает её подачу к внутренним органам, почкам и мышцам. При выполнении физической работы в условиях нагревающего микроклимата, в крови одновременно нуждаются и работающие мышцы (кислород), и внутренние органы (отвод тепла к коже). Но подача крови к мышцам в условиях перегрева уменьшается примерно на 25% (снижается с ~ 2,4 мл/(грамм × мин) до ~ 2,1 мл/(грамм × мин) из-за оттока крови к коже [Taylor et al. 2008]. Это имеет место у человека, подвергающегося компенсируемой тепловой нагрузке, и при достаточном поступлении влаги в организм вместо потерянной [González-Alonzo et al. 2008; Taylor et al. 2008]. А если организм обезвожен, то повышение температуры центра тела приводит к чрезмерной нагрузке и на сердечно-сосудистую систему, и на систему терморегуляции в гипоталамусе [Taylor et al. 2008]. При обезвоживании организма, перераспределение потоков крови к мышцам и к коже, и (отчасти) из-за потовыделения, происходит значительное сокращение объёма плазмы [González-Alonzo et al. 2008]. А уменьшение эффективного объёма плазмы может привести к увеличению частоты сердечных сокращений, и потребности сердца в кислороде [Parsons 2003]. Как в покое, так и во время физической работы, тепловое воздействие значительно увеличивает производительность сердца CO, частоту сердечных сокращений HR, и объём крови, прокачиваемый за одно сокращение (по сравнению с теми же показателями в нормальных температурных условиях) [Rowell 1993]. Но (это состояние) не может продолжаться бесконечно – или из-за обезвоживания организма за счёт потовыделения, или из-за перераспределения движения значительной части крови к коже - потому что происходит уменьшение объёма прокачиваемой крови, и соответственно, объёмов, прокачиваемых за одно сокращение, и за одну минуту (SV и CO) [Taylor et al. 2008].

4.1.4 Выделение пота.

В условиях нагревающего микроклимата, когда теплоотдача за счёт излучения невозможна, главным способом отвода тепла в окружающую среду становится испарение (пота с кожи). Во внешних слоях кожи есть много потовых желез. Они управляются холинэргическими симпатическими нервами, и выделяют на поверхность кожи гипотонический водный раствор. Кроме того, для отвода тепла в окружающую среду (может использоваться) конвекция, теплопередача, и поведение работника (например – перемещение в прохладное место, снятие или одевание одежды, питье воды, и действия, направленные на изменение внешних микроклиматических условий) [Taylor et al. 2008]. При условиях, когда температура, измеренная термометром с влажным чувствительным элементом (*wet-bulb temperature*) составляет 35°C (95°F), находящийся в покое организм может потеть так, что будет терять 0,8-1 литр воды в час. А испарение каждого литра воды отводит в окружающую среду 2,436 кДж (580 ккал) энергии [McArdle et al. 1996a]. Большой теплоотдачи при испарении обычно достаточно для удаления из организма тепла, образующегося при обмене веществ как в покое (~315 кДж/час при массе тела 75 кг), так и при выполнении тяжёлой физической работы. У выносливых спортсменов среднее потовыделение составляет 1,5-2 л/час, что обеспечивает отдачу тепла за счёт испарения 3,654-4,872 кДж/час. Это в 11,6-15,5 раз больше, чем количество тепла, выделяемое в покое [Gisolfi 2000]. И этого обычно с

избытком хватает для обеспечения адекватного теплоотвода от тела – даже при большом теплообразовании за счёт обмена веществ.

Но при потовыделении (и, соответственно, обезвоживании организма) в условиях повышенной влажности воздуха, испарение пота затруднено, теплоотдача в окружающую среду снижается, и температура центра тела возрастает. Например, при значении показателя температуры (*heat index*) выше 35°C (95°F), в основном из-за большой относительной влажности (RH) (или при значении показателя температуры WBGT от 33 до 25°C (91,4–77°F) - в зависимости от тяжести выполняемой физической работы), отвод тепла от организма за счёт испарения пота прекращается. Поэтому, даже если температура окружающего воздуха, измеренная термометром с сухим чувствительным элементом, находится в диапазоне комфортабельных значений (например, 23°C 73,4°F), при большой относительной влажности может получиться так, что «ощущаемая температура», или показатель температуры (*heat index*) будут достаточно большими для того, чтобы происходил перегрев рабочего и, возможно развитие заболеваний, вызванных перегревом [Taylor et al. 2008].

Выделение пота сильно обезвоживает организм, а это создаёт (дополнительную) тепловую нагрузку, и нагрузку на сердечно-сосудистую систему. Аклиматизированные люди могут терять воду за счёт потовыделения с максимальной скоростью до 3 л/час; а при выполнении тяжёлой физической работы – даже до 12 л/час (на кратковременном отрезке времени) [McArdle et al. 1996a]. Поэтому главной проблемой при перегреве является обеспечение адекватной замены потери воды (и других веществ), чтобы снизить риск перегрева (*гипертермии*).

Накопленный опыт показывает, что снижение массы тела на 0,45 кг (1 фунт) показывает, что произошло уменьшение содержания воды на 450 мл в клетках организма и между ними; и эта потеря должна возмещаться за счёт питья воды. Часть воды теряется при дыхании [McArdle et al. 1996a]. В покое, в среднем, потеря воды при дыхании может составлять 350 мл/день при умеренных температуре и влажности. Эта потеря воды вносит вклад в обезвоживание организма, и она возрастает при выполнении более тяжёлой работы.

В состав пота входит соль, хлорид натрия. В условиях США, при нормальном питании в организм поступает порядка 4 грамм натрия (в соли) в день (*эквивалентная масса* 174 мEq в день), и недостаток соли в организме вряд ли возможен [Food and Nutrition Board, Institute of Medicine 2004]. Но у неакклиматизированных рабочих содержание соли в поте может составлять от 10 до 70 мEq эквивалентной массы за день потовыделения (0,23–1,62 грамм/литр) [Montain and Chevront 2008]; а у акклиматизированных содержание соли в поте может уменьшиться до 23 мEq/литр (0,530 грамм/литр), что наполовину меньше, чем у не акклиматизированных людей. Поэтому у неакклиматизированных людей, при небольшом потреблении соли, может появиться её недостаток в организме. Теоретически, при сохранении такого недостатка в течение длительного времени (в сочетании с питьём большого количества жидкости), может потребоваться дополнительное снабжение организма солью. При длительном сохранении недостатка соли в организме, акклиматизация к нагревающему микроклимату ухудшается. В условиях (в США – прим.) дополнительное потребление соли требуется редко, за исключением, может быть, тех рабочих, которые акклиматизируются к воздействию нагревающего микроклимата – первые 2-3 дня привыкания [Lind 1976; DOD 2003]. К концу третьего дня привыкания к тепловому воздействию, организм уже перестраивается в значительной степени, и отдаёт меньше соли с потом и мочой, и дополнительный приём соли уже нужен меньше. Если учесть то, что в США много рабочих, у которых повышенное давление, и то, что при нормальном питании, в среднем, потребление соли довольно велико, то можно сказать, что (в этом случае) дополнительное потребление соли вряд ли оправдано; и рекомендации дополнительного приёма соли не обоснованы. Таблетки соли могут раздражать желудок, и их не следует использовать [DOD 1980; 2003]. Для рабочих, акклиматизирующихся к нагревающему микроклимату, и не имеющих ограничений в приёме соли по состоянию здоровья (рекомендации врача), можно рекомендовать в первые 2-3 дня акклиматизации добавлять больше соли в еду [DOD 2003]. Недостаток соли в организме также может компенсироваться питьём «спортивных» напитков, часто содержащих около 20 мEq натрия на литр [Montain and Chevront 2008]. В целом – добавка соли в продукты питания достаточно хорошо восполняет потерю электролитов при потовыделении. А аккуратная акклиматизация рабочих может сделать дополнительный приём соли ненужным.

Так как у неакклиматизированных рабочих при потовыделении происходит большая потеря калия, то их быстрый, неожиданный переход на новое место работы в нагревающий микроклимат (без акклиматизации) может привести к значительному снижению содержания калия в организме. А это влечёт за собой серьёзные физиологические последствия – вплоть до теплового удара [Leithhead and Lind 1964]. Приём соли в таблетках в большом количестве может увеличить недостаток калия в организме. Но обычно (кроме людей, принимающих мочегонные лекарства – диуретики) потеря кальция не создаёт проблем, т.к. это легко восполняется потреблением продуктов питания (калия много в мясе и фруктах) [Greenleaf and Harrison 1986]. Так как приём мочегонных лекарств вызывает потерю калия, то те рабочие, которые их принимают, и которым предстоит работать в условиях нагревающего микроклимата, должны посоветоваться с врачом. Они должны сказать ему, что будут работать в условиях перегрева, и что им нужно знать, как принимаемые ими лекарства могут повлиять на реакцию их организма на нагревающий микроклимат. Если врач разрешит, дополнительный приём соли и калия может потребоваться только во время акклиматизации, или при каких-то необычных, редко встречающихся обстоятельствах.

4.1.4.1 Потеря воды и электролитов организмом, и влияние эндокринной системы.

При потовыделении, необходимо возместить потерю воды организмом. В «горячих цехах», потеря воды за смену может составлять 6-8 литров. Если эта потеря не будет возмещаться, от произойдёт постепенное обезвоживание организма. Это уменьшит содержание воды во внеклеточном пространстве, объём плазмы, и содержание воды в клетках. Факты показывают, что степень потовыделения зависит от содержания влаги в организме (гидратации) [[Leithead and Lind 1964](#); [Henschel 1971](#); [Greenleaf and Harrison 1986](#)]. Постепенное обезвоживание уменьшает потовыделение, что приводит к увеличению температуры центра тела, а это опасно.

Часто бывает трудно полностью компенсировать большую потерю влаги с потом в течение смены, и нередко недостаток воды доходит до 2-3% от массы тела, а иногда и больше (*Примечание к переводу: «... потеря воды с потом за 8-часовую смену колебалась от 3,8 до 11,6 кг, составляя в среднем 8,6 кг. ... У остальных рабочих ... в среднем она превышает 4 кг за рабочую смену.»*²). При выполнении работы в условиях охлаждающего и нагревающего микроклимата, сообщали об обнаружении взаимосвязи между увеличением ректальной (внутренней) температуры при потере влаги организмом свыше 3% от массы тела [[Kerslake 1972](#) (p. 316)]. У людей, находящихся в нагревающем микроклимате, обычное чувство жажды «не срабатывает» - они (руководствуясь ощущениями) пьют меньше воды, чем это на самом деле требуется организму [[Greenleaf and Harrison 1986](#); [DOD 2003](#)]. Поэтому следует стимулировать их пить воду, или другие жидкости (например – «спортивные» напитки). Жидкость должна быть охлаждённой, и приятной для питья (температура может быть ниже 15°C 59°F). Для возмещения потери воды при потовыделении, лучше пить немножко и часто, а не помногу раз в час [[McArdle et al. 2010b](#)]. Необходимо обеспечить каждого сотрудника своим стаканом (чашкой), а не пользоваться одним на всех. На сознательном уровне люди редко понимают, сколько пота они потеряли, и сколько воды им нужно. Потовыделение в нагревающем микроклимате часто бывает 1 литр в час. (Эта потеря) вполне может быть возмещена – при выполнении рабочими соответствующих инструкций. Опыт показывает, что при выполнении работы в условиях нагревающего микроклимата в течение 1-2 часов, лучше пить простую охлаждённую воду. Пот является **изотонической жидкостью** по отношению к плазме крови (то есть концентрации солей в нём и в плазме схожа), и за первые 1-2 часа работы сотрудник не потеряет много натрия с потом [[McArdle et al. 1996b](#)]. Поэтому при таком непродолжительном воздействии перегрева пить специальные напитки, содержащие электролиты, необязательно. А если потовыделение продолжается много часов, то лучше пить специальные «спортивные» напитки, содержащие определённое количество электролитов, что возместит их потерю при выделении пота. Концентрация электролитов/углеводов в напитке не должна превышать 8% по объёму. Если она будет больше, это затруднит поглощение воды организмом в желудочно-кишечном тракте [[Parsons 2003](#)]. Чувство жажды не в полной мере соответствует недостатку воды в организме, и лучше пить жидкости через регулярные интервалы, чтобы возместить потерю воды организмом [[McArdle et al. 1996b](#)]. (Примечание к переводу: с потом теряется не только вода и электролиты, но и, например, витамин С³).

Поскольку концентрация электролитов в плазме (особенно – натрия, калия и хлора) сильно влияет на работу клеток и их объём, она строго регулируется физиологическими механизмами. Для регулирования их концентрации используются почки, на которые влияет несколько гормонов, в том числе система ренин-ангиотензин-альдостерон (RAAS), и антидиуретический гормон (ADH). В нормальных условиях, концентрация ионов натрия в плазме находится в диапазоне 135-145 миллимоль/литр. При концентрации ионов натрия Na⁺ менее 135 миллимоль на литр состояние квалифицируется как (умеренная) **гипонатриемия**, а при концентрации менее 120 миллимоль/л – как сильная гипонатриемия. Это состояние является следствием того, что ранее, при выполнении работы в условиях нагревающего микроклимата, и по завершении смены, возмещение недостатка воды было плохо организовано. Потенциально, гипонатриемия может стать опасной для жизни. Для развития гипонатриемии недостаточно только пить много жидкости – необходимо, чтобы одновременно организм терял много ионов натрия с потом [[Montain et al. 2006](#)].

Обычно гипонатриемия возникает у хорошо тренированных спортсменов, участвующих в марафонских забегах, ультра-марафонах, и так называемых триатлонах *Iron Man*, но встречается и у рабочих, длительное время подвергающихся перегреву [[Rosner and Kirven 2007](#)]. У очень выносливых атлетов гипонатриемия встречается с частотой 13-18%. Симптомы могут быть различны; чаще всего (~70% случаев) они минимальны; но бывают и серьёзные – вплоть до **энцефалопатии**, **респираторного дистресса** и смерти. Гипонатриемия возникает во время спортивных состязаний или выполнения работы в условиях нагревающего микроклимата, когда спортсмен или рабочий пьёт слишком много простой воды для предотвращения обезвоживания организма при сильном потовыделении. Эта вода разбавляет ионы натрия в плазме, что в свою очередь нарушает осмотическое равновесие, которое может привести к отёку головного мозга и отёку лёгких. Это (состояние) может привести к смерти у небольшого числа пострадавших [[Rosner and Kirven 2007](#)].

На риск развития гипонатриемии влияют: выполнение работы в условиях перегрева более 4 часов; пол (для женщин опасность выше); маленькая масса тела; чрезмерное потребление воды (более полутора литров в час); степень обезвоженности организма перед началом работы; приём нестероидных противовоспалительных

лекарств (но это показали не все исследования, ситуация пока не вполне ясная); и крайне высокая температура окружающей среды [[Rosner and Kirven 2007](#)]. Развитие гипонатриемии сильно взаимосвязано с потреблением большого количества воды [[Almond et al. 2005](#)], и у большинства спортсменов-атлетов, или у рабочих горячих цехов она начинает развиваться – но не у всех из них это развитие приводит к появлению симптомов [[Rosner and Kirven 2007](#)]. Так что слабая (умеренная) гипонатриемия не опасна. Гипонатриемия может привести к ухудшению здоровья, включая смерть, но на её развитие влияет много факторов (внешних и внутренних - предрасположенность), и гипонатриемия может эффективно лечиться для снижения заболеваемости и смертности [[Rosner and Kirven 2007](#)]. Для предотвращения негативных последствий необходимо обеспечить правильный приём жидкости взамен теряемой с потом воды.

На терморегуляцию организма большое влияние оказывают два гормона: [антидиуретический гормон \(ADH\)](#) и [альдостерон](#). На скорость образования этих гормонов и их поступление в организм влияют разные факторы, например - объём плазмы и концентрация в ней хлорида натрия. Антидиуретический гормон поступает в организм из гипофиза, который имеет прямое нервное соединение с гипоталамусом, и может также получать сигналы из других органов. Антидиуретический гормон АДН предназначен для снижения потерь воды через почки, а на потерю воды при потовыделении он не влияет. Содержание воды в теле, включая объём плазмы в сосудах, также регулируется RAAS (*ренин-ангиотензин-альдостерон*). Изменение объёма жидкости, или концентрации электролита (натрия), будет включать в работу RAAS для сохранения жидкостей и электролитов на уровне почек и потовых желез за счёт действия альдостерона [[Jackson 2006](#)]. Регулирование объёма жидкости (особенно плазмы) важно для поддержания давления крови и кровоснабжения органов. Другим продуктом RAAS является [ангиотензин II](#), мощный сосудосуживающий (протеин), помогающий поддерживать кровяное давление и, в целом, работу сердечно-сосудистой системы при значительной потере жидкости из сосудов. Он также является важным стимулятором выпуска альдостерона из надпочечников [[Williams et al. 2003](#)].

4.1.4.2 Влияние питания.

Как правило, для работающих в условиях нагревающего микроклимата, подходит хорошо сбалансированная диета, обычная для работающих в нормальных температурных условиях. При очень большом потреблении белков увеличивается потеря воды с мочой (т.к. нужно удалять из организма азот), и возрастает потребность в приёме воды [[Greenleaf 1979](#); [Greenleaf and Harrison 1986](#)]. Влияние воды и соли на организм; и возможная необходимость в дополнительном снабжении организма калием - рассматривались выше. В некоторых странах, где население получает мало витамина С с пищей, добавки могут улучшить акклиматизацию [[Strydom et al. 1976](#)]. Для увеличения задержки жидкости в организме может происходить слишком большое потребление натрий-содержащих добавок. Но питание продуктами, содержащими много натрия, может на самом деле понизить объём плазмы (даже при правильном потреблении жидкости). Поэтому повышение потребления натрия нужно делать разумно, чтобы у рабочих не произошли усиленное обезвоживание организма, и потеря электролита [[McArdle et al. 1996a](#); [Williams et al. 2003](#)]. Кроме того, некоторые пищевые добавки могут влиять на, или нарушать процессы приспособления клеток и систем к тепловому воздействию у людей, выполняющих физическую работу [[Kuennen et al. 2011](#)].

4.1.4.3 Особенности работы пищеварительной системы в нагревающем микроклимате.

Перегрев при физической нагрузке может влиять на желудочно-кишечный тракт, его проницаемость (протекающая кишка “leaky gut”), что может привести к попаданию в организм парацеллюлярных эндотоксинов [[Zuhl et al. 2014](#)]. Эти эндотоксины могут повысить (концентрацию) лейкоцитов, что в свою очередь ещё больше повысит поступление противовоспалительных [цитокинов](#) [[Leon 2007](#)]. Этот «воспалительный каскад» увеличивает повреждение систем и органов. Восприимчивость конкретного рабочего к увеличению проницаемости желудочно-кишечного тракта и повреждению эндотоксинами зависит от: возраста; обезвоженности организма; потери электролитов при потовыделении; наличия заболеваний сердечно-сосудистой системы; приёма некоторых лекарств (например – мочегонных, антихолинергических, и нестероидных противовоспалительных препаратов); наличие алкогольной зависимости. Некоторые продукты питания, содержащие [кверцетин](#) (каперсы, красный лук), могут дополнительно увеличить проницаемость желудочно-кишечного тракта при перегреве, и усугубить последствия гипертермии [[Kuennen et al. 2011](#); [Zuhl et al. 2014](#)].

4.1.5 Акклиматизация к нагревающему микроклимату.

Когда (не привыкшие к, или отвыкшие от нагревающего микроклимата) рабочие подвергаются тепловому воздействию, то обычно это вызывает появление дискомфорта и (заметных) симптомов теплового утомления: повышение температуры центра тела, частоты сердечных сокращений, головная боль или тошнота, и другие [[Leithhead and Lind 1964](#); [WHO 1969](#); [Kerslake 1972](#) (p. 316); [Wyndham 1973](#); [Knochel 1974](#); [Hancock 1982](#); [Spaul and Greenleaf 1984](#); [DOD 2003](#)]. При повторяющихся воздействиях нагревающего микроклимата их организм приспособляется к такому перегреву: увеличивается эффективность потовыделения (оно начинается раньше, выделение пота больше, а содержание электролитов в поте ниже), происходит стабилизация (крово-)обращения.

Поэтому после ежедневного теплового воздействия в течение 7-14 дней, в постоянных внешних условиях, большинство сотрудников начинает выполнять работу при гораздо меньшей температуре центра тела и частоте сердечных сокращений, и при большем потоотделении (то есть, происходит снижение теплового стресса, нагрузки на терморегуляцию организма); а описанные выше первоначальные негативные симптомы не появляются [[Moseley 1994](#); [Armstrong and Stoppani 2002](#); [DOD 2003](#); [Navy Environmental Health Center 2007](#); [Casa et al. 2009](#); [ACGIH 2014](#)]. В течение периода адаптации происходит увеличение объема плазмы. Поэтому, даже при сгущении крови из-за теплового воздействия, объем плазмы к концу смены у акклиматизированных рабочих может быть равен или даже больше, чем в первый день, когда произошло воздействие.

Акклиматизация к нагревающему микроклимату – это пример физиологической адаптации (приспособления к изменившимся внешним условиям), наглядно показанный как в лабораторных, так и в производственных условиях [[Lind and Bass 1963](#); [WHO 1969](#)]. Но успешная акклиматизация не гарантирует, что сотрудник сможет работать при перегреве, превышающем установленные ПДУ, а (для части рабочих) и при перегреве, не превышающем этих ПДУ (*Prescriptive Zone, ULPZ*) [[Lind 1977](#)].

Полноценная акклиматизация к нагревающему микроклимату происходит при относительно коротких ежедневных воздействиях. Нет необходимости подвергаться воздействию перегрева все 24 часа. Такие чрезмерные воздействия могут, на самом деле, оказаться вредными. Не акклиматизированному рабочему трудно выдержать их, так как требуется компенсировать большую потерю воды из-за потоотделения. Минимальная длительность воздействия, при котором происходит акклиматизация, составляет не менее 2 часа в день; и эти два часа можно разделить на части по 1 часу [[DOD 2003](#)]. В течение акклиматизации, полезно давать сотрудникам возможность отдохнуть от теплового воздействия, и избавиться от накопившегося в организме тепла, за счёт отдыха в условиях нормальной температуры (помещения с кондиционером, в тени и т.п.), особенно если им трудно отдыхать в условиях повышенной температуры (теплового излучения) [[Kerslake 1972](#) (р. 316)]. Степень акклиматизации зависит от физической подготовки рабочего, и тепловой нагрузки на него [[DOD 2003](#)]. Сотрудник, выполняющий лёгкую работу в помещении, в условиях нагревающего микроклимата, не «приспособится» к перегреву в такой же степени, как выполняющий тяжёлую физическую работу (в том же помещении), или выполняющий ту же работу под открытым небом, при воздействии солнечных лучей. Если у рабочего повышенное значение максимально возможного потребления кислорода, это приводит к улучшению его приспособляемости к перегреву, так как выполнение работы приводит к увеличению внутреннего теплообразования. При работе в условиях нагревающего микроклимата, у людей с хорошей физической подготовкой - реже развиваются заболевания, вызванные перегревом, и реже случаются несчастные случаи [[Tipton et al. 2008](#)].

Недостаточное возмещение потерь воды (при потоотделении) замедляет или даже препятствует описанной выше физиологической адаптации, приспособлению организма к перегреву. Важно осознать, что акклиматизация увеличивает выделение пота – поэтому рабочим нужно больше воды [[DOD 2003](#); [Navy Environmental Health Center 2007](#)]. Несмотря на то, что акклиматизация достаточно хорошо сохраняется в течение нескольких дней, когда отсутствует тепловое воздействие, организм в основном «забывает» о своём приспособлении к перегреву при перерыве в тепловом воздействии в течение недели и более. (В этом случае) акклиматизация может быть восстановлена за 2-3 дня после возвращения на работу в нагревающий микроклимат [[Lind and Bass 1963](#); [Wyndham 1973](#)]. Акклиматизация лучше сохраняется у тех рабочих, которые имеют хорошую физическую подготовку [[Pandolf et al. 1977](#)].

При акклиматизации, общее потоотделение возрастает, а начало выделения пота происходит при меньшей температуре центра тела [[DOD 2003](#)]. Из-за более эффективной терморегуляции после акклиматизации (повышения степени теплоотдачи за счёт испарения пота), снижается (требуемая) производительность сердца, кровенаполнение подкожных сосудов, и теплоперенос за счёт движения крови. При акклиматизации, повышается стабильность (работы) сердечно-сосудистой системы – снижается частота сердечных сокращений, увеличивается объём крови, прокачиваемой за одно сокращение [[DOD 2003](#)]. При выполнении работы в условиях нагревающего микроклимата, повышение уровня альдостерона препятствует (большой) потере натрия и через почки, и вместе с потом; а увеличение уровня антидиуретического гормона АДН предотвращает рост потерь воды через почки. Увеличение концентрации альдостерона снижает концентрацию натрия в поте, и ограничивает его потерю, и потерю жидкости из плазмы во время выполнения работы в нагревающем микроклимате [[Taylor et al. 2008](#)].

Из написанного выше видно, что неожиданные погодные изменения, и неожиданное повышение температуры на рабочем месте, может оказаться слишком большим – даже для акклиматизированных (к меньшему тепловому воздействию) рабочих. В этих случаях обусловленные перегревом заболевания могут развиваться даже у них. Акклиматизация к работе в условиях повышенных температур и большой влажности - «приспосабливает» организм и к условиям сухого нагревающего микроклимата, и наоборот. (Степень адаптации) определяется общей тепловой нагрузкой [[DOD 2003](#)]. На всех рабочих местах, где сотрудники подвергаются чрезмерному тепловому воздействию, должен разрабатываться и выполняться план акклиматизации. Проведённое недавно исследование показало, что воздействие нагревающего микроклимата привело к заболеваниям или смерти 20 рабочих [[Arbury et al. 2014](#)]. И в большинстве из этих случаев работодатели не

разрабатывали и не выполняли программы защиты рабочих от воздействия нагревающего микроклимата; или же у программ имелись существенные недостатки. Не выполнение акклиматизации сотрудников – наиболее распространённый недостаток программ, и он наиболее явно взаимосвязан со случаями смерти людей.

В [таблице 4-1](#) приводится краткая систематизированная информация об акклиматизации.

Таблица 4-1. Акклиматизация рабочих к нагревающему микроклимату

Предмет обсуждения	Дополнительная информация
Проблемы при отсутствии акклиматизации	<ul style="list-style-type: none"> - Воздействие нагревающего микроклимата быстро приводит к появлению (заметных) симптомов теплового стресса; - Труднее возместить всю потерю воды при потовыделении; - Ухудшение возмещения воды, взамен потерянной организмом, замедляет или препятствует акклиматизации;
Положительное влияние акклиматизации	<ul style="list-style-type: none"> - Потовыделение происходит более эффективно (начинается раньше, при меньшей температуре центра тела; выделяется больше пота; снижается потеря электролита с потом); - Стабилизируется кровообращение; - (Та же) работа выполняется при меньшей температуре центра тела, и меньшей частоте сердечных сокращений; - При той же температуре центра тела возрастает поток крови через подкожные кровеносные сосуды;
План акклиматизации	<ul style="list-style-type: none"> - Постепенное увеличение длительности воздействия нагревающего микроклимата, в течение 7-14 дней; - В первый день, длительность теплового воздействия на новых сотрудников не должна превышать 20% от обычной продолжительности работы в нагревающем микроклимате; а увеличение длительности воздействия не должно превышать (такие же) 20% по отношению к предыдущему дню; - Если рабочий имеет опыт выполнения такой работы, то в 1 день длительность не должна превышать 50% от общесменной длительности теплового воздействия; в 2 день 60%; в 3 день 80% и 100% в 4 день; - При плохой физической подготовке продолжительность акклиматизации может быть на 50% больше, чем при хорошей;
Степень акклиматизации	<ul style="list-style-type: none"> - (Повышается) по отношению к исходным уровням физической подготовки и полной тепловой нагрузки;
Сохранение акклиматизации	<ul style="list-style-type: none"> - Может сохраняться несколько дней подряд при отсутствии теплового воздействия; - При отсутствии теплового воздействия в течение недели и более (отпуск и т.п.) в значительной степени утрачиваются приобретённые приспособительные «привычки», что заметно повышает риск сильного обезвоживания, заболевания или (теплового) утомления; - Восстанавливается за 2-3 дня после возвращения на «горячее» место работы; - При хорошей физической подготовке лучше сохраняется; - Сезонные изменения погоды могут создать проблемы; - Акклиматизация к влажному нагревающему микроклимату помогает переносит и сухой нагревающий микроклимат, и наоборот; - Кондиционирование воздуха не влияет на акклиматизацию.

Источники: [Moseley 1994](#); [Armstrong and Stoppani 2002](#); [DOD 2003](#); [Casa et al. 2009](#); [ACGIH 2014](#); [OSHA-NIOSH 2011](#)].

4.1.6 Другие факторы, влияющие на риск ухудшения здоровья рабочих.

В условиях нагревающего микроклимата, риск ухудшения здоровья рабочих может возрасти под влиянием разных других обстоятельств. Часть из них внешние (например – воздействие солнечных лучей, высокие температура и влажность). Количество тепла, поступающее в организм извне за счёт излучения, могут увеличить печки и топки. При работе в помещениях, неисправность или отсутствие вентиляции и кондиционирования может значительно увеличить риск [[Chen et al. 2003](#)]. Имеют большое значение и индивидуальные особенности организма рабочего (в целом), и его конкретные, текущие состояние здоровья и физическая форма (в то время, когда он подвергается тепловому воздействию). Факторы, влияющие на риск для здоровья при перегреве, показаны на [фиг. 4-1](#).

4.1.6.1 Влияние возраста.

С возрастом, потовыделяющие железы становятся более «медлительными», и это ухудшает терморегуляцию пожилого организма [Taylor et al. 2008]. При тепловом воздействии, с возрастом уменьшается кровообращение в подкожных кровеносных сосудах. Причина этого не установлена, но уменьшение кровообращения подразумевает ухудшение терморегуляции (возможно, из-за снижения эффективности симпатической (автономной) нервной системы) [Hellon and Lind 1958; Lind 1977; Drinkwater and Horvath 1979]. Было установлено, что у женщин, при выполнении средней и тяжёлой работы, с возрастом температура кожи возрастает – а при выполнении лёгкой работы это возрастное изменение отсутствует [Hellon and Lind 1958; Drinkwater and Horvath 1979]. При выполнении работы шахтёрами на разных рабочих местах (две группы, средний возраст 27 и 47 лет), при комфортабельной температуре или при охлаждающем микроклимате, когда работа была лёгкой, а тепловое воздействие было около ПДУа, различие в реакциях между группами было небольшим. А при увеличении теплового воздействия у более пожилых рабочих нагрузка на терморегуляцию была больше; также у этих рабочих была меньшая способность потреблять кислород (*lower aerobic work capacities*) [Lind et al. 1970]. Анализ информации о распределении случаев теплового удара в течение 5 лет у южноафриканских шахтёров, добывающих золото (в глубоких шахтах), показал, что с возрастом частота тепловых ударов возрастает [Strydom [1971]. На шахтёров старше 40 лет приходилось 25% случаев с не смертельным исходом, и 50% случаев со смертельным исходом - хотя они составляли лишь 10% от всех рабочих. При возрасте более 40 лет, частота случаев на 100 000 рабочих была в 10 и более раз выше, чем при возрасте до 25 лет. При проведении всех вышеупомянутых экспериментальных и эпидемиологических исследований, рабочие прошли медобследование, и были признаны здоровыми. С возрастом увеличивается хроническая гипогидратация (*обезвоживание организма*), и это может быть, становится причиной наблюдаемой повышенной частоты тепловых ударов у пожилых шахтёров. Причиной гипогидратации у пожилых людей может быть уменьшение чувства жажды, что (вместе с другими причинами) приводит к не оптимальному объёму плазмы. Уменьшение объёма плазмы (и, вероятно, (уменьшение) общего объёма жидкости в организме, при её естественном перемещении), может ухудшить терморегуляцию [McArdle et al. 2010a]. Другое исследование показало, что возрастное ухудшение работы терморегуляции организма не проявляют себя, если сотрудник выполняет задание не более 15 минут. Поэтому выполнение работы пожилыми сотрудниками в течение коротких интервалов времени может снизить риск обезвоживания и напряжение физиологических механизмов терморегуляции [Wright et al. 2014].



Figure 4-1. Examples of heat-related illness risk factors

Фиг. 4-1. Некоторые факторы, влияющие на риск для здоровья при воздействии нагревающего микроклимата

Пожилые люди более чувствительно реагируют на перегрев, и среди тех, кто страдает от заболеваний, вызванных воздействием перегрева, люди старше 60 лет составляют значительную долю [Kenny et al. 2010]. (Повышенная) чувствительность пожилого организма к воздействию нагревающего микроклимата может объясняться множеством разных факторов – уменьшением потовыделения, снижением потока крови через

подкожные кровеносные сосуды, (возрастными) изменениями в сердечно-сосудистой системе, общим снижением физической подготовки и состояния здоровья [[Kenney et al. 1990](#); [Minson et al. 1998](#); [Inoue et al. 1999](#)]. Уменьшение потовыделения может быть вызвано снижением потообразования, а не уменьшением числа потовых желез [[Inbar et al. 2004](#)]. Поэтому процесс акклиматизации у пожилых людей занимает больше времени [[Armstrong and Kenney 1993](#); [Inoue et al. 1999](#)].

4.1.6.2 Пол.

Хотя в настоящее время исследованы не все аспекты воздействия нагревающего микроклимата на женщин, их способность адаптироваться к нему изучалась. У женщин среднего роста и массы, аэробная способность (способность организма потреблять кислород, *aerobic capacity*) меньше, чем у соответствующего среднего мужчины. При выполнении работы, эквивалентной по относительному потреблению кислорода (как доли от максимального потребления), реакция/работоспособность у женщин не отличается, или лишь незначительно отличается от такой у мужчин [[Drinkwater et al. 1976](#); [Avellini et al. 1980a](#); [Avellini et al. 1980b](#); [Frye and Kamon 1981](#)].

В исследовании [[Meyer et al. 1992](#)] изучали потерю электролита с потом при выполнении работы в условиях нагревающего микроклимата. Оказалось, что концентрация ионов Na⁺ и Cl⁻ в поте у мужчин выше, чем у женщин. Это исследование не смогло ответить на вопрос – в чём причина различия. Возможно, это связано с разной интенсивностью потовыделения, и влиянием отличий в гормонах.

Проведённое недавно исследование изучало, влияет ли пол на суммарное потовыделение со всего тела (измерялось судометром (*whole-body sudometer*) – устройство для определения суммарного выделения пота всем телом) при выполнении задания в условиях нагревающего микроклимата [[Gagnon and Kenny 2011](#)]: оказалось, что при выполнении работы в таких условиях у женщин выделяется меньше пота, и это приводит к большему повышению температуры тела. Исследователи пришли к выводу, что полученный ими результат нельзя объяснить отличиями физических показателей участников, так как по массе тела и площади поверхности тела участвовавшие в исследовании мужчины и женщины соответствовали друг другу.

По данным [Nunneley \[1978\]](#), менструальный цикл слабо влияет на терморегуляцию у женщин. При воздействии нагревающего микроклимата на женщин, беременность влияет на терморегуляцию - по мере развития плода способность к терморегуляции снижается [[Navy Environmental Health Center 2007](#)]. Беременность сама по себе повышает температуру тела, и это ускоряет перегрев организма при воздействии нагревающего микроклимата. Плод увеличивает массу тела, и является источником тепловыделения. Поскольку организм беременной женщины должен также обеспечивать плод всем необходимым, ей требуется больше жидкости и энергии для охлаждения центра тела. По данным [[Tillett 2011](#)], перегрев организма на ранних сроках беременности увеличивает риск нарушения нормального развития плода (тератогенное действие). Но проводившиеся ранее исследования показали, что температура центра тела у беременных женщин, выполнявших субмаксимальную физическую работу (например - на велотренажёре), после родов снижалась незначительно [[Lindqvist et al. 2003](#)]. Этот результат согласуется с результатом более раннего исследования, которое показало, что при перегреве из-за физической нагрузки во время первых трёх месяцев беременности, происходит снижение тепловой нагрузки на эмбрион или плод из-за физиологической адаптации организма матери во время беременности [[Clapp 1991](#)]. Умеренное тепловое воздействие (21,1°C 70°F в течение 20 минут) не приводит к регулярным произвольным сокращениям мышц матки (схваткам), и не оказывает негативного влияния на плод на поздних сроках беременности [[Vaha-Eskeli and Erkkola 1991](#)].

4.1.6.3 Избыточный вес.

Хорошо известно, что ожирение повышает риск развития заболеваний при перегреве организма [[Leithead and Lind 1964](#)]. У людей с избыточным весом развитие заболеваний, вызванных перегревом, происходит в 3,5 раз чаще, чем у людей с нормальным весом тела [[Henschel 1967](#); [Chung and Pin 1996](#); [Kenny et al. 2010](#)]. Из-за наличия жира организм должен перемещать дополнительный вес, а это требует дополнительных затрат энергии при выполнении одной и той же работы; и требует большего потребления кислорода (как доли от максимального потребления $\dot{V}O_{2max}$) по отношению к общему весу тела. А при пересчёте этого относительного потребления кислорода на массу тела без отложений жира оказывается, что у людей с избыточной и с нормальной массой тела оно одинаково [[Vroman et al. 1983](#)]. На терморегуляцию влияет и то, что у людей с избыточным весом отношение площади тела к его массе (м²/кг) меньше, чем у худощавых людей - а это ухудшает теплоотвод. Вероятно, более важно то, что у людей с избыточным весом чаще бывает худшая физическая подготовка, меньшая работоспособность; и хуже работоспособность и адаптируемость сердечно-сосудистой системы. Большая толщина жирового слоя увеличивает изоляцию кожи от подкожных тканей. Теоретически, этот слой жира уменьшает теплопередачу и отвод тепла от мышц к коже [[Wells and Buskirk 1971](#)].

Небольшое число исследований (влияния ожирения на тепловой стресс) показало, что у людей с избыточным весом, выполняющих физическую работу в условиях нагревающего микроклимата, меньше поток крови через предплечья; и считается, что это уменьшает теплообмен организма с окружающей средой [[Vroman et al. 1983](#); [Kenny et al. 2010](#)]. Причина этого явления пока точно не установлена: может быть, это вызвано

регулирующими изменениями со стороны симпатической нервной системы, влияющими на сосуды; или уменьшением объёма крови, прокачиваемого левым желудочком сердца за одно сокращение (это регулирует соотношение потоков крови к мышцам (для выполнения работы) и к сосудам у поверхности тела (для теплообмена). Есть некоторые свидетельства того, что люди с избыточным весом страдают от бессимптомной [невропатии](#), связанной с повреждением мелких нервных волокон, так что это снижает чувствительность к тепловому воздействию [[Herman et al. 2007](#)].

Было высказано предложение, что увеличение тепловой нагрузки на людей с избыточной массой объясняется тем фактом, что в жировой ткани содержится меньше жидкости на единицу массы, чем сухощавая ткань - и из-за этого у неё меньшая теплоёмкость. Поэтому при одинаковой тепловой нагрузке люди с избыточной массой будут нагреваться быстрее, и средняя температура тела у них будет больше [[Henschel 1967](#); [Kenny et al. 2010](#)].

Наконец, большая масса тела при выполнении одинаковой работы приводит к большому расходу энергии, выделению тепла при обмене веществ. А большее метаболическое тепловыделение у людей с избыточным весом (по сравнению с худыми) при работе мышц и выполнении одинакового задания в тех же условиях приводит к большей температуре тела и потребности в теплоотводе [[Bar-Or et al. 1969](#); [Kenny et al. 2010](#)]. Поскольку очевидно, что при тепловом воздействии и одинаковой физической нагрузке (или при одинаковом нагревающем микроклимате), риск развития профзаболеваний у людей с избыточным весом выше, чем у худощавых, могут потребоваться дополнительные усилия для адаптации.

[4.1.6.4 Лекарства.](#)

(1) Лекарственные препараты.

Многие из лекарственных препаратов могут влиять на терморегуляцию [[Khagali and Hayes 1983](#)]. Некоторые из этих лекарств являются [антихолинергическими средствами](#). Лекарства, блокирующие окислительные реакции [моноаминоксидазы](#); почти все, влияющие на работу центральной нервной системы; на величину сердечно(-сосудистого) резерва (например - [бета-адреноблокаторы](#)), или гидратацию тела, потенциально могут влиять на способность переносить перегрев. Кардиоселективные бета-блокаторы (например, [атенолол](#), [бетаксоллол](#), [метопролол](#) и ацетобутолол) мешают расширению мелких кровеносных сосудов в коже. Это уменьшает кровоток через них, препятствует образованию пота, и вызывает повышение температуры тела. Поэтому использование бета-адреноблокаторов работниками повышает риск развития профзаболеваний при воздействии нагревающего микроклимата. Те работники, которые должны принимать лечебные препараты, должны находиться под наблюдением ответственного медицинского работника, который разбирается во влиянии лекарств на способность организма переносить воздействие нагревающего микроклимата. Если работник должен принимать лекарственные препараты, и должен выполнять работу в условиях нагревающего микроклимата (лишь иногда, или с перерывами) - ему необходимо проконсультироваться у ответственным медицинским специалистом. В [таблице 4.2](#) приводится дополнительная информация о механизме, с помощью которого лекарства влияют на способность организма выдерживать перегрев.

(2) Алкоголь и кофеин.

Не всегда легко различить употребление лекарственных препаратов для лечения и употребление (наркотических веществ) из-за социальных причин. Употребление алкоголя в условиях воздействия нагревающего микроклимата часто приводит к тепловому удару [[Leithead and Lind 1964](#)]. Это наркотическое вещество влияет на работу центральной и периферической нервных систем, и способствует обезвоживанию организма за счёт подавления образования антидиуретического гормона (вазопрессин ADH); (*т.е. алкоголь – увеличивает выделение мочи, обезвоживая организм*). Нельзя допускать употребление алкоголя до начала или во время работы в условиях нагревающего микроклимата, так как он уменьшает способность организма сопротивляться перегреву, и увеличивает риск развития заболеваний, вызываемых нагревающим микроклиматом.

Существует немало лекарственных препаратов, которые употребляются по социальным причинам (как и алкоголь), и которые влияют на риск развития заболевания при воздействии нагревающего микроклимата – вплоть до смерти [[Khagali and Hayes 1983](#)]. Кофеин можно рассматривать как лекарственный препарат, используемый по социальным причинам; и его добавляют в разные напитки и продукты (кофе, чай, безалкогольные напитки, энергетические напитки, какао, шоколад), и в некоторые безрецептурные анальгетики, которые употребляют широкие слои населения для повышения внимания, снятия усталости, увеличения физической работоспособности (в спорте), усиления эффекта от приёма слабых [анальгетиков](#), и просто для удовольствия [[Undem 2006](#); [Taylor et al. 2008](#)]. Кофе является одним из наиболее распространённых напитков в мире, а содержащийся в нём кофеин является умеренным мочегонным средством. Поэтому в условиях нагревающего микроклимата не следует употреблять кофе для возмещения потери жидкости из-за потовыделения. Кроме того, кофе часто пьют горячим – а это тоже способствует перегреву организма. Ранее считали, что (употребление) кофе усиливает тепловой стресс из-за того, что оно уменьшает объём жидкости в организме, и тем самым повышает нагрузку на сердечно-сосудистую систему [[Serafin 1996](#)].

(Но) проведённые недавно исследования показали, что кофеин может влиять на способность организма сопротивляться перегреву в меньшей степени, чем считали ранее [Roti et al. 2006; Armstrong et al. 2007a; Ely et al. 2011]. Armstrong et al. [2007a] предположили, что употребление кофеина не приводит к нарушению водно-электролитического равновесия, и не уменьшает способность выполнять работу и переносить воздействие нагревающего микроклимата. Они также заявили, что «напитки, содержащие кофеин, вносят свой вклад в общее потребление воды человеком – так же, как и чистая вода». Аналогично, Ely et al. [2011] обнаружили, что употребление кофеина в количестве 9 мг на 1 кг массы тела не приводит к заметному изменению теплового равновесия при выполнении работы в условиях нагревающего микроклимата. (Выяснилось), что кофеин не влияет на поступление тепла в организм (без учёта потовыделения *dry heat gains*), и на теплоотдачу за счёт испарения пота; и что употребление кофеина в количестве 9 мг/кг массы тела (примерно соответствует чашке кофе) и менее в условиях сухого нагревающего микроклимата не представляет опасности. А Roti et al. [2006] заявили, что нет доказательств того, что хроническое употребление кофеина до начала или во время работы в условиях нагревающего микроклимата приводит к обезвоживанию организма или ухудшает терморегуляцию.

Хотя упомянутые выше исследования показывают, что употребление кофеина в условиях нагревающего микроклимата может быть безопасным и приемлемым, но всё же для профилактики обезвоживания лучше пить воду – до, во время, и после работы. Впрочем, при работе в условиях нагревающего микроклимата, употребление любого безалкогольного напитка лучше, чем не пить ничего. Необходимо провести дополнительные исследования для уточнения того, как влияет на человека приём больших доз кофеина за один раз; и (имеется ли) различие между разными способами приёма кофеина (таблетки, напитки, продукты) [Armstrong et al. 2007a]. Сейчас напитки, содержащие кофеин, стали маркировать как «энергетические напитки». Такие напитки содержат больше кофеина, чем одна чашка кофе или безалкогольного напитка, и они интенсивно используются спортсменами перед началом спортивных соревнований [Burke 2008].

Сообщали, что смертельная доза кофеина (при проглатывании) у людей составляет от 18 до 50 грамм [HSDB 2011]. Такая доза, помимо мочегонного эффекта, может вызвать сердечную аритмию [Undem 2006], а последняя может быть усилена тепловым воздействием (как результат уже имеющейся нагрузки на сердечно-сосудистую систему). Похоже, что возникла тенденция – пить энергетические напитки для утоления жажды (из-за того, что стали легко доступны в маленьких ёмкостях, содержащих меньше жидкости), и это непреднамеренно способствует к передозировке в употреблении кофеина.

Таблица 4-2. Лекарственные препараты, ухудшающие способность организма сопротивляться перегреву

Лекарства/наркотики, или класс лекарств	Механизм их воздействия
Антихолинергические средства (например, бензотропин , циклолол)	Ухудшает потовыделение
Антигистаминные средства	Ухудшают потовыделение
Фенотиазины	Ухудшают потовыделение, и (возможно) ухудшают гипоталамическую терморегуляцию в организме
Трициклические антидепрессанты (например, имипрамин , амитриптилин , протриптилин)	Ухудшают потовыделение, повышают двигательную активность и теплообразование
Амфетамины, кокаин, экстази	Повышают психомоторную активность, активирует эндотелий сосудов
Анальгетики (например, ацетаминофен , аспирин)	Повреждают печень, или почки
Эргогенные стимуляторы (напр. эфедрин / эфедра)	Повышают теплообразование
Литий	Нефрогенный несахарный диабет и потеря воды
Диуретики (калийсберегающие диуретики)	Обезвоживание организма, потеря солей (электролитов)
Блокаторы кальциевых каналов (например амлодипин , верапамил)	Уменьшение кровообращения через сосуды на коже, снижение кровяного давления,
Спирт этиловый (алкоголь)	Увеличивается потеря жидкости с мочой (диурез), возможно влияние на проницаемость кишечника
Барбитураты	Снижение артериального давления
Антиспазматические средства	Ухудшают потовыделение
Галоперидол	Увеличение частоты сердечных сокращений (тахикардия), изменение центральной терморегуляции, гипонатриемия (чрезмерно низкая концентрация ионов натрия в крови)
Слабительные	Обезвоживание
Бета-блокаторы (атенолол , бетаксолол)	Уменьшение кровообращения через сосуды на коже, снижение кровяного давления, уменьшение потовыделения
Наркотики	Чрезмерно сильное потовыделение, обезвоживание организма, потеря солей (электролитов)
Левотироксин	Чрезмерно сильное потовыделение, обезвоживание

Источник: Heat Stress Control and Heat Casualty Management [[DOD 2003](#)].

4.1.6.5 (Влияние) заболеваний не теплового характера.

Уже давно известно, что люди, страдающие от дегенеративных заболеваний сердечно-сосудистой системы и других заболеваний – таких, как диабет, или (даже) просто от недоедания, подвергаются большому риску при воздействии нагревающего микроклимата и когда (имеется) повышенная нагрузка на сердечно-сосудистую систему. Результат легко заметить при неожиданном наступлении или длительном воздействии периодов сильной (аномальной) жары в городских районах – резко возрастает смертность (особенно среди пожилых людей, у которых, предположительно, уменьшенные физиологические резервы организма) [[Leithead and Lind 1964](#); [Henschel et al. 1969](#); [Ellis 1972](#); [Kilbourne et al. 1982](#)]. При длительном периоде аномально высокой температуры, смертность выше в начальной части периода [[Henschel et al. 1969](#); [Ellis 1972](#)]. Возможно, снижение смертности после начальной части длительного периода аномальной жары отчасти объясняется акклиматизацией. А повышенная смертность в начальной части может отражать «ускоренную смертность», причём самые уязвимые люди будут погибать в этот период, а не постепенно - позднее, в результате дегенеративных заболеваний.

Все заболевания, которые ухудшают проницаемость желудочно-кишечного тракта, могут привести к: повышению чувствительности организма к утечке эндотоксинов, каскаду иммунных реакций, и к смерти при тепловом ударе. Например, приём кварцетина во время акклиматизации устраняло многие из тех преимуществ, которые даёт её проведение; а повышенное употребление глутамината улучшало барьерные функции желудочно-кишечного тракта; предотвращало поглощение эндотоксинов и желудочно-кишечные расстройства [[Zuhl et al. 2014](#)].

4.1.6.6 Влияние индивидуальных отличий на способность переносить воздействие нагревающего микроклимата.

При проведении всех исследований влияния нагревающего микроклимата на людей отмечалось, что их реакция очень различна. Это непостоянство наблюдалось не только между разными людьми, но и (в некоторой степени) у одних и тех же людей, подвергавшихся перегреву в разных случаях. Эта изменчивость пока не полностью изучена. По данным исследования [[Wyndham 1973](#)], размер тела и его отношение к аэробной способности организма определяют примерно половину изменчивости; а причины второй пока не установлены. По данным [[Buskirk and Bass 1980](#)] причины второй половины изменчивости могут отчасти объясняться изменением обезвоживания, и солевого баланса (потерей электролитов). Но степень влияния изменчивости на способность организма выдерживать перегрев плохо изучена. Несмотря на это (известно), что некоторые люди плохо переносят воздействие нагревающего микроклимата, и у части из них могут быть проблемы с гормонами, которые мешают нормально регулировать (содержание) жидкостей и электролитов в организме так, что это делает их предрасположенными к развитию теплового удара и других тепловых расстройств [[Rosner and Kirven 2007](#)].

4.1.7. Производственно-обусловленные заболевания, вызываемые воздействием нагревающего микроклимата.

Из-за особенностей существующей в США системы регистрации профзаболеваний и несчастных случаев, те из них, которые вызваны перегревом работников, регистрируются недостаточно хорошо. По данным Бюро Трудовой Статистики (BLS), в 2010 г. было зарегистрировано 4190 случаев (среди работников частных компаний, федеральных и местных государственных предприятий), когда перегрев работников приводил к временной утрате трудоспособности на 1 день и более [[Bureau of Labor Statistics 2011](#)]. В том же году 40 работников умерли из-за перегрева. Из них 18 работали в строительстве; 6 занимались сельским хозяйством и добычей полезных ископаемых; 6 работали в сфере обслуживания и были предпринимателями; трое работали на производстве. А по данным Национальной Противопожарной Ассоциации (NFPA), в 2008 г. зарегистрировано 2890 случаев "теплового стресса" - но в их число включили также пострадавших от теплового утомления (истощения) – в соответствии с определением [[NIOSH 2010](#)].

Ниже вкратце описаны рабочие места, на которых работники могут подвергаться воздействию нагревающего микроклимата.

4.1.7.1. Отчёты об оценке опасности для здоровья на разных рабочих местах (HHE Reports).

Национальный парк.

(Полная версия отчёта доступна по ссылке <http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2013-0109-3214.pdf>)

Руководители обратились в NIOSH с запросом - провести оценку условий труда работников парка, подвергающихся воздействию нагревающего микроклимата (асфальтирующих парковые дорожки, занятых уходом за участками земли, ремонтом зданий, археологическими работами), изучить используемые и предлагаемые методы профилактики заболеваний теплового происхождения, и дали свои рекомендации по их предотвращению [NIOSH 2014b]. Температура в парке в июле держится в диапазоне 31,1 - 46,7°C (88-116°F). Сотрудников парка попросили участвовать в исследовании, и ответить на вопросы опросника (относящихся к состоянию здоровья и симптомам). (У работников) провели замеры частоты сердечных сокращений и температуру центра тела. Во время исследования у его участников проводили анализ крови в течение 4 рабочих дней и трёх дней отдыха с целью обнаружить индикаторы (маркеры, признаки) разрушения мышц и обезвоживания). Фиксировали тяжесть выполняемой работы, температуру и влажность воздуха. Были изучены зарегистрированные несчастные случаи и случаи развития заболеваний (вызванные перегревом), и политика (администрации) парка в отношении их профилактики.

Оказалось, что у одного из работников температура центра тела выше значения, которое принято ACGIH как критерий теплового стресса (>38,5°C – 101,3°F); но ни у одного из работников не выявили обезвоживания и (сколько-нибудь) значительного разрушения мышц. У нескольких работников частота сердечных сокращений достигла максимума. Политика администрации (парка), направленная на защиту сотрудников от перегрева, имела недостатки: не было разработано расписание чередования работы и отдыха; и работники не соблюдали правило — не работать в одиночку.

В отчёте об исследовании NIOSH были даны следующие рекомендации:

Руководителям:

- При планировании работы, избегать выполнения тяжёлой физической работы на открытом воздухе летом; а если этого нельзя избежать — выполнять её в ночное время.
- Уменьшить длительность выполнения работы в условиях нагревающего микроклимата (т.е. - защита временем).
- Внести изменения в политику организации, направленную на защиту работников от перегрева: она должна включать в себя расписание чередования периодов работы и отдыха, и это чередование должно учитывать и комплексный показатель температуры воздуха WBGT, и тяжесть выполняемой работы.
- Рабочие должны следить за своим самочувствием.
- Создать «рабочие группы» (сотрудники, специалист по охране труда, медицинский специалист), и совместно разрабатывать мероприятия по самонаблюдению за самочувствием; и инструкции по выполнению разных видов работ.

Работникам:

- Необходимо выполнять указания по защите от перегрева.
- Следует держать при себе радиоприёмник.
- Старайтесь не работать в одиночку (система «работай с товарищем»).
- Знайте симптомы и признаки ухудшения самочувствия при воздействии нагревающего микроклимата.
- Следите за своим самочувствием; фиксируйте появление признаков, симптомов начальных этапов ухудшения самочувствия при перегреве.
- При обнаружении каких-нибудь из симптомов у себя или коллег, сообщите об этом бригадиру (непосредственному руководителю).
- Пейте достаточно большое количество жидкости, и при необходимости делайте перерывы.
- В рабочей группе, разрабатывающей указания по выполнению работы и самонаблюдению за самочувствием в условиях нагревающего микроклимата, должны быть волонтёры (представители работников).

Электролизные цеха завода по выплавке алюминия.

(Полная версия отчёта доступна по ссылке: <http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2006-0307-3139.pdf>)

NIOSH проводил исследование воздействия нагревающего микроклимата на работников электролизных цехов алюминиевого завода [NIOSH 2006a]. В процессе плавки, глинозём (оксид алюминия) восстанавливается до практически чистого алюминия, при температуре примерно 982,2°C (1800°F). Проводился опрос работников, и они заполняли вопросник. Собирались информация о истории болезней, местах предыдущей работы, и симптомах, которые они испытывали во время смены, в течение которой за ними велось наблюдение. Наблюдение за работниками включало в себя измерение температуры центра тела, и частоту сердечных сокращений. Дополнительно проводили замеры удельного веса (плотности) мочи и концентрации электролитов в крови — до и после смены. Замеры комплексного показателя температуры воздуха WBGT проводили в цехах в нескольких местах, а также на открытом воздухе.

В течение пяти дней (когда проводилось исследование), средняя температура воздуха вне цеха была 25,6°C (78°F). Комплексный показатель температуры WBGT был в диапазоне от 28,3 до 48,9°C (83-120°F). Температура воздуха, измеренная сухим термометром, достигала 56,7°C (134°F), а температура, измеренная с

учётом поступления тепла с излучением достигала 86,7°C (188°F). Большое значение последней температуры показывает, что в организм рабочих за счёт излучения поступает больше тепла, чем отдаётся (если нет эффективного экранирования). Теплообразование в организме при обмене веществ (метаболическое) было небольшим до умеренного (115-360 Вт). За исключением крановщика, у всех остальных работников были периоды времени, когда происходило превышение ПДУ NIOSH (Примечание: эти ПДУ пересмотрены); и ПДУ ACGIH (TLV) для работающих в условиях нагревающего микроклимата. Сотрудники часто жаловались на учащённое сердцебиение, головную боль, боли в мышцах, головокружение. Анализы показали значительное возрастание содержания в крови бикарбоната натрия, азота мочевины (в крови), креатинина, относительной плотности мочи. Уменьшение объёма плазмы было вызвано значительным уменьшением в течение смены соотношения азота мочевины в крови к креатинину (*BUN-to-creatinine ratio*) и концентрации калия в крови; и могло быть вызвано сильным потовыделением. У многих из работников обнаружилось обезвоживание. Кроме того, у нескольких участников обнаружилось повреждение почек (острое). Это могло объясняться (отчасти, или в основном) слабо выраженным рабдомиолизом (развившимся из-за слишком сильного воздействия нагревающего микроклимата), или выполнения тяжёлой физической работы.

В отчёте NIOSH были даны следующие рекомендации:

Руководителям:

- Принят меры по снижению тяжести физической работы, выполняемой в электролизном цехе.
- Начать применение теплоотражающих СИЗ.
- Оборудовать места отдыха в цехе с охлаждённым кондиционированным воздухом.
- Не использовать воздух, забираемый извне здания, для охлаждения работников – если его температура превышает 35°C (95°F).
- Выполнять программу защиты работников от перегрева.
- В периоды исключительно высокой температуры воздуха вне помещений - не привлекать работников к сверхурочным работам (более 8 часов).

Работникам:

- Использовать теплоотражающие СИЗ.
- Отдыхать в местах с охлаждённым кондиционированным воздухом.
- Находить достаточно времени для безопасного выполнения работы.

Предприятие по производству автозапчастей.

(Полная версия отчёта доступна по ссылке: <http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2003-0268-3065.pdf>)

Специалисты NIOSH провели обследование окрасочного цеха предприятия, изготавливавшего автозапчасти. Часть работников цеха подвергалась воздействию нагревающего микроклимата [NIOSH 2003a]. В нескольких местах цеха, где производилась загрузка и выгрузка деталей, были установлены измерители комплексного показателя температуры WBGT, которые проводили замеры в течение всей смены. Они также были установлены в кафетерии (для сравнения). В течение двух дней измерялась тепловая нагрузка на 6 работников. Для этого использовали беспроводные устройства, которые проглатывались, и измеряли температуру центра тела. Кроме того, с помощью другого устройства измерялась температура кожи и частота сердечных сокращений. Для определения потери жидкости организмом всех рабочих взвешивали до и после смены в оба дня.

У 4 из 6 участников было выявлено превышение нижнего значения ПДУ температуры центра тела (установленное ACGIH) 38°C (100,4°F) 6 раз, и у одного работника было превышено верхнее значение ПДУ 38,5°C (101,3°F) один раз. Из 13 замеров, сделанных у работников за два дня, в девяти обнаружались признаки обезвоживания (масса тела после смены была меньше, чем перед сменой). В трёх случаях результаты этих замеров были равны или превышали значение 1,5% - граница обезвоживания организма. Температура воздуха, измеренная сухим термометром, была в диапазоне от 26,9 до 30,1°C (80,5-86,2°F) на рабочих местах, где загружали и выгружали детали; и от 21,2 до 21,5°C (70,2-70,7°F) в кафетерии. Неуклонный рост температуры на рабочих местах, где загружали и выгружали детали, возможно, объяснялся плохой работой вентиляции.

В отчёте NIOSH были даны следующие рекомендации:

Руководителям:

- (Составив расписание периодов работа/отдых), не следует привлекать работников ни к какой работе во время периодов отдыха.
- Вентиляторы должны размещаться выше оборудования, а не прямо перед работниками.
- Следует проконсультироваться у специалиста по вентиляции «горячих производств» для улучшения работы вентиляционного оборудования по удалению избытков тепла.

Производство стеклянных бутылок

(Полная версия отчёта доступна по ссылке: <http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2003-0311-3052.pdf>).

Специалисты NIOSH изучали условия труда на предприятии, изготавливавшем стеклянные бутылки для пива, алкогольных напитков, соков и чая. Обследование проводилось по запросу работодателя, которого беспокоила возможность развития профзаболеваний из-за перегрева работников, работавших на конечном участке производства, где формировались готовые изделия [NIOSH 2003b]. На этом участке сырьё расплавляли в печи при температуре от 1260 до 1537,8°C (2300-2800°F). Для защиты работников использовались разные средства, например – вентиляторы, подававшие охлаждённый воздух из подвала; вентиляторы с испарительным охлаждением, спортивные напитки, два перерыва по 25 минут (и ещё дополнительные перерывы, назначавшиеся по указанию руководителей нижнего звена), изучение требований безопасности при работе в условиях нагревающего микроклимата при проведении встреч с работниками и с помощью плакатов по охране труда. Были проведены замеры комплексного показателя температуры WBGT на участке формования конечных изделий, сделана оценка внутреннего тепловыделения при обмене веществ, проведён опрос работников.

Было получены наибольшие значения: WBGT 30,7°C (87,2°F), температура сухого термометра 30,6°C (87,0°F) и температура (с учётом излучения) 46,5°C (115,7°F). Эти результаты показывают, что на участке формирования бутылок большая часть поверхностей нагрета, и является источником теплового излучения. Комплексный показатель температуры WBGT в ближайшем помещении для отдыха был 21,3°C (70,3°F), а температура по сухому термометру 24,2°C (75,5°F). Для оценки внутреннего теплообразования у работников были использованы указания NIOSH (186 ккал/час), что соответствовало лёгкой работе. Затем значения WBGT и внутреннего теплообразования сравнили со значениями ПДУ (NIOSH REL и ACGIH TLV), и с рекомендациями обеих организаций по чередованию периодов работы и отдыха в аналогичных условиях. Было опрошено 18 работников, и у двоих выявлены симптомы (негативного влияния перегрева организма) в жаркий день несколько месяцев назад (сильное сердцебиение, прекращение потовыделения, постоянная головная боль). Другие работники упоминали симптомы ухудшения самочувствия (имевшие место в предыдущие годы), включая: тепловое утомление, судороги, тошнота. Некоторые сотрудники сказали, что новые работники обычно начинают работать с июня, и у них обычно нет достаточно времени для акклиматизации, что приводит к их уходу на другую работу. Также сотрудники сказали, что вентиляторы (особенно с испарительным охлаждением) используются – оно их техобслуживание проводится не всегда достаточно хорошо, и некоторые не работают.

В отчёте NIOSH были даны следующие рекомендации:

Руководителям:

- Разработать программу профилактического техобслуживания вентиляторов, подающих охлаждённый воздух из подвала, и вентиляторов с испарительным охлаждением - так, чтобы гарантировать их бесперебойную работу в течение всего лета.
- Разработать программу акклиматизации для снижения риска развития заболеваний из-за перегрева.
- Разработать программу обучения для того, чтобы все работники (которые потенциально могут подвергаться воздействию нагревающего микроклимата и тяжёлой физической работы) знали о том, как выдержать тепловую нагрузку и предотвратить ухудшение здоровья при этом.
- Проводить измерение комплексного показателя температуры WBGT в месте, наиболее близком к месту работы тех сотрудников, которые подвергаются воздействию нагревающего микроклимата.
- Разработать критерии, позволяющие определить, в каких условиях следует считать, что имеет место аномально высокая температура (для принятия соответствующих мер безопасности).
- Разработать программу медобследования для выявления заболеваний, выявленных перегревом, и вести аккуратную регистрацию всех случаев таких заболеваний – с регистрацией и условий работы, и погоды.
- Необходимо организовать работу людей так, чтобы обеспечить снижение массы тела к концу смены не более чем на 1,5%.
- Работники не должны трудиться поодиночке; а при совместной работе должны следить друг за другом для своевременного выявления симптомов ухудшения самочувствия из-за перегрева.
- В тех случаях, когда работники говорят, что при работе в условиях нагревающего микроклимата они чувствуют слабость, тошноту, чрезмерное утомление, когда у них ухудшается работа центральной нервной системы и/или появляется раздражение – они должны делать дополнительные перерывы во время работы, сверх предусмотренных расписанием.

Водители грузовых автомобилей

(Полная версия отчёта доступна по ссылке: <http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2011-0131-3221.pdf>).

Проводилось исследование факторов, воздействующих на работников, включая водителей грузовиков, которые отвозят питание на самолёты в аэропортах. Рассматривали эргономические факторы, нагревающий микроклимат, охлаждающий микроклимат, стресс на работе [NIOSH 2014a]. Хотя изучения воздействия нагревающего микроклимата при работе на грузовиках, перевозящих продукты, не изучалось специально, несколько представителей работодателей и работников обсудили этот вопрос. Сотрудники сказали, что автомобили плохо приспособлены для работы (на некоторых нет кондиционеров, на некоторых окна не открываются; или не закрываются). А на некоторых машинах отопительная система не выключается – и работает круглый год.

Менеджеры сообщили, что обычно выполнение одного задания занимает 2 часа. В него входит: загрузка грузовика на складе, поездка до аэропорта (примерно 25 минут), прохождение службы безопасности, проезд до самолёта, стоящего на взлётной полосе, разгрузка коробок (с продуктами) из грузовика в самолёт, и возвращение на склад. А если самолёт не готов к приёму товара, выполнение рейсового задания может затянуться. За смену, работники делают 3-4 рейса. Во время выполнения задания, они могут сделать перерыв в аэропорту, в помещении с кондиционированным воздухом, и на складе – между рейсами. Но менеджеры сказали, что - когда работы много - рабочие не делают перерывы, чтобы успеть выполнить задание. А некоторые из работников сказали, что они не делают перерывы в аэропорту – чтобы уйти с работы раньше.

Потенциально, воздействию нагревающего микроклимата могут подвергаться водители, грузчики, и обслуживающие рабочие (мойщики посуды, работающие на автоклаве). Замеры температуры на автоклаве показали, что постоянная непрерывная работа приемлема для акклиматизированных работников при выполнении работы средней тяжести, когда температура воздуха вне здания составляет примерно 24 °C (75°F). При тех температурах, которые были на этих рабочих местах, у большинства работников акклиматизация происходила за 4 дня: они постепенно увеличивали длительность пребывания на рабочем месте с нагревающим микроклимате. Компания располагала материалами для обучения (по теме симптомы недомоганий при перегреве). Обучение включало в себя рассказ об источниках тепла, симптомы заболеваний при воздействии нагревающего микроклимата, рекомендации по снижению воздействия перегрева (перерывы с отдыхом в помещении с охлаждённым воздухом, выпивание одного стакана воды каждые 20 минут). Но (расписание работы) предусматривало всего два перерыва за 8-часовую смену; и на большинстве рабочих мест было запрещено пить напитки.

В отчёте NIOSH были даны следующие рекомендации.

Руководителям:

- Проводить обучение работников, включая последствия перегрева для здоровья, и способы более удобного выполнения работы. Сообщить работникам и их руководителям о (новом) программном продукте Управления по охране труда (OSHA), разработанном для защиты работников от перегрева: (http://www.osha.gov/SLTC/heatillness/heat_index/heat_app.html). На сайте приводится информация о мерах по защите – в зависимости от значения показателя перегрева (*heat index*) на рабочем месте.
- Разработать и выполнить программу профилактики перегрева. Составить расписание работы, включающее обязательные перерывы, и обеспечить доступ к напиткам тем работникам, которые подвергаются перегреву.
- При покупке новых автомобилей брать те, у которых есть кондиционеры, и отремонтировать имеющиеся на старых машинах.

Работникам:

- Пить много жидкости при работе в нагревающем микроклимате.
- Регулярно делать перерывы, чтобы организм избавился от излишка тепла, полученного при работе при высокой температуре.
- Принимать участие в работе комитета по охране труда.
- (При обнаружении симптомов) – сразу сообщать о них руководителям и медработникам.

4.1.7.2 Примеры несчастных случаев и заболеваний.

Случай при работе по благоустройству территории.

Мужчина, косивший газоны (возраст 30 лет), после одного дня работы упал и умер из-за теплового удара [NIOSH 2002]. За два часа до случившегося он жаловался на то, что у него кружится голова, и на одышку- но он отказался от помощи напарника. Работник принимал лекарства, которые могли мешать терморегуляции организма. Он был одет в две пары рабочих штанов, но его напарник не заметил ни сильного потовыделения, ни сухой покрасневшей кожи. После потери сознания, пострадавшему была оказана помощь врачами «Скорой помощи» на месте, а затем его отвезли в больницу. Там он умер, а температура центра тела в момент смерти достигла 42°C (107,6°F). В тот день, когда произошёл несчастный случай, максимальная температура воздуха была 17,2°C (81°F).

После случившегося были даны следующие рекомендации:

- При высокой температуре воздуха работодатели должны обеспечить, чтобы бригадиры наблюдали за работниками.
- Выявить работников из группы риска при воздействии перегрева (с пониженной сопротивляемостью организма).
- Обучение работников, которое должно включать рассказ о тепловой нагрузке, тепловом утомлении, и возникающих при перегреве заболеваниях.
- Обеспечьте, чтобы все работники могли распознавать признаки и симптомы заболеваний, возникающих при перегреве – и у себя, и у других.
- Подчеркните, как важно пить безалкогольные напитки в условиях нагревающего микроклимата: до, во время, и после работы.
- При высокой температуре воздуха напоминайте работникам о признаках и симптомах заболеваний, возникающих из-за перегрева; и стимулируйте их пить много воды.

Случай с работником-мигрантом на ферме.

На ферме в Северной Каролине произошёл несчастный случай со смертельным исходом: работник, латиноамериканец в возрасте 56 лет, умер от теплового удара после трёх дней сбора зрелых листьев табака [[CDC 2008](#)]. На третий день, он начал работать в 6 утра, и сделал короткий перерыв утром, и перерыв на обед 90 минут. В середине дня бригадир заметил, что он работает медленно – и, как сообщили, рекомендовал ему отдохнуть – но тот продолжал работать. Через час другие работники заметили, что у пострадавшего расстройство сознания. Они отнесли его в тень, и попытались заставить выпить воду. Пострадавшего доставили в отделение неотложной помощи, где была измерена его температура центра тела – 42,2°C (108°F). Несмотря на оказанную медицинскую помощь, он умер. В день, когда это случилось, температура воздуха достигла примерно 33,9°C (93°F), относительная влажность была 44%, небо было безоблачным. В этот день показатель температуры (учитывающий и влажность, *heat index*, соответствует субъективно ощущаемой температуре) был от 30 до 44,4°C (86-112°F).

Был и другой аналогичный случай: работавший на табачной ферме в Северной Каролине, латиноамериканец, мужчина, возраст 44 года, умер после теплового удара [[NIOSH 2006b](#)]. Он работал в поле, примерно во время последней недели июля. Первого августа показатель температуры (*heat index*) был между 37,8 и 43,3°C (100-110°F). Около 15 часов работник пожаловался бригадиру на ухудшение самочувствия. Он выпил воды, был отвезён к дому, где жили рабочие, и оставлен один. А через 45 минут его обнаружили в бессознательном состоянии. Медицинские сотрудники отреагировали через 5 минут, работника отвезли в больницу, и констатировали смерть. В это время температура центра тела достигла 42,2°C (108°F).

Были даны следующие рекомендации:

- Работодатели, занимающиеся сельским хозяйством, должны разработать, внедрить и обеспечить выполнение программы охраны труда, включающей в себя правила выполнения (разных видов) работ – так, чтобы предотвратить развитие заболеваний из-за перегрева.
- Необходимо обучить работников и бригадиров тому, как предотвращать, выявлять и оказывать помощь при ухудшении самочувствия при перегреве. при этом необходимо использовать тот язык и тот уровень, которые понятны работникам.
- Разработайте программу профилактики обезвоживания так, чтобы каждый работник был обеспечен подходящей питьевой водой (или другой подходящей жидкостью), и симулируйте работников регулярно пить её.
- Следите за погодными условиями, и составьте график чередования работы и отдыха так, чтобы он учитывал температуру и влажность воздуха.
- При приёме новых работников (для выполнения работы в условиях нагревающего микроклимата), возврате уже работавших ранее (из отпуска и т.п.), проводите их акклиматизацию в соответствии с подходящей программой акклиматизации. Акклиматизация также может потребоваться опытным работникам при резком повышении температуры до экстремально большого значения.
- Если у кого-то из работников появились признаки ухудшения самочувствия, вызванного перегревом, обеспечьте быстрое оказание медицинской помощи.

Случай на стройке.

Строитель, мужчина в возрасте 41 год, пилил доски для опалубки для заливки бетона (при расширении предприятия) [[NIOSH 2004](#)]. В 17 часов он потерял сознание на парковке, по дороге к своему автомобилю. Через 30 минут его обнаружил работник фабрики, который вернулся назад и сообщил бригадиру о случившемся. Была вызвана «Скорая помощь», и оказана первая помощь работнику. К моменту приезда врачей температура тела поднялась до 41,7°C (107°F), а к моменту доставки пострадавшего в больницу 42,2°C (108°F). На следующий день работник умер из-за теплового удара.

Были даны следующие рекомендации:

- Необходимо научить работников и бригадиров распознавать симптомы теплового утомления и теплового удара при работе в условиях больших значений показателя температуры (*heat index*) и/или большой влажности воздуха.
- Чтобы при работе в условиях высокой температуры и/или влажности не произошло обезвоживания организма рабочих, теплового удара и утомления, рабочие должны часто делать перерывы; и их необходимо обеспечить достаточным количеством питьевой воды (или другой подходящей жидкости).
- При разработке плана работы, продолжительность смены должна определяться с учётом показателя температуры (*heat index*) и/или влажности воздуха.

Случай с пожарным.

При сборке трубопровода для тушения небольшого пожара в лесу, один пожарник (возраст 21 год) погиб из-за теплового удара, другой смог выжить, а двое испытали тепловое утомление [[NIOSH 1997](#)]. Бригада начала день со спортивной подготовки (продолжительность 1-1,5 часа), как это предусматривала программа их тренировок. Погибший пожарник (21 год) несколько дней чувствовал недомогание, предположительно – инфекционное заболевание. После физической подготовки, бригада стала тренироваться собирать трубопровод (что заняло около часа). В 11:45 они были направлены на тушение реального пожара, и собрали трубопровод для предотвращения дальнейшего распространения огня. У пожарников были фляги с водой, и они могли пить её, если захотят. Около 13:45 бригада сделала 15-минутный перерыв, и пила воду или специальный напиток для работающих в условиях нагревающего микроклимата (*Gatorade*). В 14:00 они продолжили работу на трубопроводе, и через 15 минут одному из пожарных стало плохо – он почувствовал тепловое утомление, и сломал плечо. Ему оказали первую помощь, и перевезли в госпиталь. Перед этим пожарник из другой бригады почувствовал тепловое утомление - ему оказали помощь парамедики, и он был перевезен на базу. Примерно в 14:30 пожарник (возраст 21 год) отошёл от трубопровода – как будто он хотел отдохнуть. Но через 5 минут обнаружили что он лежит на земле, и бьётся в конвульсиях. Бригадир обнаружил, что он отчасти потерял сознание, и у него тепловой удар. С пострадавшего сняли одежду, и охлаждали кожу водой и химическими охлаждающими пакетами. В 14:50 приехали парамедики, и продолжили оказание помощи. В 15:00 симптомы теплового удара обнаружились у другого пожарника. «Скорая помощь» отвезла пострадавшего (21 год) в больницу в 15:20 – но он умер на следующий день утром. В момент ухудшения самочувствия максимальная измеренная температура была 36,7°C (98°F).

Были даны следующие рекомендации:

- В случае выполнения работы в условиях высокой температуры, бригадиры должны регулярно проверять самочувствие пожарников, используя общепринятые методы.
- Распределяйте работу так, чтобы она по своей тяжести соответствовала уровню акклиматизации.
- Распределяйте работу так, чтобы она по своей тяжести соответствовала температуре воздуха, влажности и используемой защитной одежде.

4.2 Острые заболевания при воздействии нагревающего микроклимата.

Хотя заболевания, возникающие при перегреве организма, взаимосвязаны, и редко встречаются в «чистом виде», у каждой из них есть свои уникальные особенности [[Minard and Copman 1963](#) (p. 253); [Leithead and Lind 1964](#); [Minard 1973](#); [Lind 1977](#); [Dinman and Horvath 1984](#); [Springer 1985](#)]. Степень ухудшения самочувствия находилась в диапазоне от простого теплового обморока до теплового удара с осложнениями. Во всех случаях, кроме теплового обморока, общей чертой было повышение температуры тела, что могло быть связано с некоторым недостатком воды в организме. Прогноз состояния здоровья в таких случаях зависит от степени повышения температуры тела; от того, насколько быстро будет оказана помощь (для снижения температуры тела); и от недостатка (нарушения равновесия) количества влаги и электролитов. В [таблице 4.3](#) приводится краткая классификация, клинические признаки, меры профилактики и указания по первой помощи пострадавшим.

Таблица 4-3. Классификация, медицинские аспекты, и оказание первой помощи при заболеваниях, развивающихся при перегреве.

Признаки и симптомы	Факторы, повышающие уязвимость работника	Физиологические нарушения, приводящие к заболеванию	Первая помощь
1. Терморегуляция			

Тепловой удар			
<p>Растерянность, изменение состояния психики, невнятная речь.</p> <p>Потеря сознания (кома).</p> <p>Горячая сухая кожа – или обильное потовыделение.</p> <p>Приступы.</p> <p>Очень высокая температура тела.</p> <p>При не оказании своевременной помощи – смерть.</p>	<p>Длительное выполнение физической работы в условиях нагревающего микроклимата.</p> <p>Избыточный вес и плохая физическая подготовка.</p> <p>Приём алкоголя незадолго до начала работы.</p> <p>Обезвоживание организма.</p> <p>Повышенная индивидуальная уязвимость.</p> <p>Хронические заболевания сердечно-сосудистой системы.</p>	<p>Нарушение терморегуляции, выражающееся в снижении потовыделения, ухудшению испарительного охлаждения, и неконтролируемый подъём температуры тела.</p>	<p>Оказание неотложной помощи – вызывайте «Скорую помощь».</p> <p>Кто-то должен находиться около пострадавшего до тех пор, пока не придут врачи.</p> <p>Переместите пострадавшего в тень, в прохладное место, и снимите излишнюю одежду.</p> <p>Охладите тело пострадавшего холодной водой, или в ванне с ледяной водой (если возможно), увлажните кожу, положите на кожу мокрую холодную ткань, или намочите одежду холодной водой.</p>
2. Гипостаз (скопление крови в сосудах кожи и нижней части тела)			
Тепловой обморок.			
<p>Кратковременный обморок.</p> <p>Головокружение.</p> <p>При длительном стоянии – происходит после лёгкого головокружения; при сидении или лежании – неожиданно.</p>	<p>Обезвоживание организма.</p> <p>Отсутствие или плохая акклиматизация.</p>	<p>Наполнение кровью расширившихся сосудов на коже, и в нижних частях тела.</p>	<p>Пострадавшего необходимо посадить или уложить в прохладном месте.</p> <p>Ему следует медленно пить воду, чистый сок, или спортивные напитки.</p>
3. Снижение содержания воды и/или солей в организме			
Тепловое утомление			
<p>Головная боль.</p> <p>Тошнота.</p> <p>Головокружение.</p> <p>Слабость.</p> <p>Раздражительность.</p> <p>Жажда.</p> <p>Сильное потовыделение.</p> <p>Повышенная температура тела.</p> <p>Снижение мочевого выделения.</p>	<p>Длительное выполнение физической работы в условиях нагревающего микроклимата.</p> <p>Отсутствие или плохая акклиматизация.</p> <p>Недостаточное возмещение потерь воды организмом при потовыделении.</p>	<p>Обезвоживание.</p> <p>Уменьшение объёма крови, участвующей в кровообращении.</p> <p>Повышенная нагрузка на систему кровообращения - и от выполняющих работу мышц; и потребность прокачивать кровь к коже (для отвода тепла).</p>	<p>Отвезите пострадавшего в больницу, или медпункт.</p> <p>При отсутствии медпункта вызовите «Скорую помощь».</p> <p>Кто-то должен находиться около пострадавшего до тех пор, пока не придут врачи.</p> <p>Перенесите работника из места с нагревающим микроклиматом, и дайте жидкость для питья.</p> <p>Снимите лишнюю одежду, в том числе носки и обувь.</p> <p>Сделайте пострадавшему холодный компресс, или промойте холодной водой голову, лицо, шею.</p> <p>Посоветуйте ему часто пить холодную воду.</p>

Тепловые судороги			
Мышечные судороги, боль или спазмы в животе, руках или ногах.	Сильное потовыделение во время работы. Питьё большого количества жидкости без возмещения потери солей.	Потеря организмом электролитов при потовыделении. Питьё воды разбавляет электролиты. Мышечные судороги.	Каждые 15-20 минут пейте воду и ешьте лёгкую закуску, и/или углеводно-электролитную жидкость (например – спортивные напитки). Не используйте таблетки соли. Если пострадавший придерживается малосоленой диеты; если у него проблемы с сердцем; или если судороги не прекратились через час – обратитесь к врачу.
Гипонатриемия (пониженная концентрация ионов натрия в крови)			
Симптомы могут отсутствовать вообще, быть незначительными, и серьёзными, включая энцефалопатию, отек мозга и легких, респираторный дистресс и смерть.	Сильное потовыделение во время работы. Питьё большого количества жидкости без возмещения потери солей.	Потеря организмом электролитов при потовыделении. Низкая концентрация натрия в плазме крови. Нарушение осмотического равновесия.	Пейте воду и ешьте лёгкую закуску, и/или углеводно-электролитную жидкость (например – спортивные напитки). Не используйте таблетки соли. Если у пострадавшего проблемы с сердцем, если он на диете с низким содержанием натрия, или если судороги не прекратятся через час – обратитесь к врачам.
4. Кожные высыпания			
Тепловая сыпь (<i>miliaria rubra</i>, «потная сыпь», «потница»).			
Выглядит как скопление прыщей или маленьких пузырей, которые обычно появляются на шее, верхней части груди, паху, под грудью и в локтевых складках.	Не прекращающееся воздействие влаги и тепла на кожу, которая постоянно увлажнена потом.	Закупорка потовых желёз с скоплением (в них) пота и воспалительной реакцией.	Если это возможно, то лучше всего найти работу с более прохладной и и менее влажной атмосферой. Держите кожу в месте, где сыпь, сухой. Можно использовать порошки для повышения комфорта. Не следует использовать мази и кремы.
Тепловая сыпь (<i>miliaria profunda</i>, «wildfire»)			
Большие участки кожи при перегреве не потеют, а выглядят как «гусиная кожа». При охлаждении возвращаются в норму. Может привести к потере трудоспособности при воздействии	Развитию способствуют предшествовавшее постоянное воздействие перегрева в течение недель или месяцев, и имевшие место ранее тепловая сыпь и солнечные ожоги.	Травмирование кожи (тепловая сыпь, солнечные ожоги) приводят к накоплению пота под кожей, уменьшают испарительное охлаждение, и приводят к тому, что человек не переносит перегрев.	Способов оказания эффективной помощи нет. При прекращении воздействия перегрева происходит постепенное восстановление способности к нормальному потовыделению.

нагревающего микроклимата.			
5. Повреждение мышечных тканей.			
Острый некроз (отмирание тканей) скелетных мышц, рабдомиолиз.			
Мышечные судороги/боль. Аномально тёмная моча (цвет чая, кока-колы). Слабость. Непереносимость выполнения упражнений. Отсутствие симптомов.	Конечные результаты любого процесса, повреждающего мышцы скелета: Длительное интенсивное физическое напряжение. Повышенная температура тела (связанная с тепловым ударом). Приём некоторых лекарств, выписываемых по рецепту и без рецептурных. Приём некоторых пищевых добавок, таких как креатин (creatine) и кофеин. Использование наркотиков, таких как кокаин и метаморфин, которые ухудшают кровоснабжение мышц. Непосредственное повреждение мышц (при травме, ожоге) или инфекции.	Попадание содержимого клеток в кровь может привести к судорогам, нарушению сердечного ритма, тошноте, рвоте, утомлению, и повреждению почек. Набухание мышц фасциальной группы и их набухание может нарушить поступление (через них) крови к всей мышце, что может нарушить их работу и привести к постоянной нетрудоспособности (инвалидности).	Прекращение работы. Приём жидкости (предпочтительно – воды). Немедленно обратиться за помощью в ближайшее медучреждение. Попросить проверить, не происходит ли некроз мышц (анализ крови для определения креатинкиназы).

Источники: [Minard 1973](#); [DOD 2003](#); [Cervellin et al. 2010](#); [OSHA-NIOSH 2011](#).

4.2.1 Тепловой удар.

Возможны два вида тепловых ударов – классический, и при физической нагрузке. При классическом тепловом ударе **(1)** происходит серьёзное нарушение работы центральной нервной системы (потеря сознания или конвульсии); **(2)** снижение потовыделения, и **(3)** температура центра тела, измеренная в прямой кишке, превышает 41°C (105,8°F) [[Minard and Copman 1963](#) (p. 253); [Leithead and Lind 1964](#); [Shibolet et al. 1976](#); [Khagali and Hayes 1983](#)].

Граничное значение температуры в прямой кишке (ректальной) 41°C (105,8°F) как показателя перегрева (гипертермии) не является точным, так как измерения обычно делали после привоза пострадавших в медучреждения – уже после происшествия (через интервал времени от получаса до нескольких часов). Тепловой удар при физической нагрузке происходит у физически активных людей, у которых часто продолжается потовыделение [[DOD 2003](#); [Armstrong et al. 2007b](#); [Navy Environmental Health Center 2007](#)]. При тепловом ударе при физической нагрузке, часто происходит быстрое разрушение мышц скелета (острый рабдомиолиз, см. [раздел 4.2.2](#)), и также развивается почечная недостаточность [[DOD 2003](#)]. У тех, кто пострадал от теплового удара при интенсивной физической нагрузке, риск развития почечной недостаточности составляет (примерно) 25% [[Navy Environmental Health Center 2007](#)]. В [таблице 4.4](#) приводится дополнительное сравнение тепловых ударов – классического, и при физической нагрузке. Часто трудно определить, как из двух вышеупомянутых тепловых ударов произошёл, так как поступление тепла в организм извне и при обмене веществ может быть самым разным. Кроме того, из-за индивидуальных отличий у людей, из-за отличия в уровне подготовки врачей, их знаний и возможностей, результаты лечения разных пострадавших различны.

Тепловой удар приводит к критическому состоянию пострадавшего, и в этом случае крайне важно быстро снизить температуру тела. Если это возможно, используйте для охлаждения ванну с ледяной водой. При ожидании прибытия врачей, и при доставке пострадавшего в медучреждение, желателно разместить его в тени,

снять верхнюю одежду, смочить или наложить лёд на голову, шею, пах, подмышки; увеличить движение воздуха для улучшения испарительного охлаждения. Если работник пострадал от теплового удара (или теплового истощения / утомления), его нельзя отправлять домой или оставлять без присмотра – без такого указания от квалифицированного врача.

Часто бывает, что пока пострадавшего везут в медучреждение, его состояние ухудшается – нарушается работа многих систем организма, затрагивая практически все системы и органы [Dukes-Dobos 1981]. При данном заболевании, обычно нарушается работа центральной нервной системы, и имеются признаки (повреждения) мелких кровеносных сосудов; возможно – в сочетании с разрушением клеточных мембран во многих тканях. Нарушается свёртываемость крови, работа печени и почек. (Пока) не установлено, происходит ли это с самого начала, или развивается позднее, с течением времени (после теплового удара). Посмертное вскрытие показывает, что в некоторых тканях отсутствуют патологические изменения. Своевременное выявление (начальных признаков теплового удара), или симптомов, предшествующих его наступлению, в сочетании с своевременным оказанием помощи, значительно снижает риск смертельных исходов, и значительно снижает степень повреждения органов и тканей [DOD 2003; Navy Environmental Health Center 2007].

4.2.2 Отмирание тканей мышц (острый некроз, рабдомиолиз).

Рабдомиолиз – состояние, возникающее при перегреве организма в сочетании с длительным выполнением физической работы. При этом происходит быстрое разрушение мышц: их разрыв, и отмирание поражённых мышечных тканей. При отмирании мышечной ткани в кровь попадают электролиты и крупные белки, отвечавшие ранее за сокращение мышц [Khan 2009; Cervellin et al. 2010]. При отмирании мышечной ткани, основным электролитом, попадающим в кровь, является калий. Повышение его концентрации в крови нарушает ритм сердечных сокращений, и создаёт риск сердечных приступов. Кроме того, крупные белки из разрушившихся мышц могут повредить чувствительные мембраны почек.

Типичными симптомами являются боль в мышцах, слабость, отёки, судороги, слабость, уменьшение диапазона перемещения суставов. Признаком рабдомиолиза является тёмная, или цвета чая, моча [Brudvig and Fitzgerald 2007; Khan 2009; Cervellin et al. 2010]. Но симптомы у разных людей не одинаковы, и у некоторых людей они могут оказаться «не-стандартными»: утомление, плохая переносимость физической нагрузки, боли в животе, боли в спине, тошнота, ухудшение работы сознания – а у других людей симптомы могут отсутствовать [Huerta-Alardin et al. 2005; Brudvig and Fitzgerald 2007]. Так, в одном из исследований, лишь половина пациентов, у которых был подтверждённый рабдомиолиз, сообщила о болях в мышцах или о слабости [Cervellin et al. 2010]. Так как тёмный цвет мочи и судороги в мышцах могут быть единственным признаком (симптомом) рабдомиолиза, то это заболевание при перегреве и обезвоживании организма может быть принято за другое. Это подтвердило исследование случаев заболеваний, развившихся при перегреве и выполнении физической работы, когда в большинстве случаев был рабдомиолиз – но сначала он не был выявлен при постановке диагноза [Gardner and Kark 1994]. Своевременно выявить рабдомиолиз и поставить правильный диагноз сложно. Чем сильнее ухудшение здоровья, и чем позже будет поставлен правильный диагноз (и начато адекватное лечение), тем выше риск осложнений, и риск необратимого ухудшения здоровья (например – ухудшение работы почек из-за повышения давления в их полости – [компартмент-синдрома на английском](#)).

Таблица 4-4. Сравнение тепловых ударов – классического, и при выполнении физической работы.

Свойства пострадавшего и другие параметры	Классический тепловой удар	Тепловой удар при выполнении физической работы
Возраст	Маленькие дети или пожилые люди	Обычно 13-45 лет
Здоровье	Наличие хронических заболеваний, или общее истощение (ослабление) организма	Обычно хорошее состояние здоровья
Погода	Часто происходит при длительных периодах аномально высокой температуры (тепловые волны, <i>heat wave</i>)	Происходит при разной погоде
Употребление лекарств	Диуретики (мочегонные), антидепрессанты , антихолинергические средства , фенотиазины (психотропные препараты)	Обычно не употребляли, иногда – эрогенные стимуляторы или кокаин
Двигательная активность	При слабой активности	При выполнении физической работы
Выделение пота	Обычно отсутствует	Часто присутствует
Болел ли ранее лихорадкой	Редко	Часто
Нарушение кислотно-основного равновесия	Дыхательный алкалоз	Лактатацидоз
Острая почечная недостаточность	Очень редко	Часто

Раβδοмиолиз (отмирание ткани мышц)	Редко бывает сильным	Встречается часто, и бывает сильным
Гиперурикемия (повышенное содержание мочевой кислоты в крови)	Умеренная	Заметная
Соотношение между креатинином и азотом мочевины крови BUN-to-creatinine ratio	1 : 10	Повышенное
Креатинкиназа, альдолаза	Немного повышенные	Заметно повышенные
Повышенное содержание калия в крови, гиперкалиемия	Обычно отсутствует	Часто присутствует
Снижение концентрации кальция в крови, гипокальциемия	Редко	Часто
Нарушение свёртываемости крови	Слабое	Может быть заметным
Снижение содержания глюкозы в крови, гипогликемия	Редко	Часто

Источник: Heat Stress Control and Heat Casualty Management [[DOD 2003](#)].

Для диагностики раβδοмиолиза квалифицированному врачу следует определить креатинкиназу в крови. Степень развития раβδοмиолиза зависит от степени повреждения других систем и органов, и от максимального содержания креатинкиназы в крови. В долгосрочном плане, последствия раβδοмиолиза могут быть самыми разными - это очень сильно зависит от того, насколько быстро был поставлен диагноз и проведено лечение [[Line and Rust 1995](#)]. Для устранения слабого раβδοмиолиза можно пить много жидкости [[George et al. 2010](#)]. При серьёзных случаях требуется госпитализация и интенсивное лечение с внутривенным вводом жидкости для разбавления попавших в кровь белков, и за счёт этого - снижения их повреждающего действия на почки; наблюдение за работой сердца обнаружения измерения ритма из-за выброса в кровь электролитов; и наблюдение за работой почек [[Sauret et al. 2002](#)]. В тяжёлых случаях может нарушиться работа почек, и тогда требуется использование искусственных почек для очистки крови от протеинов и электролитов (диализ) [[Bosch et al. 2009](#)]. Нарушение работы почек может быть временным, но в некоторых случаях их работоспособность не восстанавливается; и тогда недавно здоровый человек должен жить подключенным к искусственной почке, или ему требуется их пересадка. Порядка 8% случаев раβδοмиолиза приводит к смерти пострадавших [[Cervellin et al. 2010](#)]. В прошлом, для выявления раβδοмиолиза проводили анализ мочи. Это позволяло выявить заболевание, если она содержала миоглобин, и не содержала красные кровяные тельца. Но миоглобин быстро выводится из организма, и его содержание может снизиться до нормального уровня в пределах 6-ти часов после повреждения мышц. Поэтому такой способ диагностики ненадёжен. Одно из исследований показало, что лишь у 19% пациентов, у которых подтверждённый раβδοмиолиз, в момент постановки диагноза был повышенный уровень миоглобина в моче [[Counselman and Lo 2011](#)].

При раβδοмиолизе, дополнительную опасность для здоровья создают: повышение температуры центра тела при поступлении тепла извне, из-за выполнении работы, и из-за некоторых заболеваний, при которых повышается температура тела (например - [злокачественная гипертермия](#)); обезвоживание организма; приём некоторых лекарств (например - [статины](#), снижающие холестерин в крови; и антидепрессанты); приём безрецептурных лекарств (например - [антигистамины](#), нестероидные противовоспалительные препараты, [омепразол](#)); чрезмерное употребление кофеина; использование диетических пищевых добавок (например - креатин и [Hydroxycut™](#)); приём лекарств, алкоголя или [амфетаминов](#); перенесённые ранее заболевания (например - [серповидоклеточная анемия](#) или [волчанка](#)); а также бактериальные или вирусные инфекционные заболевания (например - грипп, вирус [Эпштейна — Барр](#), [болезнь легионеров](#)) [[Wrenn and Oschner 1989](#); [Line and Rust 1995](#); [Huerta-Alardin et al. 2005](#); [Melli et al. 2005](#); [Do et al. 2007](#); [Makaryus et al. 2007](#); [Dehoney and Wellein 2009](#); [Nauss et al. 2009](#); [Chatzizisis et al. 2010](#); [George et al. 2010](#); [de Carvalho et al. 2011](#)].

Важно различать источник поступления тепла в организм, так как от этого зависят симптомы, признаки и возможный исход раβδοмиолиза. Если у пострадавшего был классический тепловой удар, то у него обычно степень раβδοмиолиза слабее, чем при тепловом ударе при выполнении физической работы. Во втором случае у пострадавших выше уровень креатинкиназы, нарушено кислотно-основное равновесие (есть [лактатацидоз](#)), заметно снижена концентрация кальция в крови (при одновременном резком и значительном увеличении концентрации калия, что может нарушить ритм работы сердца), гораздо чаще происходит нарушение работы

почек (в 20%-30% случаев, и в менее 5% случаев), и гораздо выше риск нарушенная свёртываемость крови (диссеминированного внутрисосудистого свёртывания) с летальным исходом [[DOD 2003](#)].

У представителей некоторых профессий род занятий создаёт неустрашимые факторы повышения риска развития рабдомиолиза и других заболеваний, возникающих при перегреве (пожарники и др.). Пожарники регулярно подвергаются воздействию разных источников тепла: от огня; высокая температура воздуха (из-за жаркой погоды); внутреннее выделение тепла из-за тяжёлой физической работы при тушении пожаров. Причём тяжесть физической работы возрастает из-за носки спецодежды и СИЗ. При тушении пожаров в зданиях они могут нести 18-27 кг (*40-60 фунтов*) спецодежды, автономный дыхательный аппарат, различное оборудование (например, подвешиваемый вентилятор (*ventilation hook*) может весить 8-36 кг). При тушении лесных пожаров пожарники не используют столько СИЗ, так как находятся на удалении от огня. Но они должны иметь при себе всё необходимое, и им приходится переносить вес 18-50 кг, порой по пересечённой местности, и в течение длительного времени. В 2011 г. проводилось расследование смерти пожарника из межведомственной пожарной бригады, занимавшегося тушением лесных пожаров. NIOSH проанализировал записи, и оказалось, что за предшествовавшие 12 лет было зарегистрировано 225 случаев заболеваний, вызванных перегревом - но без смертельного исхода [[NIOSH 2012](#)]. Также институт изучал причины смерти пожарника (возраст 26 лет), тушившего пожары в зданиях. Это случилось после того, как он умер после тренировочного забега на расстояние 7 км (*4,4 мили*) при температуре воздуха 22,8°C (*73°F*). Когда пострадавшего доставили в госпиталь, температура центра тела была 40,7°C (*105,3°F*), и был выявлен рабдомиолиз. Затем у пострадавшего развилась острая почечная недостаточность, диссеминированное внутрисосудистое свёртывание, и через 5 дней он умер.

Данных о частоте рабдомиолиза у населения при выполнении физической работы - нет [[Alpers and Jones 2010](#)]. Те люди, род занятий которых требует длительного выполнения тяжёлой физической работы (военные, полиция, спортсмены) подвергаются большому риску развития рабдомиолиза [[CDC 1990](#); [Gardner and Kark 1994](#); [Walsh and Page 2006](#); [O'Connor and Duester 2011](#)]. У военных, большая часть случаев острого рабдомиолиза происходит на первой неделе тренировок [[Olerud et al. 1976](#)]. По данным, собранным позднее в *Armed Forces Health Surveillance Center*, только в 2013 г. было 378 случаев рабдомиолиза, который, вероятно, был вызван выполнением тяжёлой физической работы. Это на 33% выше (среднего) ежегодного числа таких случаев за период с 2009 до 2013 г. Было отмечено, что 71% случаев произошёл между маем и сентябрём [[Armed Forces Health Surveillance Center 2014](#)]. Эта проблема постоянно возникает при летних футбольных тренировках, так как они включают в себя выполнение упражнений, создающих большую физическую нагрузку, и нередко при носке СИЗ в жаркую погоду.

Риск развития рабдомиолиза больше при выполнении интенсивных повторяющихся упражнений до появления усталости (таких, как отжимания); а при длительном выполнении заданий с нагрузкой, ниже максимальной, риск ниже [[Olerud et al. 1976](#)]. Рабдомиолиз нередко развивается у людей (не являющихся представителями (специально) отобранных групп населения при выполнении ими тяжёлой физической работы, превышающей их уровень физподготовки; но он порой развивается и у хорошо подготовленных людей при выполнении ими тяжёлой работы в течение короткого интервала времени - или у тех, у кого есть дополнительные факторы риска (действующие одновременно с физической нагрузкой) [[Walsh and Page 2006](#)].

При лечении рабдомиолиза помимо устранения его причины (то есть - снижения температуры тела, если она высокая), необходим приём жидкости. При слабом рабдомиолизе выпивание жидкости приводит к разбавлению протеинов в крови до уровня, при котором они не создают опасности для почек. Приём жидкости снижает эту опасность до того, как произойдёт восстановление объёма крови (устранение гиповолемии), который часто снижается при (одновременном) развитии рабдомиолиза. В более тяжёлых случаях потребность в жидкости настолько больше, что её выпивания недостаточно. Для этого используют внутривенные вливания. Необходимо обеспечить мочевыделение 200-300 мл/час при наблюдении за сывороточной креатинкиназой, калием и показателями работы почек. При тяжёлых случаях рабдомиолиза пострадавших подключают к кардиомонитору, так как из-за повышенного уровня калия может произойти нарушение ритма сердца со смертельным исходом. При рабдомиолизе, развившемся во время выполнения тяжёлой физической работы, часто встречается низкий уровень кальция, что может привести к судорогам. При нарушении работы почек может потребоваться совет нефролога в отношении использования искусственной почки для гемодиализа. Работа почек может затем восстановиться - а может и нет; и в таком случае пострадавшему придётся постоянно использовать искусственные почки в течение оставшейся жизни.

Другим потенциально серьёзным осложнением при рабдомиолизе является синдром сдавливания (*compartment syndrome*). В данном случае, причиной сдавливания становится то, что мышцы находятся в оболочке (фасции), которая не может растягиваться - а при рабдомиолизе часть мышц (повреждённых) набухает, и сдавливает соседние. Большинство из этих мышц находится на руках и на ногах [[Cervellin et al. 2010](#)]. При рабдомиолизе пострадавшая мышца воспаляется и раздувается. А поскольку волокна оболочки не могут расшириться, давление со стороны разбухшей мышцы становится большим - настолько, что это (может) препятствовать кровоснабжению соседних мышц. Если (общая) оболочка не будет открыта хирургом для

уменьшения давления и восстановления кровоснабжения, то все мышцы, находящиеся в ней, могут отмереть, что приводит к неизлечимому повреждению пострадавшей конечности [[Walsh and Page 2006](#)].

У пострадавших с синдромом сдавливания могут наблюдаться все 5 классических симптомов сосудистой недостаточности: боль, бледность, отсутствие пульса, [парестезии](#) (то есть - ощущение покалывания, онемения, или горения; обычно в руках или ногах), и паралич. Самым распространённым симптомом является боль, и её трудно уменьшить даже при использовании обезболивающих лекарств. Эта боль усиливается при пассивном растяжении мышц; а начало этого процесса может произойти с задержкой по времени по отношению к повреждению мышц. Задержка может составить часы и даже дни, так как набухание повреждённой части мышц до той степени, при которой нарушается кровоснабжение, занимает некоторое время. При обследовании, пострадавшая конечность опухшая, тугая (напряжённая), а при приложении давления возникает боль. Синдром сдавливания может произойти на шее, в области живота, но чаще всего он случается на нижних конечностях. Для обнаружения вздутия конечности можно измерить её диаметр, и сравнить с диаметром другой конечности. А если есть основания подозревать наличие синдрома сдавливания - необходимо немедленно проконсультироваться у специалиста (хирурга), а также измерить давление в оболочке (мышц). Давление в ней не должно превышать 4 кПа (300 мм рт. столба). При превышении этого давления следует немедленно провести фасциотомию (разрез оболочки, в данном случае - мышц). Крайне важно оказать пострадавшему своевременную помощь, так как при подобном нарушении кровообращения необратимые повреждения мышц происходят через 8 часов (и более) после ухудшения кровотока [[Haller 2011](#)].

4.2.3 Тепловое утомление (истощение).

Тепловое утомление часто является предвестником более серьёзного состояния - теплового удара. С этим заболеванием не редко сталкиваются при экспериментальном определении способности человека выдерживать перегрев. Обычно оно сопровождается немного повышенной температурой центра тела (38–39°C, или 100,4–102,2°F). Симптомы: головная боль, тошнота, головокружение, слабость, жажда, сильное потовыделение, раздражительность, и снижение мочеиспускания - соответствуют как тепловому истощению, так и начальным стадиям теплового удара. Из-за индивидуальных отличий, у людей достаточно велик разброс значений температуры центра тела, которую они могут переносить. Некоторые люди не переносят ректальную температуру 38–39°C (100,4–102,2°F); а другие могут выдержать гораздо большую [[Joy and Goldman 1968](#)]. Если потеря влаги организмом не компенсируется, это создаёт предпосылки для развития одного или более заболеваний (вызываемых перегревом), особенно теплового утомления и теплового удара. По статистике, можно ожидать, что случаи теплового истощения будут происходить в 10 раз чаще, чем случаи теплового удара [[Khagali and Hayes 1983](#)].

4.2.4 Тепловые судороги.

Тепловые судороги не являются чем-то необычным у людей, выполняющих тяжёлую физическую работу в условиях нагревающего микроклимата. Точная причина (или причины) пока не определены, но это заболевание может быть вызвано с потерей солей с потом в сочетании с приёмом жидкости (не солёной) так, что не происходит возмещения потерь электролитов в организме. Возможно, имеет место влияние потерь других электролитов - магния, кальция, калия. Судороги часто охватывают те мышцы, которые участвовали в выполнении работы; и для облегчения состояния следует дать им отдохнуть, выпить воду, и возместить потери электролитов (например - с помощью спортивных напитков, содержащих углеводы и электролиты [концентрация натрия в сыворотке <136 мEq/литр]). Не следует принимать соль в таблетках. Для возмещения потерь соли лучше есть обычную подсоленную пищу или пить подсоленную жидкость в течение многих часов [[DOD 2003](#)].

4.2.5 Тепловой обморок.

Тепловой обморок обычно возникает при длительном стоянии или при внезапном вставании из сидячего или лежачего положения. В этом случае, из-за оттока крови в периферические вены, снижается [диастолическое](#) наполнение сердца, и возникает временное ухудшение кровообращения [[DOD 2003](#)]. Симптомы теплового обморока: слабость, головокружение, обморок. Риск обморока выше при обезвоживании организма, и отсутствии акклиматизации. Если с работником случился тепловой обморок, то они обычно быстро приходят в себя - если сидят или лежат; но полное восстановление стабильного кровяного давления и частоты сердечных сокращений может занять час-два [[DOD 2003](#)].

4.2.6 Тепловая сыпь.

Наиболее распространённым видом тепловой сыпи является [потница](#) (*prickly heat, miliaria rubra*). Она проявляется как красные узелки, обычно в тех местах, где одежда прилегает к коже, и вызывает ощущение покалывания (особенно при увеличении потовыделения). Обычно она развивается на том участке кожи, который покрыт не испаряющимся потом. [Кератиновые](#) слои кожи поглощают воду, набухают, и механически перекрывают каналы, по которым пот выходит на поверхность кожи [[Pandolf et al. 1980b, 1980a; DiBenedetto and](#)

[Worobec 1985](#)]. При отсутствии лечения может произойти инфицирование и развитие вторичной [стафилококковой](#) инфекции [[DOD 2003](#)]. Другое кожное заболевание (*miliaria crystallina*) развивается (на участках кожи), где происходит выделение пота, и которые ранее были повреждены (обычно - при солнечном ожоге). Перенесённое повреждение кожи препятствует выделению пота, и приводит к образованию маленьких или больших сосудов, наполненных жидкостью. После прекращения потовыделения они обычно быстро исчезают. Заболевание проходит после того, как повреждённая кожа отшелушивается (заменяясь здоровой).

Другая разновидность заболевания (*miliaria profunda*) происходит при перекрытии каналов потовых желёз под кожей (например - после солнечного ожога, как и в предыдущем случае). Но в данном случае кожа выглядит иначе - нет чётких признаков перенесённого повреждения; присутствуют отдельные бледные возвышения, напоминающие гусиную кожу.

В большинстве случаев тепловая сыпь проходит при возврате в прохладные условия. Если значительную часть дня проводить в прохладных и/или сухих условиях, вероятность появления тепловой сыпи низкая; или она будет появляться редко.

Хотя сама по себе тепловая сыпь не опасна, она повреждает участки кожи и уменьшает потовыделение. А это ухудшает теплоотвод от тела из-за испарения пота, ухудшает терморегуляцию. Кроме того, повреждённая и/или увлажнённая кожа лучше поглощает токсичные вещества, чем сухая. При экспериментальном (искусственном) развитии тепловой сыпи, способность потовыделения восстановилась через 3-4 недели [[Pandolf et al. 1980b](#), [1980a](#)].

4.3 Хронические заболевания, вызванные воздействием нагревающего микроклимата.

Воздействие нагревающего микроклимата, как показали короткие сообщения, эпидемиологические и экспериментальные исследования, может привести к долговременному ухудшению здоровья (ухудшению работы сердца, почек, печени), то есть к развитию хронического заболевания.

В одном из исследований сравнивали группу военнослужащих, госпитализированных из-за заболеваний (возникших при перегреве); и группу больных с аппендицитом. В первой группе риск смертельного исхода был на 40% выше, чем во второй [[Wallace et al. 2007](#)]. Кроме того, оказалось, что у мужчин из первой группы риск смерти из-за сердечно-сосудистых заболеваний и ишемической болезни сердца выше, чем у больных аппендицитом.

Для уточнения долговременного влияния перегрева на здоровье требуется проведение дополнительных исследований. На хроническое состояние здоровья могут влиять большое число разных факторов, например - серьёзность заболевания, длительность воздействия (нагревающего микроклимата), причины заболевания и профилактика (тепловых судорог).

Глава 5. Измерение теплового воздействия.

Тепловой стресс - это чистое (избыточное) поступление тепла в организм в результате совместного действия внутреннего тепловыделения при обмене веществ, внешнего воздействия, теплоизолирующего влияния одежды, так что происходит накопление тепла в теле работника. Нагрев организма вызывает физиологическую реакцию, направленную на увеличение теплоотвода от тела с целью избежать увеличения температуры. Это удаётся не всегда; и при увеличении температуры могут развиваться (тепловые) заболевания, и наступить смерть. На перегрев организма влияют внешние факторы - температура и скорость движения воздуха, давление паров воды, поступление тепла за счёт излучения. Выполнение физической работы вносит вклад в нагрев организма за счёт (увеличения) теплообразования при обмене веществ - пропорционально тяжести выполняемой работы. Теплообмен между кожей и окружающим воздухом зависит от количества и свойств одежды [[OSHA 1999](#)].

Для определения теплового стресса можно измерить климатические и физические показатели окружающей среды, и затем определить их влияние на тело человека с помощью подходящего показателя. В этой главе приводится информация о: (1) измерении внешних факторов, (2) предсказании внешних факторов с помощью прогнозов погоды (*National Weather Service data*), и (3) измерением теплообразования при обмене веществ.

5.1 Внешние факторы.

При рассмотрении теплового воздействия на работника, внешними факторами являются (1) температура воздуха, измеренная термометром с сухим чувствительным элементом; (2) влажность, или (точнее) давление паров воды; (3) скорость движения воздуха; и (4) излучение (солнечное и инфракрасное). Можно измерить количество тепла, поступающего в организм. Это поступление (определяемое температурой окружающей среды, теплопередачей излучением, влажностью, двигательной активностью, и другими факторами) может привести к накоплению тепла в организме. В результате возникает физиологическая реакция, направленная на увеличение теплоотдачи для поддержания постоянной температуры тела [[Parsons 2003](#)].

5.1.1 Температура воздуха, измеренная термометром с сухим чувствительным элементом.

Измерение этой температуры (t_a) является самым простым способом оценки климатических условий. Она равна температуре окружающего воздуха, измеренной термометром; единица измерения - градусы Цельсия (для получения температуры по Цельсию из температуры по Фаренгейту можно использовать формулу: $T(^{\circ}\text{C}) = [T(^{\circ}\text{F}) - 32] \times 5/9$). Для измерения температуры воздуха используют [термометры](#) с сухим чувствительным элементом разных типов: (a) жидкость в стеклянном термометре, (b) термопары, и (c) резисторы, реагирующие на температуру (термисторы). У этих термометров разные конструкции, свойства, характеристики и использованные для изготовления чувствительного элемента материалы.

При использовании любого термометра следует выполнять требования [[Ramsey and Beshir 2003](#)]:

- Температура, измеряемая любым термометром, должна находиться в пределах диапазона его измерения;
- Длительность замера должна превышать длительность периода стабилизации показаний инструмента;
- Чувствительный элемент должен размещаться как можно ближе к месту, где требуется измерить температуру.
- При наличии излучения (например - в солнечный день, или при наличии рядом поверхностей с температурой, отличающейся от температуры воздуха) чувствительный элемент необходимо экранировать.

5.1.1.1 Жидкостно-стеклянные термометры.

Самые простые и широко распространённые термометры используют расширение жидкости в стеклянном сосуде. Ранее широкое применение находили термометры с ртутью и спиртом. При высокой температуре лучше использовать ртутные термометры; а при низкой температуре - термометры с спиртом, т.к. ртуть замерзает при температуре $-38,8^{\circ}\text{C}$ ($-37,9^{\circ}\text{F}$), а спирт -114°C ($-173,6^{\circ}\text{F}$). Из-за токсичных свойств ртути, ртутные термометры не продают населению (в США), но они могут использоваться исследователями. В имеющихся в продаже термометрах используют другие жидкости, например - спирт. Термометры, используемые для измерения температуры окружающей среды с сухим чувствительным элементом, должны полностью подвергаться воздействию окружающей среды (*total immersion types*). Их калибруют путём погружения в среду в термостате, а калибровочная шкала зависит от коэффициентов теплового расширения как стеклянного корпуса, так и жидкости. Следует использовать термометры с градуировкой, нанесённой на стержень. Они простые, но хрупкие, и их показания могут исказиться при воздействии излучения.

5.1.1.2 Термопары.

Термопары состоят из двух проволок из разных металлов, соединённых вместе на обоих концах (сваркой, пайкой или просто скручиванием). Одно из соединений помещается в среду с постоянной температурой (обычно $0^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{F}$) путём погружения в ёмкость с водой и льдом. А другое соединение используется для измерения температуры. Из-за отличий в электрохимических свойствах двух металлов возникает электродвижущая сила (ЭДС) или напряжение, а потенциал зависит от разности температур между двумя концами с соединениями. При использовании милливольтметра или потенциометра для определения ЭДС или постоянного тока (соответственно), с помощью подходящей калибровочной таблицы (или графика) можно определить температуру второго соединения. Для изготовления термопар чаще всего используют медь и константин (медно-никелевый сплав). На термопары меньше влияет излучение, они измеряют температуру точнее, и их можно использовать для измерений температуры на удалении.

5.1.1.3 Терморезисторы (термисторы).

Терморезистор (термистор) использует в качестве чувствительного элемента металлическую проволоку (то есть – резистор). При увеличении температуры её сопротивление возрастает. Это позволяет определить температуру с помощью измерительного моста (*wheatstone bridge*) и/или гальванометра и соответствующей калибровочной таблицы (или графика). В некоторых случаях термисторы калибруют так, что значение температуры можно считывать напрямую. Термисторы тоже меньше подвержены влиянию излучения, но может потребоваться индивидуальная калибровка зондов.



5.1.1.4 Биметаллические термометры.

В биметаллических термометрах используется две полоски из разных металлов, соединённые друг с другом на концах. Из-за различия коэффициентов температурного расширения у разных металлов, при нагреве или охлаждении они изменяют длину – в разной степени. Это приводит в движение откалиброванный индикатор температуры. Такие термометры часто используют в термостатах и в приборах.

5.1.2 Влажность.

Для оценки влажности – количества воды в данном объёме – часто используют относительную влажность (*relative humidity RH*), то есть отношение (%) количества влаги в воздухе по сравнению с максимально возможным количеством (при той же температуре), то есть по отношению к насыщенному влагой воздуху. Влажность является показателем давления водяных паров, зависящего от температуры. Это давление оказывает сильное влияние на охлаждение тела при испарении пота. Чем выше давление водяных паров в воздухе, тем хуже испаряется пот, и меньше теплоотвод от тела.

Для измерения влажность используют гигрометр, или психрометр. Эти термины обычно используют для обозначения приборов, напрямую измеряющих (относительную) влажность. В гигрометрах используют волосы, или другой органический материал; они прочные, простые и недорогие. Но у них низкая чувствительность, особенно при температуре выше 50°C (122°F) и при относительной влажности ниже 20%.

5.1.2.1 Давление водяного пара.

Давление водяного пара (Pa) - это давление, при котором пар будет находиться над поверхностью воды, если они находятся в закрытом объёме, и поддерживается постоянная температура. Обычно давление пара измеряют (в США) в мм. рт. столба. При использовании системы СИ его измеряют в кПа. Для преобразования давления из мм. рт. столба в кПа необходимо умножить его значение на 7,5 ($760 / 101,325$). Для вычисления теплоотдачи от тела работника за счёт испарения пота необходимо знать давление водяного пара в окружающем работника воздухе. Чем меньше давление водяного пара в воздухе, тем больше скорость испарения пота, и тем больше теплоотвод.

Для определения давления водяного пара обычно используется психрометрическая диаграмма. Она устанавливает взаимосвязь между температурой воздуха, измеренной термометром с сухим чувствительным элементом (ta), температурой воздуха, измеренной термометром с влажным чувствительным элементом (twb), температурой точки росы (tdp), относительной влажностью, и давлением водяного пара (Pa). Если Вам известны два из перечисленных пяти параметров, то с помощью психрометрической диаграммы Вы можете получить три остальных.

5.1.2.2 Естественная температура влажного шарика термометра.

Эта температура (*natural wet bulb temperature, twb*) - это температура, измеряемая термометром, чувствительный элемент которого покрыт влажным фитилём, который находится в воздухе, движущемся с той скоростью, с какой обычно движется окружающий воздух.

Для измерения температуры t_{nwb} следует использовать жидкостно-стеклянные термометры, у которых калибровка проводилась в термостатических условиях, но при частичном увлажнении (только чувствительный элемент). При использовании термометра, у которого калибровка проводилась при одинаковых условиях и для чувствительного элемента, и для остальной части, необходимо использовать поправочный коэффициент [Benedict 1977]. Для точного измерения этой температуры (t_{nwb}) необходимо использовать чистый хлопчатобумажный фитиль, дистиллированную воду, и подходящее экранирование для предотвращения попадания (солнечного) излучения.

5.1.2.3 Психрометрическая температура, измеряемая термометром с влажным чувствительным элементом (*Psychrometric Wet Bulb Temperature*)

Психрометрическая температура, измеренная с помощью термометра с мокрым шариком (t_{pwb}) получается тогда, когда чувствительный элемент термометра покрыт влажным фитилём, и на него принудительно воздействует сильный поток воздуха. Обычно эту температуру измеряют с помощью специального «вращающегося» психрометра (*sling psychrometer*), состоящего из двух ртутных термометров, установленных в психрометре отдельно. Один из них используется для измерения температуры. Для обдува чувствительных элементов воздухом они могут вращаться вручную (примерно 1 минуту). При использовании механического вентилятора, он приводится в движение электродвигателем или от пружины. Если два повторных замера дали одинаковый результат - считают, что температура t_{pwb} измерена корректно. По сравнению с гигрометрами, психрометры проще, точнее, быстрее реагируют на изменения. Но их нельзя использовать при температуре, близкой к температуре замерзания воды, и ниже неё (то есть, при влажности, как правило, 100%, и давлении водяного пара около 0,4 кПа - 3 мм. рт. столба).

5.1.2.4 Температура точки росы.

Температура точки росы (t_{dp}) - это температура, при которой - для имеющихся давления и влажности воздуха, и при уменьшении его температуры - начнётся конденсация воды. Для измерения этой температуры используется (специальный) гигрометр точки росы. У него имеется хорошо отполированная, охлаждаемая поверхность, подвергающаяся воздействию окружающей атмосферы. Для определения температуры точки росы наблюдают, при какой температуре начнётся конденсация. Гигрометр для измерения точки росы более точен, чем другие; он полезен при измерениях в лабораторных условиях; он дороже и более хрупкий, чем другие подобные приборы, и обычно требует источник электроэнергии.

5.1.3 Скорость воздуха.

Воздух может двигаться относительно тела из-за движения последнего, или из-за ветра. Скорость воздуха измеряют в метрах в секунду (м/с, а в США - в футах в минуту *fpm*, $1 \text{ fpm} = 0,005 \text{ м/с}$; $1 \text{ м/с} = 200 \text{ fpm}$). Движение воздуха может сильно влиять на теплообмен организма с окружающей средой, изменяя скорость теплоотдачи за счёт конвекции и испарения.

Скорость воздуха измеряют с помощью анемометра. Наиболее распространены два вида анемометров - с лопатками (отклоняемыми, и на вращающейся крыльчатке), и термоанемометры. Поскольку скорость движения воздуха на рабочих местах обычно не постоянна, и она различна в разных местах, её трудно точно измерить. В таких условиях термоанемометры достаточно надёжны и чувствительны (минимальная измеряемая скорость 0,05 м/с (10 fpm). Но они не определяют направление движения воздуха.

При отсутствии анемометра, для оценки скорости воздуха можно использовать таблицу:

Движение воздуха	Скорость V_a, м/с	Скорость V_a, fpm
Нет ощущения движения воздуха (например – закрытая комната без источников движения воздуха)	$V_a < 0,2$	39
Ощущается лёгкий ветерок (то есть, слабое движение воздуха)	$0,2 < V_a < 1,0$	39-197
Ощущается умеренный ветерок (например – в нескольких метрах от вентилятора; воспринимается как заметное движение воздуха – сдвигает листы бумаги, волосы)	$1,0 < V_a < 1,5$	197-235
Ощущается как сильный ветерок (например – около вентилятора; поток воздуха смещает одежду)	$V_a > 1,5$	>235

Источник: [Ramsey and Beshir 2003].

5.1.3.1 Анемометры с лопатками (отклоняемыми, или на крыльчатке).

Анемометры с лопатками часто используют для прогнозов погоды и определения скорости ветра. У наиболее распространённых есть вращающаяся крыльчатка, или отклоняемая лопатка. У первого типа для измерения скорости воздуха используется лёгкая крыльчатка, размещённая в кольце, которую вращает поток. Такой анемометр измеряет число оборотов в крыльчатке, или расстояние в метрах (*футах*). В другом типе анемометров используются 3-4 полусферы, закреплённые по бокам от вертикальной оси вращения. При любом направлении ветра он будет вращать крыльчатку, и его скорость определяется по её частоте вращения [[ASHRAE 1981a](#)]. У анемометров с отклоняемой лопаткой, последняя находится в корпусе с отверстиями для входа и выхода воздуха. Лопатка размещается на пути движения воздуха, и отклоняется им в зависимости от скорости. По этому отклонению, за счёт преобразования движения с помощью зубчатой передачи, определяется скорость воздуха. Анемометры с крыльчаткой точнее, чем анемометры с отклоняемой лопаткой.

5.1.3.2 Термоанемометры.

Для измерения скорости воздуха с помощью термоанемометров используется эффект охлаждения нагретого элемента движущимся воздухом. Существуют два вида термоанемометров с нагретой проволокой - с терморезистором, и с нагреваемой термопарой. Используют два способа измерений.

1. Устанавливается определённое значение сопротивления (или напряжения) у анемометра с нагретой проволокой; или электродвижущей силы (emf) у нагретой термопары; измеряется ток, требуемый для поддержания этого значения; и затем определяется скорость воздуха по калибровочному графику.

2. Нагревается термометр (обычно для этого используют электрический ток определённой силы), и затем определяется скорость воздуха - напрямую, или по калибровочному графику, который связывает её с сопротивлением (у анемометра с нагретой проволокой) или с электродвижущей силой (у анемометра с нагретой термопарой).



5.1.4 Тепловое излучение.

Рассматривая тепловое излучение, можно выделить естественное (солнечное), и искусственное (например – инфракрасное излучение в металлургической промышленности, при производстве стеклянных изделий, в литейных цехах). Приборы, используемые для измерения (теплого) излучения – термометры с зачернённым чувствительным элементом, и [радиометры](#). По своим характеристикам они отличаются от [пирогелиометров](#) или [пиранометров](#) (измеряющих солнечное излучение). Для измерения теплового излучения, воздействующего на работников со стороны солнца или нагретых предметов, наиболее широко используют термометр с зачернённым чувствительным элементом.

5.1.4.1 Искусственное тепловое излучение (не солнечное) на рабочем месте.

(1) **Термометры** с зачернённым чувствительным элементом.

В 1932 Vernon разработал термометр с зачернённым чувствительным элементом для измерения теплового излучения. Он состоял из полой сферы из меди диаметром 15 см (6 дюймов), которая была окрашена в матовый чёрный цвет для поглощения попадавшего на него теплового излучения (поглощалось 95%); и датчик (термистор, термопару, или ртутный термометр), чувствительный элемент которого размещался в центре сферы. Термометр Вернона широко используется для измерения теплового излучения, и NIOSH рекомендует использовать его для определения температуры, измеряемой термометром с зачернённым чувствительным элементом (*black globe temperature, tg*) [[NIOSH 1972](#)]. Иногда его называют “Стандартным 6-ти дюймовым чёрным шаром”.

Теплообмен между термометром с чёрным шаром и окружающей средой происходит за счёт конвекции и излучения. (Измеряемая) температура стабилизируется тогда, когда теплообмен за счёт конвекции сравняется с теплообменом за счёт излучения. Время, необходимое для стабилизации; и преобразование (измеренной) температуры - зависят от размера сферы [[Kuehn 1973](#)]. Термометру со стандартным шаром 15 см требуется 15-20 минут для стабилизации показаний, а имеющимся в продаже термометрам с маленьким шаром (4,2 см - 1,65 дюйма) для стабилизации необходимо порядка 5 минут [[Kuehn and Machattie 1975](#)]. Хотя термометр Вернона с шаром 15 см продолжает использоваться, и считается стандартным измерительным прибором [[ISO 7243](#)], в продаже появились маленькие измерители WBGT с зачернённым шаром диаметром менее 5 см (2 дюйма). Но у любого из этих термометров один и тот же принцип работы [[Parsons 2003](#); [McArdle et al. 2010b](#)].

Температура tg (измеренная термометром с зачернённым чувствительным элементом) используется для определения средней температуры *Mean Radiant Temperature* (MRT). По определению, температура MRT - это «температура укрытия с чёрными поверхностями, имеющими одинаковую температуру - такую, которая



приводит к эквивалентной теплоотдаче или теплопоступлению (в находящийся в укрытии предмет), что и реальная обстановка с не равномерной температурой окружающих поверхностей, где проводится измерение». Для термометра со стандартным шаром 15 см температура MRT определяется по формуле:

$$MRT = t_g + (1,8 Va^{0,5}) \times (t_g - t_a)$$

где

MRT = средняя температура (эквивалентного) укрытия, обеспечивающая эквивалентный теплообмен за счёт излучения (°C);

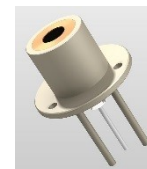
t_g = температура, измеренная термометром с зачернённым чувствительным элементом (°C);

t_a = температура воздуха (°C);

Va = скорость воздуха (м/с).

(2) Радиометры.

Радиометры - это приборы, предназначенные для измерения инфракрасного излучения. Некоторые радиометры (как, например, пирометры) используют для измерения излучаемой энергии с целью определения температуры поверхности источника излучения - чёрного тела, или какого-то объекта. С помощью инфракрасного пирометра можно измерять температуру поверхности от -30 до 3000°C (-22 - 5432°F). Сейчас производят малогабаритные ИК пирометры, легко удерживаемый одной рукой, и их удобно использовать в производственных условиях [[Åstrand et al. 2003](#)].



Чистый радиометр состоит из термопары, чувствительные элементы которой подвергаются воздействию (теплого излучения) будучи размещёнными на двух противоположных сторонах зачернённого диска. Их используют для определения теплопоступления и теплоотдачи у организма человека за счёт излучения [[Cena et al. 1981](#)]. Для измерения потока теплового излучения используют различные радиометры [[Gagge 1970](#)]. Но на рабочих местах их используют нечасто - в основном, они применяются в лабораториях, или измеряют температуру поверхности и прямое солнечное излучение, падающее на поверхность земли. Кроме того, радиометры используют для определения температуры кожи. Но радиометры обычно используют не на рабочих местах, а в лабораториях, и для измерения температур поверхностей, а также для прямого определения потока тепловой энергии, падающего на землю. Кроме того, радиометры используют для определения температуры кожи. Радиометр (накожный датчик) прикрепляют к коже; и записывают изменения её температуры при воздействии нагревающего микроклимата, или при выполнении физической работы (обычно в лабораторных условиях) [[Åstrand et al. 2003](#)].

5.1.4.2 Естественное (солнечное) излучение.

Различают прямое солнечное излучение, рассеянное (*diffuse*) и отражённое. Прямое солнечное излучение направлено от солнца к работнику напрямую, и не встречает препятствий на пути. Рассеянное солнечное излучение - это всё солнечное излучение, рассеянное и отражённое, со всей полусферы - при экранировании от прямого солнечного излучения (то есть - от всей полусферы за вычетом телесного угла от солнечного диска). Отражённое солнечное излучение - то, которое приходит при отражении от воды или земли. Полное поступление тепла из-за солнечного излучения - это сумма прямого, рассеянного и отражённого солнечного излучения; и эта величина корректируется из-за влияния одежды, и в зависимости от относительного положения тела работника по отношению к солнечному излучению [[Roller and Goldman 1967](#)].

(1) Пирогелиометры.

Пирогелиометры измеряют солнечное излучение напрямую. Они состоят из трубки, которая может быть направлена на солнце, и теплового датчика. Рекомендуется использовать пирогелиометр с углом обзора 5,7° и термопарой в качестве датчика [[Allen et al. 1976](#); [Garg 1982](#)]. Широкое распространение получили два вида пирогелиометров (*Angstrom compensation pyrhelometer* и *Smithsonian silver disc pyrhelometer*). У них не вполне одинаковый коэффициент масштаба.



(2) Пиранометры.

Пиранометры можно использовать для измерения рассеянного или полного солнечного излучения. Для измерения рассеянного излучения на пиранометр устанавливается диск, который закрывает чувствительный элемент от прямых солнечных лучей. Обычно устройство регистрирует излучение, приходящее с полусферы (телесный угол 180°) – для оценки полного поступления от солнца и от неба. А в перевёрнутом положении прибор регистрирует отражённое (от земли и предметов) излучение. В качестве датчика может использоваться термопара, полупроводниковый кремниевый чувствительный элемент, или биметаллическая полоска. пиранометры используют для определения солнечного или другого излучения от 0,35 до 2,5 мкм (включает: ультрафиолетовое,



видимое и инфракрасное излучение). Более подробное описание пиранометров приводится в литературе [[Duffie and Beckman 1980](#); [Garg 1982](#); [Chang and Ge 1983](#)].

Пирогелиометры и пиранометры и являются стандартными средствами для измерения переноса энергии излучением (ISO [1990b]). Но более точным и удобным способом определения теплового воздействия в производственных условиях является измерение комплексного показателя температуры WBGT. Для его замеров разработаны разные устройства – компактные, лёгкие, и достаточно точные для использования на рабочем месте. В отличие от пирогелиометров и пиранометров, измерители WBGT учитывают не только излучение, но и влажность воздуха, и его температуру (измеряемую термометром с сухим чувствительным элементом). Это позволяет полнее учесть то, насколько сильно тепловое воздействие на работника.

5.1.5 Психометрическая диаграмма.

Психометрическая диаграмма является графическим представлением взаимосвязи между температурами воздуха (измеряемыми термометрами с сухим и влажным чувствительными элементами), относительной влажностью, давлением паров воды, и температурой точки росы. Если известны любые два из этих параметров – с помощью диаграммы можно определить остальные. На [фиг. 5-1](#) приводится пример стандартной психометрической диаграммы [ISO 1993]. Отметим, что при относительной влажности 100%, температуры воздуха, измеренные термометрами с сухим и влажным чувствительными элементами – равны; и они равны температуре точки росы. Психометрическая диаграмма является хорошим средством для оценки теплового состояния окружающей среды в помещениях – когда нет солнечного или иного излучения.

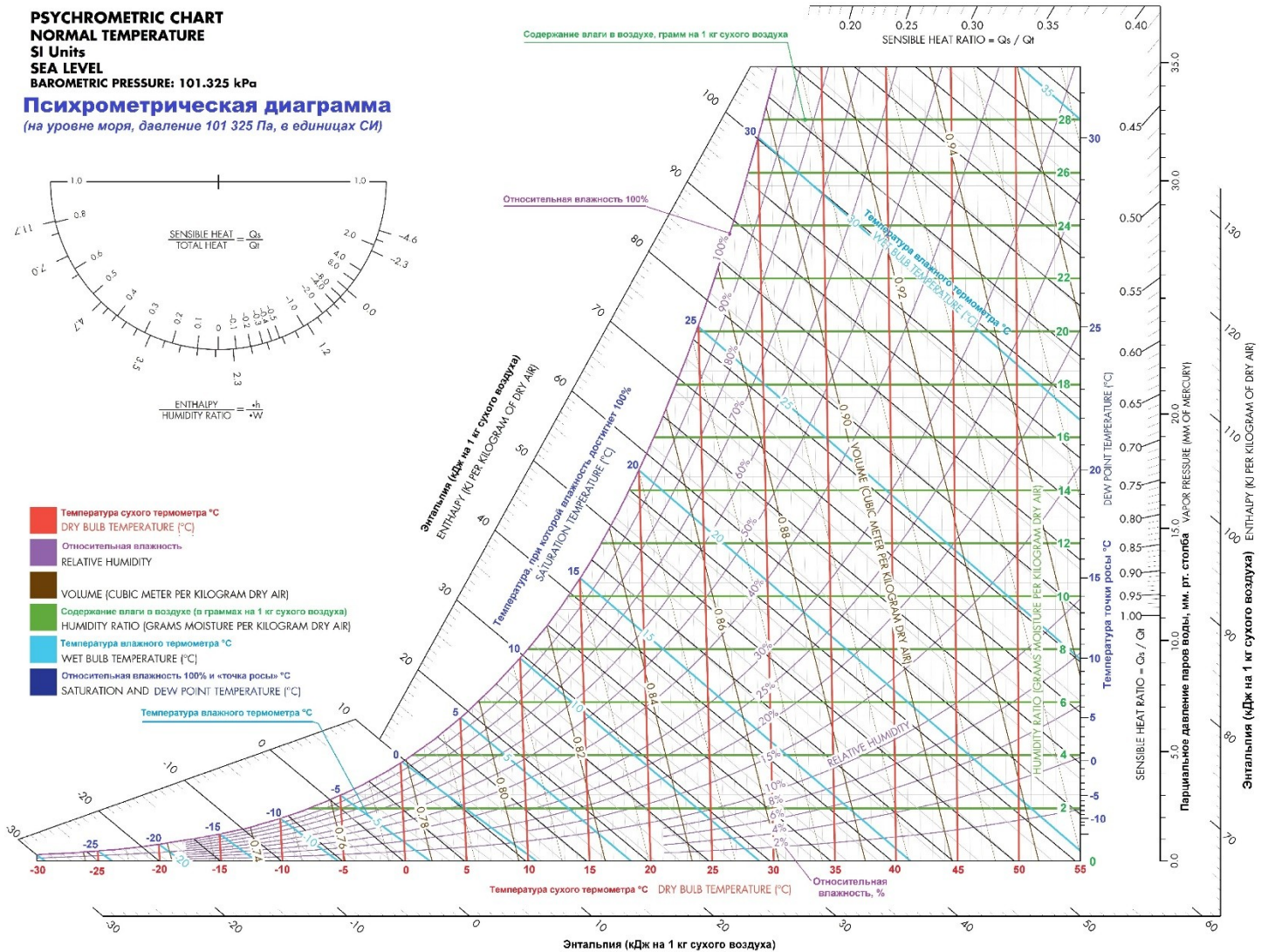


Figure 5-1. The psychrometric chart (adapted from ISO [1993] and Coolerado [2012])

Фиг. 5-1. Психометрическая диаграмма (источники: [ISO \[1993\]](#) и [Coolerado \[2012\]](#))

5.2 Предсказание погодных условий с помощью данных метеослужб (*National Weather Service Data*).

В США Национальное управление океанических и атмосферных исследований (*National Oceanic and Atmospheric Administration's National Weather Service, NOAA*) ежедневно проводит измерения параметров окружающей среды, и эта информация может помочь определить микроклиматические условия на рабочем месте. NOAA ежедневно измеряет температуру воздуха, влажность, скорость ветра, температуру точки росы, видимость. Эта информация может быть полезна для приближённой оценки условий на рабочем месте (в отношении воздействия на работника нагревающего микроклимата) при работе вне помещений, и в некоторых случаях в помещениях (когда кондиционеры не используются). Информация об атмосферном давлении может быть полезна для случаев работы в помещении, и вне помещений. Текущие и архивные данные могут быть полезны для предсказания значений показателя WBGT в конкретном месте [[Bernard and Barrow 2013](#)]. Кроме того, используя данные о показателе температуры (*heat index*), метеослужба США может давать дополнительные конкретные рекомендации в периоды экстремальной жары. Этот показатель температуры (*heat index*) учитывает и температуру, и относительную влажность – так, чтобы его значения отражали температурные условия так, как они воспринимаются [[Golden et al. 2008](#)]. Проведённое недавно исследование показало, что 86% несчастных случаев из-за перегрева происходит в диапазоне значений показателя температуры (*heat index*) от 32,2 до 40°C (90-104°F) [[Armed Forces Health Surveillance 2011](#)]. Более полная информация об этом показателе приводится в [Приложении С](#).

Данные метеослужбы США были использованы в исследованиях, где проводился анализ смертности, вызванной обострением заболеваний в периоды экстремально высокой температуры [[Semenza et al. 1996](#); [Curriero et al. 2002](#); [Knowlton et al. 2007](#); [Golden et al. 2008](#)]. Но определить влияние периодов экстремально высокой температуры на здоровье может быть сложно. Такие периоды жары порой называют «тихими убийцами», так как (в отличие от других природных стихийных бедствий, например – ураганов) после них не остаётся видимых разрушений [[Luber and McGeehin 2008](#)]. Но несмотря на это, из-за периодов экстремально высокой температуры в США гибнет примерно столько же людей, сколько из-за молний, штормов, наводнений, оползней и землетрясений – вместе взятых [[Berko et al. 2014](#); [Thacker et al. 2008](#)]. Случаи развития заболеваний и смерти людей, вызванные перегревом, часто неправильно идентифицируются, не выявляются, или не регистрируются [[Luber and McGeehin 2008](#)].

При непрерывном мониторинге параметров окружающей среды можно определить условия на рабочем месте, текущее значение степени теплового воздействия. Это полезно для разработки технических средств коллективной защиты. А для организации безопасного выполнения работ желательно иметь прогноз условий работы (по тепловому воздействию) хотя бы на 1 день вперёд. Разработана методика для вычисления комплексного показателя WBGT по данным о температуре (измеренной термометром с влажным чувствительным элементом) на сайте метеослужбы США. Методика основана на проведении одновременных измерений температуры на 15 «характерных» рабочих местах; вне рабочих мест; и данных ближайшей метеостанции. Определены эмпирические зависимости между данными на рабочих местах и вне их. Используя эти зависимости, можно предсказать: значения показателя WBGT на рабочем месте; значения эффективной и откорректированной эффективной температур (ET и CET, учитывают температуру, влажность, скорость движения воздуха и теплопередачу излучением) – используя как исходные данные прогноза погоды. Для использования методики необходимо сначала изучить условия на рабочих местах, чтобы определить – как они отличаются от метеоусловий вне помещений, и микроклимата в помещениях; и чтобы определить значения коэффициентов в уравнениях взаимосвязи для конкретного рабочего места (а они уникальны, вероятно, из-за отличий в скорости движения воздуха – по отношению к постоянной скорости в термометре с влажным чувствительным элементом) [[Mutchler et al. 1976](#)]. В другом примере, при плавке алюминия, для получения параметров микроклимата использовали данные метеослужбы, анализа выполняемой работы, и на основе этой информации делали оценку теплового воздействия [[Logan and Bernard 1999](#)].

5.3 Внутреннее теплообразование при обмене веществ.

Общее тепловое воздействие на работника складывается из внешнего воздействия и внутреннего теплообразования (особенно при выполнении физической работы). Затраты энергии на выполнение физической работы (оцениваемые как внутреннее тепловыделение при обмене веществ M), являются важной составляющей в уравнении теплообмена между телом работника и окружающей средой. Значение M можно измерить или оценить. Затраты энергии при выполнении работы складываются из затрат на непосредственно саму работу; и энергии, перешедшей в тепло. В среднем, мышцы при тяжёлой физической работе используют 20% энергии. А если работник не выполняет тяжёлую физическую работу, то энергия (обмена веществ) в основном переходит в тепло. На практике считают, что M равно количеству энергии, полученному при обмене веществ.

5.3.1 Измерение энергии, полученной при обмене веществ.

5.3.1.1 Прямое калориметрическое измерение.

Для определения того, сколько энергии переходит в тепло с помощью прямой калориметрии, испытателя помещают в камеру калориметра (окружённую циркулирующей водой), и изменение температуры воды позволяет определить – сколько тепла отдало тело в окружающую среду. Но практическое использование этого способа в производственных условиях затруднено тем, что требует много времени и больших финансовых затрат [[Banister and Brown 1968](#)].

5.3.1.2 Не прямые калориметрические измерения.

Главным способом не прямых калориметрических измерений внутреннего тепловыделения является измерение количества потребляемого кислорода. Поглощение организмом каждого литра кислорода приводит к выделению 20,1 кДж ($4,8 \text{ кКал} = 5,58 \text{ Вт} \times 1 \text{ час}$) при обмене веществ. непрямая калориметрия может быть с открытым и с закрытым контуром. При использовании другого не прямого способа измерений, учитывается линейная взаимосвязь между частотой сердечных сокращений и потреблением кислорода. Но линейность обычно имеет место при выполнении физической работы при частоте сокращений, меньше максимальной – при достижении максимума частота перестаёт расти, а потребление кислорода продолжает расти. А когда линейность существует, то у разных людей она различна – из-за индивидуальных особенностей [[Karpovich and Sinning 1971](#); [Berger 1982](#)].

(1) Не прямая калориметрия с закрытым контуром.

При использовании этого способа, человек вдыхает воздух через спирометр, и выдыхает его в спирометр. После выдоха, воздух попадает в поглотители влаги и углекислого газа. Снижение концентрации кислорода в спирометре соответствует его потреблению организмом. С развитием электроники произошло изменение способа измерений – так, что оно происходит под контролем компьютера. Это позволяет получить точный результат, без задержек по времени, и одновременно измерить ряд других важных показателей [[Stegman 1981](#)].

(2) Не прямая калориметрия с открытым контуром.

Ранее, при использовании этого способа работник вдыхал атмосферный воздух, и потом выдыхал его в большую ёмкость (мешок Дугласа или метеорологический баллон). Объём выдыхаемого воздуха точно измеряли с помощью откалиброванного газомера. Концентрация кислорода в выдохнутом воздухе измерялась с помощью химических или электронных способов. Концентрация кислорода и углекислого газа в атмосфере (обычно, в среднем) 20,9 и 0,03% соответственно (или их измеряли); и это позволяло определить, сколько кислорода потребил человек, и какое количество энергии при выполнении работы выделилось.

При использовании другого способа, за счёт газомера Макса Планка (*Max Planck respiration gasometer*) можно было не собирать выдыхаемый воздух, и не требовался калиброванный газомер [[Stegman 1981](#)]. Испытатель вдыхал атмосферный воздух, и затем выдыхал его в газомер, который сразу измерял температуру выдыхаемого воздуха и его объём. (Небольшая) часть выдохнутого воздуха отбиралась в резиновый мешочек для последующего измерения концентрации кислорода и углекислого газа. И мешок Дугласа, и описанный выше газомер были портативными, и позволяли проводить замеры на рабочих местах и в лабораториях [[Stegman 1981](#)].

Сейчас появилось много новых способов измерений внутреннего тепловыделения у людей. Используют (*metabolic cart*) - отбор проб воздуха из колпака, надетого на голову, при каждом вдохе-выдохе; и вычисляют потребление кислорода $\dot{V}O_2$ max, количество образующегося углекислого газа $\dot{V}CO_2$, минутную вентиляцию (объём воздуха, вдыхаемый за минуту) \dot{V}_E , отношение между количеством вдыхаемого кислорода и выдыхаемого углекислого газа RER и др. Такие измерения могут проводиться с помощью носимых работником приборов [[McArdle et al. 2010a](#)]. Почти все современные лаборатории, работающие в области физиологии и эргономики, используют такие приборы ([ISO 8996: Ergonomics of the thermal environment—Determination of metabolic rate \[2004\]](#)).

5.3.2 Оценка метаболического тепловыделения.

Способы прямой и не прямой калориметрии могут использоваться относительно небольшие интервалы времени, и требуют использования устройств для сбора выдыхаемого воздуха (для измерения концентрации кислорода и углекислого газа). Другой способ – менее точный и воспроизводимый – предполагает определение тепловыделения с помощью таблиц затрат энергии, или с помощью анализа выполняемой работы (как для коротких интервалов времени, так и для длинных), и он не требует использования оборудования. Но у тренированного наблюдателя точность оценки может быть в пределах от ± 10 до $\pm 15\%$. Для улучшения точности можно использовать программу тренировки, включающую использование таблиц с данными о энергозатратах [[AИHA 1971](#); [Garg et al. 1978](#)].

5.3.2.1 Таблицы с данными о затратах энергии.

Для (приближённой) оценки внутреннего теплообразования при выполнении физической работы обычно используют таблицы с данными о затратах энергии на разные виды работ [Smith and Ramsey 1980; ACGIH 2014]. Оценки погрешности показали, что она может достигать 30% [ISO 1990a]. Стандарт [ISO 1990a] рекомендует использовать для оценки внутреннего теплообразования следующие значения: (1) базовое значение теплообразования; (2) значение, учитывающее положение тела и его движение; (3) значение, учитывающее вид работы, и (4) значение, учитывающее скорость выполнения работы. У «стандартных» мужчин базовое значение составляет 44 Вт/м², у женщин – 41 Вт/м². В стандарте приводятся значения для положения тела, его движения, вида работы, скорости работы [ISO 1990a].

5.3.2.2 Анализ выполняемой работы.

Для того, чтобы определить средние затраты энергии за большой период времени (работы и отдыха), необходимо разделить основную и дополнительную деятельность. Затем оцениваются энергозатраты при дополнительной деятельности, и (с учётом длительности каждого вида деятельности) определяются средние затраты энергии. При таком анализе для оценки энергозатрат на каждый вид деятельности обычно используют таблицы (пример – данные в таблице 5-1) с данными для работы руками, работы ногами, при ходьбе и др.) [McArdle et al. 1996b]. Для оценки общего (суммарного) тепловыделения необходимо сложить значения М для разных выполняемых на практике движений.

Таблица 5-1. Сравнение предельно допустимых значений комплексного показателя температуры WBGT для акклиматизированных работников (разработанных разными организациями); и внутреннее тепловыделение для разных видов деятельности (Вт; и ккал/час)

Деятельность	ACGIH	АИНА	OSHA	ISO	NIOSH
Покой	-	32,2°C (90°F) 117 Вт 100 ккал/час	-	33°C (91,4°F) ≤117 Вт ≤100 ккал/час	-
Лёгкая работа	30°C (86°F) 117–233 Вт 100–200 ккал/ч	30°C (86°F) 233 Вт 200 ккал/час	30°C* (86°F) 32,2°C** (90°F) 233 Вт <200 ккал/час	30°C (86°F) 117–234 Вт 100–201 ккал/ч	30°C* (86°F) 233 Вт <200 ккал/ч
Работа средней тяжести	26,7°C (80°F) 234–407 Вт 201–350 ккал/ч	26,7°C (80°F) 349 Вт 300 ккал/час	27,8°C* (82°F) 30,6°C** (87,1°F) 234–349 Вт 201–300 ккал/ч	28°C (82,4°F) 234–360 Вт 201–310 ккал/ч	28°C (82,4°F) 234–349 Вт 201–300 ккал/ч
Тяжёлая работа	-	-	26,1°C* (79°F) 28,9°C** (84°F) 350 Вт >301 ккал/ч	25°C* (77°F) 26°C** (78,8°F) 360–468 Вт 310–403 ккал/час	26°C (78,8°F) 350–465 Вт 301–400 ккал/ч
Очень тяжёлая работа	25°C (77°F) 407–581 Вт 350–500 ккал/ч	-	-	23°C* (73,4°F) 25°C** (77°F) >468 Вт >403 ккал/час	25°C (77°F) 466–580 Вт 401–500 ккал/ч

* низкая скорость; ** большая скорость.

Примечание: у не акклиматизированных работников при той же температуре и той же работе будет большая степень перегрева. **Источник:** American Industrial Hygiene Association (АИНА [2003]).

Глава 6. Защита от перегрева.

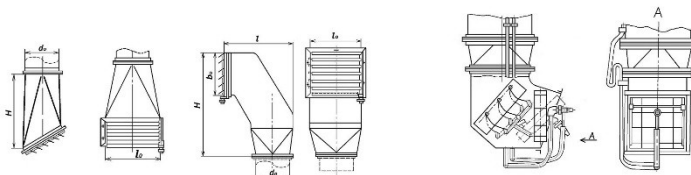
В соответствии с уравнением теплопередачи $[S = (M - W) \pm C \pm R \pm K - E]$ описанном в [разделе 3.1](#), для снижения теплового воздействия на работника необходимо изменить какой-то из членов уравнения: внутреннее тепловыделение (M), теплопередачу за счёт конвекции (C), за счёт излучения (R), или за счёт испарения (E). Для снижения поступления тепла извне могут использоваться средства коллективной защиты (вентиляция, кондиционирование воздуха, экранирование, изменение технологии), и защитная одежда и СИЗ; а внутреннее теплообразование можно изменить за счёт изменения выполнения работы, использования средств механизации. Каждый из этих способов будет рассмотрен отдельно. Действия по снижению тепловой нагрузки на работников перечислены в [таблице 6-1](#) [Belding 1973].

6.1 Средства коллективной защиты.

Можно изменить тепловой микроклимат с помощью технических средств, влияющих на теплообмен за счёт конвекции, излучения и испарения.

6.1.1 Регулирование теплопередачи конвекцией.

Различные конструкции воздухораспределителей воздушных душей



Тип ПД, подвод воздуха сверху (слева) и снизу (справа)

Тип УДВ - с увлажнением воздуха (для адиабатического охлаждения)

Как обсуждалось ранее, на теплопередачу конвекцией влияют параметры окружающей среды, которые можно оценить с помощью температуры воздуха (измеренной термометром с сухим чувствительным элементом t_a), и скорость движения воздуха V_a . Если температура воздуха выше средней температуры кожи t_{sk} 35°C (95°F), за счёт конвекции происходит нагрев организма.

Интенсивность поступления тепла в организм зависит от разницы температур ($t_a - t_{sk}$) и скорости воздуха (V_a). А если температура воздуха ниже температуры кожи, то за счёт конвекции происходит отвод тепла от организма, его интенсивность зависит от разницы температур воздуха и кожи, и от скорости воздуха.

Средства коллективной защиты могут влиять на теплообмен за счёт конвекции путём изменения температуры воздуха и изменения его скорости. Если температура воздуха меньше температура воздуха ниже температуры кожи, то увеличение скорости воздуха относительно кожи (например, за счёт вентиляции) увеличит теплоотвод от организма. А когда температура воздуха выше температуры кожи, необходимо снизить температуру воздуха используя охлаждённый окружающий воздух, или за счёт испарительного охлаждения воздуха, или за счёт использования охлаждающих воздух устройств. Кроме того, если температура воздуха выше температуры кожи, скорость воздуха следует снизить до величины, позволяющей поту свободно испаряться – но не приводящей к существенному увеличению переноса тепла в организм за счёт конвекции (см. [таблицу 6-1](#)). На теплообмен за счёт конвекции влияет скорость воздуха. В тех случаях, когда большие размеры помещения и технологический прогресс не позволяют снизить температуру воздуха везде – эффективным способом защиты отдельного работника становится локальное охлаждение воздуха. Но работе устройств, обеспечивающих местное охлаждение, может помешать вентиляция (используемая, например, для снижения загрязнённости воздуха).

6.1.2 Защита от теплопередачи излучением.

Перенос энергии (от поверхностей тел, находящихся на рабочем месте в зоне прямой видимости - к работнику) за счёт излучения пропорционален четвёртой степени температуры поверхностей (предметов t_r и средней температуры кожи t_{sk}). Единственный способ влиять на теплопередачу излучением – уменьшение температуры нагретых поверхностей, окружающих рабочего; или экранирование (нагретых поверхностей или работника).

Таблица 6-1. Защита работников от перегрева

Тепловое воздействие	Рекомендуемые меры
1. При использовании средств коллективной защиты	
Внутреннее теплообразование при выполнении физической работы (M).	Снизить тяжесть выполняемой работы за счёт использования средств механизации.
Поступление тепла за счёт излучения (R).	Использование экранов, размещённый на линии, соединяющей рабочее место и источник излучения; теплоизоляция нагретых поверхностей; использование металлических экранов, отражающих излучение; использование одежды, отражающей излучение; закрывание открытых частей тела.
Поступление тепла за счёт	* Если температура воздуха выше 35°C (95°F), необходимо снизить температуру

конвекции (С).	воздуха, уменьшить скорость его движения относительно кожи, и использовать одежду (для уменьшения поступления тепла в организм). * Если температура ниже 35°C (95°F), необходимо увеличить скорость движения воздуха относительно кожи, и снять часть одежды.
Охлаждение тела за счёт испарения пота (максимальное E _{max}).	* Улучшение испарения пота за счёт снижения влажности воздуха и/или увеличения его скорости движения. * Следует одевать меньше одежды.
2. Организационные мероприятия	
Акклиматизация.	* Постепенное увеличение продолжительности воздействия нагревающего микроклимата до полносменного в течение 7-14 дней. * Для новых сотрудников, продолжительность воздействия в первый день должна быть не более 20% от смены; и увеличение должно быть не более чем на 20% каждый последующий день. * Для работников, уже работавших в условиях нагревающего микроклимата, продолжительность воздействия в первый день должна быть не больше 50% от смены; до 60% во второй день; до 80% в третий; и до 100% на четвёртый.
График работы.	* Сокращение длительности воздействия: частые кратковременные воздействия нагревающего микроклимата переносятся лучше, чем редкие длительные (центр тела не успевает прогреться). * Выполнение работы в условиях сильного теплового воздействия должно, по возможности, планироваться на наиболее холодную часть суток.
Обеспечение организма водой.	Для предотвращения обезвоживания организма рекомендуется часть пить понемногу охлаждённую воду, например стакан каждые 15-20 минут.
Отдых и восстановление сил.	Работники должны иметь возможность отдыхать в тени, и/или в помещении с охлаждённым кондиционированным воздухом.
Периоды аномально высокой температуры (тепловые волны).	Разработка и выполнение программы защиты работников в течение периодов аномально высокой температуры.
Другие вопросы.	* Проведение медобследования работников. * На способность работника выдерживать перегрев может негативно повлиять утомление, или не сильное заболевание (не имеющее отношения к работе) – несерьёзное инфекционное заболевание, понос, проведённая без сна ночь, употребление алкоголя.
3. Спецодежда и средства индивидуальной защиты	
	* Спецодежда с подачей охлаждённого воздуха для теплоотвода от кожи; спецодежда с подачей охлаждённой воды (по сети трубок) или с распределёнными по телу ёмкостями с замороженной водой. * Использование теплоотражающей одежды или фартуков.

Источники: [Belding \[1973\]](#) и [OSHA-NIOSH \[2011\]](#).

Для уменьшения температуры нагретых поверхностей можно: (1) изменить технологический процесс – что обычно трудно сделать, (2) переместить, теплоизолировать, или охладить источник тепла, (3) разместить между работником и источником излучения отражающий экран, или (4) изменить способность поверхности излучать за счёт нанесения покрытия. Из этих способов, обычно наиболее простым и недорогим является использование отражающих экранов. Они могут уменьшить поступление тепла в организм за счёт излучения на 80-85%. Размещение экранов должно быть таким, чтобы они не мешали работать – что может потребовать определённой изобретательности. Для снижения тепловой нагрузки на работника могут использоваться дистанционно управляемые манипуляторы, экраны из металлических цепей, дверцы с пневматическим или гидравлическим приводом (открывающиеся кратковременно – лишь когда это необходимо).



Защита головы от солнечного теплового излучения

6.1.3 Охлаждение работника за счёт испарения.

Для отвода тепла от организма используется испарение пота с поверхности кожи. Количество испаряющегося пота, и скорость испарения – зависят от скорости движения воздуха и от парциального давления водяного пара в воздухе (р_а) и у поверхности увлажнённой кожи (при её ожидаемой температуре 34-35°C 93,2–95°F). При любом отличии двух указанных выше давлений пара воды, испарение будет возрастать пропорционально увеличению скорости движения воздуха в степени 0,6. При маленькой скорости движения воздуха отвод тепла от организма за счёт испарения можно повысить, увеличив скорость воздуха (вентиляция и

т.п.). При большой скорости воздуха (2,5 м/с – 500 футов/мин), дальнейшее повышение скорости воздуха будет малоэффективно (за исключением случаев, когда движению воздуха относительно кожи мешает одежда).

Для улучшения теплоотвода от тела за счёт испарения могут использоваться средства коллективной защиты: **(1)** увеличивающие скорость воздуха, или **(2)** снижающие давление водяного пара в воздухе. Из этих двух способов, самый простой и дешёвый – использование вентиляторов для увеличения скорости воздуха. Для снижения парциального давления водяного пара обычно требуются кондиционеры. В некоторых случаях установка кондиционеров, особенно для локального охлаждения, может оказаться дешевле, чем установка вентиляторов для повышения скорости воздуха (из-за меньшего количества обрабатываемого воздуха). Парциальное давление водяного пара на рабочем месте обычно не ниже давления в окружающем воздухе (кроме случаев, когда весь поступающий и рециркулирующий воздух проходит через уменьшающий влажность кондиционер). Помимо влаги, приносимой окружающим воздухом при его поступлении, влажность воздуха может возрасти из-за особенностей технологического процесса – выделений пара, утечек из паропроводов, испарения воды с влажного пола и др. Устранение этих источников может помочь снизить парциальное давление водяного пара в воздухе, и тем самым улучшить теплоотвод от организма за счёт испарения пота с кожи [Dasler 1977].



6.2 Организационные мероприятия.

На риск возникновения несчастных случаев и хронических профессиональных заболеваний при тепловом воздействии влияют тяжесть выполняемой работы, и требования к использованию одежды. Это учтено при разработке предельно допустимых значений, традиционно использующих (в США) комплексный показатель WBGT (например – значения REL, разработанные NIOSH; значения TLV, разработанные ACGIH; и ограничения стандарта [ISO 7243]). Многие из работников проводят часть смены в условиях нагревающего микроклимата – превышающих предельно допустимые значения. Для уменьшения риска для здоровья работников следует, в первую очередь, уменьшить поступление тепла в организм за счёт средств коллективной защиты; а в некоторых случаях могут потребоваться организационные мероприятия и средства индивидуальной защиты.

Использование средств коллективной защиты, полностью устраняющих чрезмерное поступление тепла в организм, может оказаться технически неосуществимым, или требующим слишком больших затрат. Тепловое воздействие окружающей среды на работника может быть непредсказуемым и непостоянным (например – сезонные периоды экстремально высокой температуры); а длительность воздействия может зависеть от выполняемой работы, и непредвиденных обстоятельств. Если использования средств коллективной защиты оказывается недостаточно, следует искать другие (дополнительные) пути уменьшения теплового воздействия на работника, чтобы оно не приводило к повышенному риску ухудшения здоровья.

К организационным мерам относят: **(1)** изменение и/или уменьшение длительности воздействия⁴, **(2)** уменьшение внутреннего теплообразования, **(3)** улучшения устойчивости работника к тепловому воздействию за счёт, например, его акклиматизации, и улучшения физической подготовки, **(4)** обучения и тренировки работников требованиям охраны труда при воздействии нагревающего микроклимата, и **(5)** медицинского обследования работников для выявления тех, у кого хуже устойчивость к воздействию нагревающего микроклимата, и/или физическая подготовка.

6.2.1 Ограничение длительности воздействия (защита временем) и/или ограничение температуры.

Существуют разные способы снижения длительности теплового воздействия и ограничения температуры, при которых работник подвергается воздействию нагревающего микроклимата [OSHA-NIOSH 2011].

- Если это возможно, при планировании работы следует стараться планировать выполнение работы (в условиях нагревающего микроклимата) в наиболее прохладный период суток (рано утром, поздно вечером, или ночью); и выполнение такой работы желательно проводить не несколько дней подряд, а через день.
- Если это возможно, при планировании работы, те виды профилактических и плановых ремонтов и др., которые выполняются в условиях нагревающего микроклимата, следует стараться намечать на холодный период года.
- При планировании и организации выполнения работы, старайтесь увеличить расстояние от источников теплового излучения.
- Измените режим труда и отдыха так, чтобы работники трудились с перерывами, и отдыхали дольше (примеры в [таблицах 6-2](#) и [6-3](#)).
- Обеспечьте работников местами отдыха для восстановления сил и охлаждения организма - помещения с охлаждённым кондиционированным воздухом, или в тени.
- Для снижения длительности воздействия на отдельного работника, увеличьте их численность с тем, чтобы каждый подвергался воздействию меньше времени.

- Разрешите сотрудникам делать перерывы в работе, если они чувствуют дискомфорт из-за перегрева.
- Постарайтесь увеличить потребление воды работниками.
- Спланируйте работу так, чтобы «горячие» виды работ не выполнялись в то же время и в том же месте, где и другие работы, требующие присутствия работников.
- Используйте ограничения (из *Thermal Work Limit guide*) для того, чтобы температура центра тела у акклиматизированных работников, потребляющих достаточно воды, не превышала безопасную величину 38,2°C (100,8°F), и чтобы выделение пота не превышало 1,2 кг/час (2,6 фунта в час) из-за большого внутреннего теплообразования при выполнении работы. Показатель перегрева, используемый в этом случае для оценки риска, предназначен для использования работниками, и не использует оценку фактического внутреннего теплообразования (его трудно оценить, и эта попытка может привести к значительной ошибке). Но максимальное внутреннее теплообразование (безопасное) ограничивается не только потреблением воды и степенью акклиматизации, но и общей физической подготовкой работников. Это ограничивает точность результата при применении (*Thermal Work Limit*).

6.2.2 Уменьшение внутреннего теплообразования.

В большинстве случаев вклад внутреннего теплообразования в перегрев организма не самый большой. Но поскольку он создаёт дополнительную нагрузку на сердечно-сосудистую систему, то при больших поступлениях тепла другими путями - внутреннее теплообразование становится крайне важным. Выполнение тяжёлой и очень тяжёлой работы требует предоставления сотруднику больших периодов времени для отдыха. В [таблицах 6-2 и 6-3](#) приводятся примеры рекомендуемых режимов труда и отдыха.

Таблица 6-2. Режим работы и отдыха при воздействии на работников, одетых в обычную* одежду, нагревающего микроклимата (°C / °F): период работы / период отдыха (минут), источник: [EPA \[1993\]](#).

Откорректированная температура** при относительной влажности RH (%)							Тяжесть выполняемой физической работы				
°C, при RH =						°F, RH =30%	Лёгкая	Средняя	Тяжёлая		
10%	20%	30%	40%	50%	60%						
37,22	35	32,78	31,11	29,45	27,78	91	Обычный график работы	Обычный график работы	Обычный график работы		
37,22	35	32,78	31,11	29,45	27,78	91					
37,78	35,56	33,33	31,67	30	28,33	92					
38,33	36,11	33,89	32,22	30,56	28,89	93					
38,89	36,67	34,44	32,78	31,11	29,44	94					
39,44	37,22	35,00	33,33	31,67	30	95					
40	37,78	35,56	33,89	32,22	30,56	96					
40,56	38,33	36,11	34,44	32,78	31,11	97					
41,11	38,89	36,67	35	33,33	31,67	98					
41,67	39,44	37,22	35,56	33,89	32,22	99					
42,22	40	37,78	36,11	34,45	32,78	100					
42,78	40,56	38,33	36,67	35	33,33	101					
43,33	41,11	38,89	37,22	35,56	33,89	102					
43,89	41,67	39,44	37,78	36,11	34,44	103					
44,44	42,22	40,00	38,33	36,67	35	104					
45	42,78	40,56	38,89	37,22	35,56	105					
45,56	43,33	41,11	39,44	37,78	36,11	106			45 / 15	20 / 40	Осторожно! ***
46,11	43,89	41,67	40	38,33	36,67	107			40 / 20	15 / 45	
46,67	44,44	42,22	40,56	38,89	37,22	108	35 / 25				
47,22	45	42,78	41,11	39,45	37,78	109	30 / 30				
47,78	45,56	43,33	41,67	40	38,33	110	15 / 45				
48,33	46,11	43,89	42,22	40,56	38,89	111	Осторожно! ***				
48,89	46,67	44,44	42,78	41,11	39,44	112					

* Эти режимы труда и отдыха разрабатывались для следующих условий: рабочие имеют нормальную физическую подготовку; нормально отдыхают; выполняются необходимые мероприятия для предотвращения обезвоживания; возраст не более 40 лет; есть возможность пить воду; относительная влажность воздуха 30%; и движение воздуха относительно работников достаточно большое для того, чтобы это ощущалось.

** Перед тем, как использовать значение температуры в столбце «Откорректированная температура», внесите поправки.

Учёт солнечного излучения:

- Если ясный солнечный день – увеличьте температуру на 7,22°C (13°F);
- Если есть облака (отчасти пасмурно) – увеличьте температуру на 3,9°C (7°F);
- При работе в тени, ночью, и при облачности – такой, что нет видимых теней – без коррекции.

*** Крайне сильное тепловое воздействие; изучите возможные способы избежать выполнения работы в таких условиях.

Таблица 6-3. Режим работы и отдыха при воздействии на работников, одетых в изолирующую¹ одежду, нагревающего микроклимата (°C / °F): период работы / период отдыха (минут), источник: [EPA \[1993\]](#).

Температура воздуха		Лёгкая работа			Работа средней тяжести			Тяжёлая работа		
°C	°F	Ясно	Облака ²	Нет теней ³	Ясно	Облака ²	Нет теней ³	Ясно	Облака ²	Нет теней ³
23,89	75	Обычный	Обычный	Обычный	Обычный	Обычный	Обычный	35 / 25 ⁴	Обычный	Обычный
26,67	80	30 / 30			20 / 40			10 / 50		
29,44	85	15 / 45			40 / 20			10 / 50		
32,22	90	Осторожно!	15 / 45	40 / 20	Осторожно!		25 / 35	Прекращение работы	Осторожно!	15 / 45
35	95	Прекращение работы		15 / 45	Прекращение работы				Прекращение работы	

1. Предложенные режимы труда и отдыха разрабатывались для следующих условий: рабочие вполне акклиматизировались; имеют нормальную физическую подготовку; возраст не более 40 лет; нормально отдыхают; выполняются необходимые мероприятия для предотвращения обезвоживания; одеты в спецодежду Тувек, перчатки, обувь и используют СИЗОД. При использовании СИЗ от перегрева (охлаждающих жилетов и т.п.) периоды работы могут быть увеличены. При использовании дополнительных СИЗ следует внести дополнительные поправки.

2. Отчасти облачная погода.

3. Работа выполняется в тени, ночью или в такую пасмурную погоду, что тени не видны.

4. Работа 35 минут; отдых 25 минут – каждый час.

Осторожно! - Крайне сильное тепловое воздействие; изучите возможные способы избежать выполнения работы в таких условиях.

Внутреннее теплообразование может быть уменьшено - но обычно не сильнее, чем до 232,6 Вт (200 ккал/час, или 800 Btu/час). Для уменьшения можно:

- Механизировать выполняемую работу.

- Сократить длительность работы (сокращённая смена; увеличение периодов отдыха; запрещение сверхурочных работ) и планирования работы с учётом допустимого времени пребывания в нагревающем микроклимате (примеры: *U.S. Navy Physiological Heat Exposure Limit [PHEL]*, *Electric Power Research Institute [EPRI]*, *University of South Florida (USF) Safe Exposure Times [Bernard & Ashley 2009]*, *Predicted Heat Strain [ISO 7933]*).

- Увеличить число работников.

6.2.3 Улучшение устойчивости работников к воздействию нагревающего микроклимата.

Улучшение способности организма работника переносить воздействие нагревающего микроклимата может значительно улучшить его состояние при перегреве. Но способность выдерживать перегрев у разных людей различна, и об этом нельзя забывать при рассмотрении любой группы работников.

Хорошо спланированная и выполненная программа акклиматизации повысит способность рабочих трудиться в условиях нагревающего микроклимата, и снизит риск развития заболеваний (вызываемых перегревом). Обычно акклиматизация занимает от 7 до 14 дней (при ограниченном воздействии) на рабочем месте [[DOD 2003](#); [Navy Environmental Health Center 2007](#); [ACGIH 2014](#)]. Если сотрудник ранее работа в условиях нагревающего микроклимата, и был ранее акклиматизирован, то его (повторная) акклиматизация может быть такой: до 50% от времени полного теплового воздействия за всю смену в первый день; до 60% во второй; до 80% в третий; и 100% в четвёртый. А у новых работников, не акклиматизировавшихся ранее, график может быть такой: до 20% в первый день; и увеличение длительности не более чем на 10% в каждый последующий день.

Хорошая физическая подготовка не может заменить акклиматизацию; но она может улучшить способность работников (и акклиматизированных, и не акклиматизированных) переносить воздействие нагревающего микроклимата [[Pandolf et al. 1977](#); [DOD 2003](#); [Yeargin et al. 2006](#); [Navy Environmental Health Center 2007](#)]. При плохой физической подготовке на акклиматизацию может потребоваться на 50% времени больше, чем при хорошей. В [таблице 4-1](#) приводится дополнительная информация об акклиматизации.

Для предотвращения заболеваний, вызываемых воздействием нагревающего микроклимата, и для того, чтобы работник выдержал это воздействие, крайне важно обеспечить полноценное возмещение потерь воды, теряемой организмом с потом и мочой в течение смены.

(Также) для профилактики заболеваний необходимо предотвратить потери электролитов организмом. Не акклиматизированным работникам, которые придерживаются малосоленой диеты, может потребоваться увеличить подсоленность пищи в первые два дня теплового воздействия – в степени, которая будет одобрена квалифицированным врачом (для компенсации потерь с потом) [Lind 1976; DOD 2003]. Акклиматизированные работники теряют с потом меньше соли, и поэтому обычно им не нужно увеличивать её потребление.

6.2.4 Обучение и подготовка.

Все работники, подвергающиеся воздействию нагревающего микроклимата, и их руководители, должны пройти обучение. Они должны знать, какие меры профилактики следует использовать; как оказать первую помощь – до того, как начнут работать в условиях перегрева, и до того, как температура повысится (до опасного значения). Обучение следует усилить в период повышенной температуры. Предотвращение развития заболеваний, вызванных воздействием нагревающего микроклимата, зависит от своевременного выявления начальных симптомов, оказания первой помощи и выполнения корректирующих мероприятий как можно раньше.

Работодатели должны обеспечить эффективное обучение работников и их руководителей следующему:

- (1) Выявление симптомов разных заболеваний, возникающих при воздействии нагревающего микроклимата (тепловой удар, тепловые судороги, тепловое утомление и тепловая сыпь); и оказанию первой помощи пострадавшим (см. [таблицу 4-3](#)).
- (2) Причины развития тепловых заболеваний, и методы, сводящие риск их развития к минимуму (например - питьё достаточного количества воды; наблюдение за цветом мочи и её количеством, см. [приложение В](#)).
- (3) Уход и правильное использование теплозащитной одежды и СИЗ от перегрева; и информация о том, какую дополнительную нагрузку создаёт выполнение физической работы, одежда и СИЗ.
- (4) Влияние на устойчивость работника к воздействию нагревающего микроклимата не-производственных факторов (приём лекарств; алкоголя; беременность и др.).
- (5) Важность акклиматизации (см. [таблицу 4-1](#)).
- (6) Важность своевременного информирования руководителя о появлении любых симптомов заболеваний (вызываемых перегревом) у себя или у других работников.
- (7) Действия работодателя при обнаружении симптомов возможных заболеваний (при воздействии нагревающего микроклимата), и – при необходимости - по обращению в медучреждения.

Кроме подготовки по указанным вопросам, руководители дополнительно должны пройти подготовку по:

- (1) Как проводить акклиматизацию.
- (2) Что делать, если работник сообщил о симптомах, соответствующих симптомам заболеваний (при работе в нагревающем микроклимате); включая оказание неотложной помощи.
- (3) Как следить за прогнозами погоды.
- (4) Как следует реагировать на указания по действиям в период высокой температуры воздуха.
- (5) Как следить за потреблением воды работниками, и как стимулировать пить больше воды, и делать перерывы в работе.

При необходимости работать в условиях нагревающего микроклимата следует направлять людей на выполнение работы не поодиночке; и они должны следить за появлением начальных признаков возможного ухудшения здоровья (из-за перегрева) у себя и у напарника. Каждый работник и руководитель должен быть проинструктирован и обязан периодически оценивать состояние одного или более членов бригады чтобы определить – нет ли у них начальных симптомов ухудшения здоровья. при обнаружении таких симптомов, работника следует направить в медпункт или медучреждение для более тщательного обследования и, может быть, для оказания первой помощи. Наблюдение за состоянием здоровья работников, выполняющих задание в условиях нагревающего микроклимата, при превышении предельно допустимых уровней (установленных для акклиматизированных и не акклиматизированных работников – соответственно) должны проводить напарники, или бригадир.

Дополнительная информация для обучения имеется в интернет:

- Сайт Национального института охраны труда (NIOSH) <http://www.cdc.gov/niosh/topics/heatstress/>
- Сайт управления по охране труда (OSHA) <https://www.osha.gov/SLTC/heatstress/prevention.html#training>
- Сайт отделения Управления в Калифорнии (Cal/OSHA) <http://www.dir.ca.gov/DOSH/HeatIllnessInfo.html>

6.2.5 Выявление способности работника выдерживать воздействие нагревающего микроклимата.

У разных людей разная способность выдерживать перегрев – даже при сравнении здоровых людей, имеющих схожий трудовой стаж (в отношении работы в условиях нагревающего микроклимата) [[Shvartz and Benor 1972](#); [Wyndham 1974](#); [Strydom 1975](#); [Khogali 1997](#); [Moran et al. 2007](#)]. У молодых и активных людей плохая переносимость перегрева может быть вызвана врождёнными индивидуальными отличиями (например - эктодермальная дисплазия (*en*) или хронический идиопатический ангидрит (*отсутствие потовыделения*)), функциональным (например – плохая физическая подготовка, отсутствие акклиматизации, низкая эффективность работы, или пониженное отношение площади кожи к массе тела), или приобретённым (например – нарушение работы потовых желез, обезвоживание организма, инфекционные заболевания, облучение (радиация), перенесённый ранее тепловой удар, крупные ожоги, приём лекарств) [[Epstein et al. 1997](#); [Moran et al. 2007](#)]. Один из способов профилактики несчастных случаев и заболеваний, вызываемых перегревом – ограничение (или исключение) случаев (и/или снижение длительности) работы в нагревающем микроклимате для тех людей, у которых плохая устойчивость к перегреву. Основой такого отбора является возможность выявить людей с пониженной стойкостью без проведения сложных и занимающих много времени проверок.

Результаты лабораторных и производственных исследований показывают, что люди с пониженной физической работоспособностью предрасположены к большему повышению температуры тела, чем люди с большей физической работоспособностью (при выполнении работы одинаковой тяжести в одинаковом нагревающем микроклимате). Также было показано, что у людей, акклиматизированных к воздействию нагревающего микроклимата, и с максимальным потреблением кислорода ($\dot{V}O_2\max$) менее 2,5 л/мин, риск развития температуры тела, соответствующей тепловому удару (40°C - 104°F) равен 5%; а у людей с максимальным потреблением кислорода ($\dot{V}O_2\max$) выше 2,5 л/мин – он составляет лишь 0,05% [[Wyndham 1974a](#); [Strydom 1975](#)].

При проведении медобследования с целью выявить плохую переносимость нагревающего микроклимата (у работников, которые в целом считаются здоровыми) необходимо узнать, были у него ранее хоть какие-нибудь случаи «тепловых» заболеваний. Если были, то возможно, что такие работники хуже переносят нагревающий микроклимат [[Leithhead and Lind 1964](#); [Armstrong et al. 1990](#)]. В исследовании [Moran et al. \[2007\]](#) изучался способ проверки людей для выявления их способности переносить перегрев (*heat tolerance test HTT*). Оказалось, что он достаточно эффективно различает случаи постоянной и временной повышенной чувствительности к перегреву (оба вида могут возникнуть после теплового удара). По описанию, проверка проводится путём воздействия температуры 40°C при относительной влажности 40% в течение 120 минут в климатической камере, где проверяемый идёт по беговой дорожке. Проверяемый был одет в шорты, футболку, и шёл со скоростью 5 км/час (*3 мили в час*) при наклоне 2%. Проводился непрерывный мониторинг ректальной температуры и частоты сердечных сокращений. Для определения массы выделившегося пота человека взвешивали до и после испытания, и вносили поправку на количество выпитой жидкости. У людей с хорошей устойчивостью к перегреву в конце проверки ректальная температура составляла $38\pm 0,3^\circ\text{C}$; частота сердечных сокращений 120 ± 15 ударов в минуту; а потовыделение 780 ± 160 грамм в час. Считали, что у человека плохая устойчивость к перегреву, если у него ректальная температура превышала $38,5^\circ\text{C}$ ($101,3^\circ\text{F}$), или если частота сердечных сокращений превышала 145 ударов в минуту (большие значения показывали, что человек плохо переносит перегрев). Исследователи, использовавшие описанный способ проверки, предложили проводить его через 6-8 недель после случая теплового истощения (утомления) или теплового удара для того, чтобы определить степень устойчивости к перегреву для уточнения диагноза. Но нужно отметить, что на частоту сердечных сокращений влияет возраст и уровень физической подготовки – у разных людей она различна. Поэтому использовать её для оценки устойчивости к перегреву нужно с осторожностью.

6.2.6 Программа защиты работников от перегрева в периоды экстремально высокой температуры.

Если случаи развития «тепловых» заболеваний происходят, в первую очередь, в периоды аномально высокой температуры, то для их профилактики необходимо разработать соответствующую программу (*Heat Alert Program HAP*). Такие программ, разработанные для разных рабочих мест, в чём-то отличаются – но все они используют данные метеослужбы США. Если поступает информация о том, что на следующий день или через день ожидается аномально высокая температура, то в организации объявляют о введении режима «защиты от перегрева» (*Heat Alert*) для обеспечения строгого выполнения мер по профилактике несчастных случаев и профзаболеваний из-за перегрева. Режим тепловой опасности – это звучит просто и прямолинейно, но на практике для эффективного выполнения мер профилактики требуется совместная работа руководителей организации; технического (вспомогательного, ремонтно-обслуживающего) и основного производственного персонала; специалистов по медицине труда, охране труда, врачей. Ниже описана эффективная программа «защиты от перегрева» [[Dukes-Dobos 1981](#)]. Хотя описываемая программа была разработана для работников, находящихся в помещениях, многие из её положений могут использоваться и для рабочих мест, находящихся вне помещений (в строительной отрасли, сельском хозяйстве и др.).

(1) Ежегодно в начале весны собирается комитет по защите от перегрева (*Heat Alert Committee*). В него могут включаться: врачи, специалисты по медицине (гигиене) труда, специалисты по охране труда, главный инженер, и руководитель (менеджер). Комитет решает следующие задачи:

(1)(a) Организует обучение всех людей, участвующих в программе защиты от перегрева. Обучение должно включать: действия при выполнении программы защиты от перегрева, меры профилактики, выявление начальных симптомов развития «тепловых» заболеваний, оказание первой помощи пострадавшим.

(1)(b) Разработка докладных записок руководителям, и инструктирование их по выполнению:

(i) Каждый руководитель на своём участке должен провести инвентаризацию того, что влияет на вентиляцию. В тех случаях, когда это необходимо (когда температура воздуха вне зданий ниже, чем в помещении), то есть, когда требуется увеличить воздухообмен, они должны открыть окна, двери, вентиляционные отверстия, световые люки и др. для увеличения движения воздуха.

(ii) Они должны проверить фонтанчики для питья, вентиляторы, кондиционеры – чтобы всё было исправно и работоспособно. При необходимости проводится ремонт и техобслуживание, а проверки периодически повторяются. Работники инструктируются, как ими пользоваться.

(1)(c) Проводится проверка того, что в медпункте, а также на рабочих местах, все готовы к тому, что (может быть) придётся оказывать первую помощь пострадавшим.

(1)(d) Разрабатываются критерии (признаки) того, что на предприятии вводится в действие режим «защиты от перегрева». Например, таким признаком может быть информация о том, что прогноз погоды на следующий день обещает максимальную температуру в течение дня не ниже 35°C (95°F), или если ожидается максимальная температура 32°C (90°F), и если она превышает максимальную температуру в один из предыдущих 3 дней более чем на 5°C (9°F).

(2) После введения режима «защиты от перегрева» выполняются следующие мероприятия:

(2)(a) Выполнение работ, связанных с воздействием нагревающего микроклимата, и которые не являются срочными (профилактический ремонт оборудования), следует отложить до момента окончания периода экстремально высокой температуры.

(2)(b) Увеличьте число работников в бригадах так, чтобы уменьшить длительность теплового воздействия на каждого работника. При приёме новых работников, допускайте их к работе в условиях перегрева постепенно, с акклиматизацией.

(2)(c) Увеличьте длительность перерывов, и дайте возможность отдыхать в помещениях с кондиционированным (охлаждённым) воздухом.

(2)(d) Отключите то оборудование, работа которого не является крайне необходимой, и которое является источником тепловыделения.

(2)(e) Напоминайте работникам, чтобы они пили много воды (часто – но понемногу за раз) для профилактики обезвоживания; и чтобы они взвешивались до и после смены, чтобы убедиться, что количество выпитой воды достаточно для сохранения массы тела.

(2)(f) Проводите мониторинг температуры на рабочих местах и в местах отдыха.

(2)(g) Для работников, подвергающихся сильному тепловому воздействию, после такого воздействия проводится замер температуры центра тела.

(2)(h) В первый день работы после выходных будьте особо бдительны – из-за перерыва работники могли отчасти утратить акклиматизированность, и риск чрезмерного теплового воздействия выше.

(2)(i) При обнаружении первых симптомов «тепловых» заболеваний – даже если они слабо выражены – направьте работника на медобследование. А если квалифицированный врач разрешит работнику вернуться к работе, то он должен дать разрешение в письменном виде.

(2)(j) Ограничьте (или прекратите) сверхурочную работу.

(2)(k) Приостановите применение сдельной оплаты труда.

6.3 Спецодежда и средства индивидуальной защиты от перегрева.

Если работники всё же подвергаются чрезмерному тепловому воздействию, существует 4 способа их защиты: **(1)** внести изменения в порядок выполнения работы, **(2)** изменить микроклимат на рабочем месте, **(3)** улучшить акклиматизацию и подготовку работников, и **(4)** изменить одежду или средства защиты. Улучшение акклиматизации и подготовки работника требует, чтобы он стал полностью акклиматизированным (к имеющемуся уровню теплового воздействия), умел использовать защитную одежду, был в хорошей физической форме, и проинструктирован пить воду столько, сколько требуется (например, стакан воды [8 оз. - 8 жидких унций, ~236 мл] или другой жидкости каждые 15-20 минут, или в соответствии с [таблицей 8-1](#)) для компенсации потери воды организмом из-за потовыделения.

Влияние одежды на теплообмен было подробно рассмотрено в [разделе 3.3](#). Носка защитной газонепроницаемой спецодежды (для защиты от токсичных веществ) препятствует теплообмену между организмом и окружающей средой за счёт теплопередачи, конвекции, излучения и испарения. Кроме того, её носка (и работа в ней) требуют дополнительных усилий, и это приводит к дополнительному внутреннему теплообразованию. К сожалению, если потребовалось использование изолирующей одежды, то это означает, что имеется сильная опасность для здоровья или жизни (так, что её применения сложно избежать). Так как носка спецодежды создаёт дополнительный риск перегрева, необходимо защитить работника от этой опасности. Ниже рассмотрены разные способы индивидуальной защиты от перегрева при носке изолирующих костюмов.

Можно попробовать модернизировать вентиляционное оборудование так, чтобы защитить людей в помещении от повышения температуры и влажности. Но такой модернизации может оказаться недостаточно для полного решения проблемы перегрева. При температуре воздуха выше 35°C (95°F) и относительной влажности от 75 до 85%; или при наличии мощного теплового излучения, может потребоваться использование защитной спецодежды и средств индивидуальной защиты от перегрева. Даже если работник переходит с места на место, и его можно обеспечить СИЗ от перегрева (на какой-то период времени). Подходящее СИЗ уменьшит поступление тепла в организм, позволит пить меньше воды, повысит работоспособность. Если работник выполняет сидячую работу, то скорее всего, потребуется отвод тепла за счёт системы охлаждения не более 100 Вт (86 ккал/час или 344 Btu/час). А при большой активности, требуемое охлаждение вряд ли превысит 400 Вт (345 ккал/час или 1380 Btu/час), если тяжесть выполняемой работы не настолько велика, что ограничивает длительность работы из-за усталости. Если тепловое воздействие превышает предельно допустимые уровни, разработанные для акклиматизированных и не акклиматизированных работников ([фиг. 8-1](#) и [8-2](#) соответственно), следует использовать защитную спецодежду и СИЗ (от перегрева).

Существуют разные СИЗ от перегрева – от самых простых (установка ёмкостей с замораживаемой водой в одежду) до более сложных (костюм с трубками для прокачивания охлаждённой жидкости). Затраты на их закупку и обслуживание также различны. Были изучены 4 вида СИЗ: **(1)** костюмы с водяным охлаждением, **(2)** костюмы с воздушным охлаждением, **(3)** жилеты с поглотителем тепла, и **(4)** СИЗ от перегрева, использующие испарительное охлаждение. В случае чрезмерного теплового воздействия для защиты работников от перегрева может использоваться подходящий способ [[Goldman 1973, 1981](#)].

6.3.1 Костюм с водяным охлаждением.

Проектируются и изготавливаются разные виды костюмов с водяным охлаждением; их конструкция улучшается как в техническом, так и в физиологическом отношении. Для отвода тепла от тела, эти СИЗ используют теплообмен между кожей и трубками с охлаждённой водой (за счёт теплопередачи). Сеть трубок размещается с внутренней стороны костюма, и покрывает какую-то часть или всё тело. Использование таких СИЗ требует наличия внешнего источника энергии и холода для работы (аккумулятора, насоса, теплообменника, ёмкости для жидкости, панели управления). Масса и размеры устройства могут помешать перемещениям работника, и создают дополнительную нагрузку. Эти обстоятельства, а также характер выполняемой работы и окружающая среда, определяют продолжительность эффективного использования таких СИЗ. Кроме того, при температуре воды, близкой к или меньшей температуры точки росы, может начаться конденсация воды около трубок, что может увеличить теплоотвод от кожи при носке паронепроницаемой одежды [[Nag et al. 1998](#)].

Изучали степень охлаждения каждого из проверявшихся костюмов при разных температурах воды, подаваемой в трубки. При снижении температуры подаваемой воды степень охлаждения возрастает: при носке жилетки и охлаждаемой шапкой – на 3,1 Вт/°C; а при носке костюма с не полным охлаждением 17,6 Вт/°C, а при носке костюма с полным охлаждением 25,8 Вт/°C. При комфортабельной температуре 20°C (68°F) обеспечивает отвод тепла 46 Вт при носке шапки, 66 Вт при носке жилеток, и 112 Вт при носке шапки и жилетки вместе, 264 Вт при носке костюма с неполным охлаждением, и 387 Вт при носке костюма с полным охлаждением [[Kim et al. 2011](#)].

Примечание к переводу: По данным⁵, при сварке изделий, требующей предварительного подогрева деталей до высоких температур (300°C, температура воздуха 80°C), хорошо показала себя теплозащитная подстѐжка в виде куртки с капюшоном с сетью трубок. При подаче в них воды при температуре 20°C время работы увеличилось на 75%, время отдыха сократилось с 20 до 12 минут, а рабочие не ощущали холод от трубок (*при 17°C - ощущали*).

6.3.2 Костюм с воздушным охлаждением.

В этих СИЗ в костюм подаётся охлаждённый воздух, и он распределяется по телу. Суммарный теплоотвод от увлажнённой потом кожи при подаче охлаждённого (и осушенного при сжатии компрессором) воздуха зависит от расхода воздуха и его температуры. С ростом расхода воздуха, и со снижением его температуры - теплоотвод возрастает. При температуре воздуха на входе в костюм 10°C (50°F) и при относительной влажности 20%, при расходе 280 литров в минуту (10 кубических футов в минуту), от тела может удаляться 233 Вт (при температуре окружающего воздуха 29,4°C 84,9°F и относительной влажности 85%); и 180 Вт (при температуре окружающего воздуха 51,7°C 125,1°F и относительной влажности 25%). А при повышении температуры воздуха на входе в костюм до 21°C (69,8°F) и его относительной влажности 10%, отвод тепла снизится до 211 и 148 Вт соответственно.

Во многих случаях для охлаждения воздуха применяют устройства – вихревые трубы Вортекс (*vortex*, используется [эффект Ранка-Хилша](#), см. фото. ниже). Такой воздухоохладитель требует для работы подачи сжатого воздуха по шлангу. А шланг ограничивает способность перемещаться на рабочем месте. Недостатком является шум (и низкий КПД - нужен большой расход воздуха). Но это простой источник охлаждённого воздуха.



Примечание к переводу:

В США куртки и штаны с подачей охлаждённого и осушенного сжатого воздуха для работающих в «горячих» условиях нашли применение, как минимум, с 1960-х. В СССР был разработан и внедрён пневмокостюм для работ по ремонту стекловаренных печей (и при производстве фосфора), показавший отсутствие существенных изменений в состоянии организма работника при температуре до 200°C и одновременном тепловом излучении до 7 кВт/(м2×мин)⁶. Воздух брали из заводской сети сжатого воздуха. Для случаев менее высокой температуры было разработано пневмоприспособление для вентилирования пододѐжного пространства (состояло из перфорированных резиновых трубок, вес 250-300 г., воздух подавался по шлангу 20 мм от компрессора или воздуходувки). Испытания показали, что через 30 минут влажность воздуха под одеждой на 13% ниже, и температура кожи ниже на 2,5°C⁷.



6.3.3 Жилеты с поглотителем тепла.

Сейчас в продаже есть охлаждающие жилеты, в которых размещается до 72 пакетов со льдом или веществом, изменяющим фазовое состояние при заморозке; отдельные пакеты могут быть разной массы и размера. Обычно охлаждающие пакеты присоединяют к жилету с помощью ленты, вставляют в карманы в жилете, или вшивают в него (тогда для их охлаждения перед использованием требуется помещать в холодильник весь жилет).



Слева - жилеты со льдом; справа - шахтёр глубокой канадской шахты достаёт жилет из холодильника, предназначенного для их заморозки.



При наличии карманов можно менять охлаждающие вкладыши не снимая жилет

Слева - костюм, обеспечивающий отражение теплового излучения

Охлаждение, обеспечиваемое отдельным пакетом, изменяется с течением времени, и зависит от давления на поверхность тела, и «нагревающего» влияния со стороны одежды и окружающей среды. Таким образом, условия применения влияют и на степень охлаждения, и на длительность охлаждения. При значениях температуры и влажности $29,4^{\circ}\text{C}$ ($84,9^{\circ}\text{F}$) и 85%; и $35,0^{\circ}\text{C}$ (95°F) и 62%, охлаждающий жилет может обеспечить (некоторое) охлаждение организма до 4 часов (обычно длительность эффективного охлаждения - 2-3 часа). А при температуре $51,7^{\circ}\text{C}$ ($125,1^{\circ}\text{F}$) и влажности 25%, через примерно 3 часа никакого эффекта не наблюдается. При установке в жилет 60% пакетов, охлаждающий эффект может пропасть уже через 2 часа. Так как охлаждающие жилеты не обеспечивают непрерывное и регулируемое охлаждение в течение неопределённого времени, при работе в условиях нагревающего микроклимата требуется менять жилеты каждые 2-4 часа. А для замены может потребоваться покинуть рабочее место. Но при использовании этого СИЗ нет шума; не требуется источник энергии; и нет шланга, ограничивающего перемещение. Такие СИЗ лучше всего использовать тогда, когда длительность теплового воздействия ограничена (кратковременная работа, ремонт при аварии). По сравнению с другими, такие СИЗ относительно недороги.



Жилеты с пакетами, заполненными специальным веществом, меняющим фазовое состояние при нагреве

6.3.4. СИЗ с испарительным охлаждением.

Увлажненная накидка - это увлажнённая хлопчатобумажная куртка или подобие халата из хлопчатобумажной ткани, которая может опускаться до обуви, и имеет рукава, доходящие до запястий. При носке изолирующего костюма, она является эффективным вспомогательным средством отвода тепла.

Для разных условий работы (температуры, влажности, скорости воздуха) можно предсказать степень охлаждения и требуемое (для поддержания влажности) количество воды. При низкой влажности и высокой температуре, когда вода хорошо испаряется, такой способ защиты от перегрева эффективен, прост и не дорог.



Примечание к переводу: Отмечали, что при сочетании высокой температуры и низкой влажности, сильное выделение пота приводит к намоканию одежды, а его испарение в внешней поверхности одежды охлаждает пододежное пространство: «Интенсивное испарение влаги с наружной поверхности рубашки, в условиях крайне низкой влажности воздуха в цехе, резко снижает температуру воздуха пододежного пространства и внутренней стороны рубашки до 25-28°C, а также предотвращает влияние внешней высокой температуры на организм.»⁸. При температуре воздуха в рабочей зоне 28,3-39,8°C - температура рубашки в области спины была 20,1-28,4°C. При низкой влажности, испарение воды с увлажнённого СИЗ может охлаждать организм, не перенапрягая его для выделения пота. Однако публикации о разработке таких СИЗ в РФ не встречаются (кроме накидки, надевавшейся на защитный костюм для атомной промышленности: работник периодически подходил к месту, где был водопровод, и его поливали). На выставке «Безопасность и охрана труда» за последние >15 лет единственный СИЗ от перегрева, который видел - костюм с металлизированным покрытием для защиты от теплового излучения (для ~металлургов). И всё. Непохоже, что местных производителей эта тема беспокоит. Западным фирмам часто не нравятся не вполне нормальные условия на российском рынке - и после первых попыток продавать свою высокотехнологичную продукцию их интерес к РФ угасает. В Техническом Регламенте «О безопасности СИЗ» подобные изделия, можно сказать, лишь упомянуты (пункт 4.6) ...

В то же время, испытания комбинезона и жилета из нетканого материала (удерживали 1,7 / 1,2 л воды) толщиной 1,8 мм показало, что при температуре 35°C и относительной влажности 25% они оказывают положительное влияние на показатели состояния организма, увеличивают времени работы⁹.



6.3.5 Применение на практике и ограничения.

При практическом применении на производстве, у всех описанных СИЗ от перегрева есть ограничения. Например, при использовании недорогой одежды с замороженными пакетами, содержащими материал, изменяющий фазовое состояние - температуру нельзя регулировать, и они часто не могут охлаждать работника так долго, как это требуется. Это относится и к жилетам с пакетами со льдом. Если охлаждающие элементы слишком холодные, то при контакте с кожей произойдёт сужение кровеносных сосудов, что уменьшит теплоотдачу от тела в окружающую среду. При использовании систем с водяным охлаждением работник должен быть подключен к источнику охлаждённой воды. Это мешает ему работать. Многие из систем слишком тяжёлые или громоздкие, что мешает их применению.

Но их можно использовать в перерывы, во время отдыха. Например, пожарники часто делают перерывы из-за ограниченного запаса воздуха в баллонах дыхательных аппаратов. Во время перерывов может использоваться активное или пассивное охлаждение (в дополнение к питью воды), например - за счёт снятия спецодежды и погружения рук в холодную воду. Это снижает температуру центра тела, и ускоряет восстановление организма во время отдыха.

Температура центра тела человека (T_{core}) изменяется относительно медленно, и простое прекращение выполнения тяжёлой физической работы не приведёт к её немедленному снижению. Поэтому увеличение теплоотвода от тела снижает риск развития «тепловых» заболеваний. Использование СИЗ от перегрева, подобных описанным выше, ускоряет снижение температуры центра тела, снижает риск развития «тепловых» заболеваний, и делает возобновление работы более безопасным.

Другие СИЗ от перегрева.

Для ремонта паропроводов атомных АЭС в СССР разработали автономный теплозащитный костюм. Для охлаждения (при температуре окружающей среды до 250°C, излучение 2 кВт/м²) использовали сжиженный воздух, время непрерывной работы (между дозаправками) - 30 минут¹⁰. Масса другого теплозащитного костюма схожей конструкции (АТЗК-2) превысила 20 кг¹¹.

Для защиты от теплового излучения широкое применение нашли костюмы с металлизированным покрытием (см. фото справа). Но у подобного (пассивного) экранирования есть недостаток - с течением времени светоотражающая поверхность нагревается, и после этого она сама становится источником тепла.

Разрабатываются и с 1960-х продаются (не у нас) автономные СИЗ от перегрева разной конструкции. Они могут включать в себя источник холода (отдельный блок) и сеть трубок, по которым прокачивается охлажденная вода, или подаётся охлаждённый воздух.



СИЗ с электрическим охлаждением воды, подаваемой в одежду

6.3.6 Снижение работоспособности.

Выше были описаны разные СИЗ от перегрева, которые могут снизить или полностью устранить опасность для здоровья при воздействии нагревающего микроклимата в помещениях и вне их. Но носка защитной спецодежды приводит к ухудшению работоспособности. Даже при не нагревающем микроклимате, носка изолирующих костюмов ухудшает работоспособность [[Joy and Goldman 1968](#)]. Это снижение вызывается, в основном, уменьшением поступления информации об окружающей среде, и в затруднении общения между работниками. Так, устранение теплового воздействия позволяет продолжать работать - но не устраняет ограничения, налагаемые изолирующими костюмами [[Joy and Goldman 1968](#); [Nag et al. 1998](#)].

Примечание к переводу: Эти выводы (в отношении работоспособности) согласуются с результатами, полученными в СССР¹².

Глава 7. Медицинские обследования.

Работодатель обязан разработать и выполнять программу медицинских обследований тех работников, которые подвергаются воздействию нагревающего микроклимата. Программа должна включать: [первичную профилактику и вторичную профилактику](#) так, чтобы своевременно выявить симптомы, и вовремя принять меры для предотвращения развития (возможного) «теплого» заболевания. Раннее выявление симптомов с помощью медобследований, лечение, изменение условий труда позволяют уменьшить риск для здоровья при работе в условиях перегрева. А результаты медобследований могут использоваться для того, чтобы определить, какие рабочие места, виды работ и технологических процессов требуют повышенного внимания и улучшения условий труда.

7.1 Каких работников охватывает медобследование.

В число работников, которые выполняют задания в нагревающем микроклимате, и которые должны находиться под медицинским наблюдением, включают:

- Тех работников, которые подвергаются воздействию, превышающему предельно допустимое для акклиматизированных людей.
- Работников, у которых есть персональные причины, увеличивающие риск - состояние здоровья и/или ранее перенесённые заболевания (вызванные перегревом), так, что это повышает риск ухудшения здоровья.

7.2 Управление программой.

Работодатель обязан обеспечить надзор за программой медицинского обследования со стороны ответственного медработника. Такой медработник должен быть квалифицированным врачом, или другим квалифицированным медицинским работником (в соответствии с требованиями федерального и местного законодательства), который имеет подготовку и знания в областях:

- Воздействие нагревающего микроклимата на работников.
- Разработка и выполнение программ медицинских обследований людей, подвергающихся воздействию вредных и опасных производственных факторов.
- Выявление и (оказание помощи пострадавшим от) воздействия нагревающего микроклимата.
- Если необходимо использование СИЗОД - разработка программ респираторной защиты на основе соответствующего стандарта Управления по охране труда OSHA и тех видов СИЗОД, которые используются на данном предприятии.

7.3 Составные части программы медобследования.

В программу медобследования работников, подвергающихся воздействию нагревающего микроклимата в степени, создающей опасность для здоровья, следует включить: обучение работников; проведение предварительного медосмотра, периодические медосмотры, отчёты о случаях развития заболеваний (и несчастных случаях) вызванных перегревом. Предварительные и последующие периодические медосмотры работников, подвергающихся воздействию нагревающего микроклимата, проводят для: **(1)** определения того, может ли данный сотрудник выполнять работу в условиях перегрева так, что это не создаст повышенной опасности для его жизни и здоровья, и для жизни и здоровья его коллег, **(2)** для выяснения того, не было ли ранее у работника случаев ухудшения здоровья из-за воздействия нагревающего микроклимата, **(3)** для того, чтобы - при необходимости - поменять работу. По результатам такого обследования может быть принято решение о проведении углублённого медосмотра.

7.3.1 Медосмотр.

7.3.1.1 Предварительный медосмотр.

Все работники, которые были взяты на работу, или которые переводятся с рабочих мест (где нет нагревающего микроклимата), должны пройти предварительный медосмотр (до начала работы в условиях перегрева). При отсутствии свидетельств обратного следует предполагать, что все эти работники - не акклиматизированы. Кроме того, выполнение тяжёлой физической работы в условиях нагревающего микроклимата может привести к дополнительной нагрузке на сердечно-сосудистую систему, и (в этом случае) медобследование должно быть более тщательным [[Ramphal-Naley 2012](#)].

(1) Ответственный медицинский работник должен получить информацию о:

(1)(а) Информацию о перенесённых ранее заболеваниях и лечении, относящаяся к сердечно-сосудистой системе, органам дыхания, нервной системе, почкам, пищеварительной системе, репродуктивной системе; и информацию о состоянии кожи, эндокринной системы, опорно-двигательной системы и об обмене веществ - всё, что может

повлиять на способность работника акклиматизироваться к воздействию нагревающего микроклимата, способности отводить тепло из организма.

(1)(b) Полная информация о предшествовавших местах работы и выполнявшихся видах работ, включая длительность работы по каждой из специальностей, воздействие вредных физических и химических факторов, тяжесть выполнявшейся физической работы, способность использовать СИЗ, степень и длительность воздействия нагревающего микроклимата, случаи не производственного воздействия нагревающего микроклимата и деятельности, требующей больших физических усилий. такое обследование должно выявить случаи ухудшения здоровья из-за воздействия нагревающего микроклимата, и способность работника успешно адаптироваться к нагревающему микроклимату на прежних местах работы, или при не производственной деятельности.

(1)(c) Полный перечень всех лекарств, принимаемых по рецепту, и безрецептурных. Врач должен определить, могут ли принимаемые лекарства повлиять на сердечно-сосудистую систему, электролиты, работу почек, способность выделять пот, влияние на работу перефериической нервной системы. К ним относятся диуретики, антигипертензивные препараты (например, атенолол, бетаксолол), седативные средства (например, барбитураты), спазмолитики, психотропные средства, антихолинергические средства и лекарственные средства, которые могут влиять на жажду (галоперидол) или механизм потоотделения (например, фенотиазины, антигистамины, антихолинергические средства). Дополнительная информация о том, как разные лекарства действуют на организм, влияя на его способность переносить перегрев, приводится в таблице 4-2.

(1)(d) Информация о привычках, которые могут повлиять на способность переносить перегрев: употребление алкоголя, кофе и др.

(2) Медицинский осмотр работника должен включать:

(2)(a) Проведение медобследования. Если врач сочтёт нужным, то те из работников (которые будут работать в условиях перегрева), у которых может быть пониженная устойчивость (старше 50 лет; моложе 50 лет, но с не вполне здоровой сердечно-сосудистой системой) к перегреву, могут быть направлены для снятия электрокардиограммы с её последующей оценкой кардиологом.

(2)(b) Анализ мочи, а также любые другие анализы, которые сочтёт необходимым сделать врач.

(2)(c) Измерение давления крови.

(2)(d) Оценка способности работника распознавать опасности для жизни и здоровья (при выполнении работы); понимать, какие меры безопасности необходимы; общаться с коллегами; его мобильность и способность ориентироваться так, чтобы адекватно реагировать на (возможную) ЧС,

(2)(e) Если работник должен использовать респиратор или другие СИЗ, то это должно происходить в рамках полноценной программы респираторной защиты. Врач должен определить, способен ли работник выдержать воздействие перегрева при выполнении своих обязанностей, и учесть при этом дополнительную нагрузку, создаваемую ноской и применением СИЗ.

(3) На усмотрение врача, и с учётом информации, полученной при медосмотре, может быть назначено углублённое медобследование. Может быть полезен обмен информацией между врачом (проводящим медобследование) и лечащим врачом работника.

Ниже приводятся примеры того, что может быть выявлено при проведении предварительного медосмотра, и что может показать необходимость дополнительного медосмотра:

(3)(a) Перенесённые или имеющиеся заболевания: ишемическая болезнь сердца; заболевания клапанов сердца; аритмии; кардиомиопатия; хроническая сердечная недостаточность; врождённые пороки сердца; приём некоторых антигипертензивных лекарств, которые могут :

(3)(b) снизить максимальный объём крови, прокачиваемый сердцем за минуту; обострить обструктивные или рестриктивные заболевания органов дыхания; сахарный диабет; (не сахарный) диабет; заболевания почек; или рабдомиолиз.

(3)(c) Приём лекарств, предписанных (лечащим) врачом, которые могут помешать акклиматизации и способности выдержать работу в условиях перегрева (см. таблицу 4-2). Может потребоваться изменить режим приёма и перечень принимаемых лекарств так, чтобы их приём меньше мешал работнику выполнять работу в условиях нагревающего микроклимата.

(3)(d) Приём антигипертензивных препаратов, которые могут влиять на способность работника выдерживать перегрев. Если работник придерживается диеты так, что потребляет мало соли, или если он принимает мочегонные лекарства (способные влиять на концентрацию электролитов в крови), то может иметь смысл следить за концентрацией электролитов в крови (у этого работника) – особенно на начальном этапе акклиматизации. Приём β-адреноблокаторов (например, атенолола) для лечения гипертонической болезни может снизить работоспособность.

(3)(e) Перенесённые заболевания кожи; случаи повреждения больших участков кожи; или повреждение их механизма теплоотвода за счёт испарения пота. В таких случаях может потребоваться специальное обследование. У некоторых людей нарушена функция выделения пота (ангидроз), и они плохо переносят воздействие нагревающего микроклимата.

(3)(f) Избыточная масса тела может помешать работать в условиях перегрева (см. [Главу 4](#)). Работники с избыточной массой тела могут требовать специального наблюдения во время акклиматизации. Чтобы определить, имеется ли избыточная масса, используют [Индекс массы тела \(body mass index BMI\)](#). Если он больше или равен 30 - у человека избыточная масса тела. Для вычисления индекса используют формулу:

$$BMI = (\text{масса тела, кг}) / (\text{рост, см})^2 \quad \{ \text{BMI} = \text{weight (in pounds)} \times 703 / [\text{height (in inches)}]^2 \}$$

Дополнительная информация о BMI есть в интернет: http://www.cdc.gov/healthyweight/assessing/bmi/adult_bmi/index.html

7.3.1.2 Периодические медосмотры.

Все работники, охватываемые программой медицинских обследований, должны ежегодно регулярно проходить периодические медосмотры; а также (индивидуально) дополнительные медосмотры тогда, когда это сочтёт необходимым врач. для определения того, следует ли их проводить, должна использоваться информация, полученная при предварительном медосмотре, с учётом предыдущих мест работы, имеющихся симптомах (или их изменении), и при изменении степени воздействия нагревающего микроклимата на рабочем месте. Любой рабочий, у которого обнаружили симптомы заболевания, вызванного перегревом, должен немедленно пройти медобследование; а в дальнейшем он может проходить периодические медосмотры чаще.

Периодические медосмотры должны включать в себя:

- (1) Обновление информации о состоянии здоровья и условиях работы; и медобследование, при котором особое внимание уделяется сердечно-сосудистой системе, органам дыхания, нервной и опорно-двигательной системам, а также коже. Проводится ежегодно.
- (2) Выполнение других медицинских проверок – тех, которые сочтёт необходимыми врач.

7.3.1.3 Письменное заключение о результатах медосмотра.

После каждого медосмотра врач должен дать работнику своё заключение (в письменном виде). Оно должно включать в себя:

- Результаты всех анализов и других проверок состояния здоровья работника.
- Медицинская оценка того, способен ли работник выполнять задания в условиях нагревающего микроклимата, и сведения о любых заболеваниях и др., способных повлиять на его устойчивость к воздействию перегрева. Эта информация должна быть изложена просто и понятно.
- Рекомендации по ограничению воздействия нагревающего микроклимата на работника.
- Рекомендации по проведению дополнительных анализов и исследований; и по лечению выявленных заболеваний.

После проведения каждого медосмотра, врач должен дать работодателю своё заключение в письменном виде, включающее:

- Те результаты медобследования, которые (могут) касаться выполняемой работы.
- Оценка того, имеются ли у работника индивидуальные особенности, повышающие опасность воздействия перегрева для здоровья.
- Оценка того, может ли работник выдержать воздействие нагревающего микроклимата на рабочем месте (см. разделы [6.2.3](#) и [6.2.5](#)).
- Оценка того, способен ли работник выполнять свою работу (физическая подготовка и т.п.).
- Рекомендации по снижению риска развития заболеваний (вызываемых перегревом), включая охлаждение, адаптацию, или ограничение воздействия (работа с перерывами, снижение нагрузки), медицинские рекомендации в части наблюдения за состоянием здоровья, перевод на другую работу (при необходимости).
- Заявление о том, что работник проинформирован о результатах медобследования, и обо всех выявленных заболеваниях, требующих проведения углублённого медобследования или лечения. Работник проинформирован о том, что он может работать в условиях нагревающего микроклимата до тех пор, пока не обнаружится результат негативного влияния перегрева на здоровье.

В заключение врача, направляемое работодателю, не следует включать конкретные результаты обследования, анализов и диагнозы выявленных заболеваний, не имеющие отношения к способности работника выполнять задание в условиях нагревающего микроклимата. Должны быть приняты меры по защите информации о здоровье работника в соответствии с действующим законодательством.

7.4 Медицинские осмотры – периодическая оценка собранной информации.

Работодатель обязан информировать Управление по охране труда (OSHA) о несчастных случаях и заболеваниях, вызванных перегревом, в соответствии с формами (*OSHA Form 300-A* и *OSHA Form 301 Incident Report*) – если это требуют стандарты Управления. Если работник занимался добычей полезных ископаемых, где охраной труда занимается не Управление, а MSHA, то соответственно (*MSHA Form 7000-1*). Врач должен

проанализировать данные о заболеваниях и несчастных случаях, чтобы выявить складывающиеся тенденции (вид заболеваний, вид работы, профессия пострадавших) для разработки плана улучшения условий труда.

Чтобы обеспечить адекватную защиту работников, подвергающихся воздействию нагревающего микроклимата, результаты программы медицинского наблюдения за этими работниками должны периодически систематично анализироваться. Такие оценки могут помочь выявить неоднократные случаи ухудшения здоровья у работников одной специальности, прогулы и др., что может быть вызвано нагревающим микроклиматом. Эта информация может использоваться как основа для планирования работ по улучшению условий труда. Вместе со специалистом по охране труда (и гигиене/медицине труда), врач должен выявить те профессии, которые связаны с повышенным риском развития «тепловых» заболеваний.

7.5 Действия работодателя.

Получив заключение врача, работодатель обязан ограничить воздействие нагревающего микроклимата (и/или других вредных производственных факторов) на работника (если это требует состояние его здоровья, в соответствии с заключением); и что в случаях, когда воздействие превышает предельно допустимое для акклиматизированных работников, приняты дополнительные меры защиты. Для успешного выполнения программы (наблюдения за здоровьем) важно участие в ней работника – он должен проходить медобследования и сразу сообщать о любых симптомах, которые могут показывать начало развития заболевания. Те медицинские обследования, которые проводятся в рамках программы медицинского наблюдения за здоровьем работников (подвергающихся перегреву), должны проводиться бесплатно для работника. Если обследование покажет, что требуется перевод сотрудника на работу, не связанную с воздействием нагревающего микроклимата, этот перевод не должен приводить к снижению зарплаты, льгот, трудового стажа.

7.6 Влияние перегрева на репродуктивную систему.

7.6.1 Беременность.

Информации о том, как выполнение интенсивной физической работы и/или дополнительное воздействие нагревающего микроклимата (не превышающее предельно допустимого уровня, например при ректальной температуре не выше $38^{\circ}\text{C} - 100,4^{\circ}\text{F}$, см. [Главу 5](#)) влияет на риск для беременных женщин и женщин репродуктивного возраста, в медицинской литературе немного. Но поскольку данных о влиянии этих факторов на людей мало, а результаты экспериментов на животных показали, что перегрев может повлечь бесплодие и повлиять на развитие плода, врачу следует предупредить женщин (беременных, и тех, кто может захотеть завести ребёнка) что при работе в нагревающем микроклимате нельзя гарантировать полную безопасность в течение всего периода беременности. Следует посоветовать работнице обсудить это с её врачом, и при необходимости обсудить вопрос с начальником для поиска компромиссного решения – если это необходимо.

7.6.2 Фертильность (способность производить жизнеспособное потомство).

Исследования показали, что воздействие нагревающего микроклимата связано с временным бесплодием и у женщин, и у мужчин (у мужчин сильнее) [[Rachootin and Olsen 1983](#); [Levine 1984](#)]. В исследовании [[Thonneau et al. 1997](#)] изучали, сколько времени требуется для того, чтобы достигнуть беременности – и при воздействии нагревающего микроклимата на мужчин (сварщиков и пекарей) оно стало значительно больше. При повышении температуры паха выше нормальной может снизиться плотность спермы, подвижность, и доля сперматозоидов нормальной формы [[Procope 1965](#); [Henderson et al. 1986](#); [Mieusset et al. 1987](#); [Jung and Schuppe 2007](#)]. Та информация, которая есть сейчас, не позволяет определить, обеспечивают ли предложенные НИИ охраны труда (NIOSH) значения предельно допустимого воздействия перегрева достаточно надёжную защиту здоровья работников в этом отношении. Поэтому врач при проведении медобследований работников, подвергающихся перегреву, должен узнать о том, каково их репродуктивное здоровье (в прошлом).

7.6.3 Тератогенность (нарушение нормального развития плода).

Влияние нагревающего микроклимата на нарушение развития плода зависит от степени повышения температуры, длительности теплового воздействия, и стадии развития плода в период воздействия [[Edwards 2006](#)]. Совокупность экспериментальных результатов, рассмотренная в исследовании ([Lary \[1984\]](#)) изучали 9 видов теплокровных животных), показывает, что воздействие перегрева может увеличить частоту гибели эмбрионов, и может привести к серьёзным нарушениям, особенно в области головы и центральной нервной системы. Эксперименты на животных показали, что увеличение температуры тела до $39,5 - 43^{\circ}\text{C} (103,1-109,4^{\circ}\text{F})$ в течение первой или двух первых недель беременности (в зависимости от вида животных) приводит к структурным и функциональным нарушениям развития эмбриона, особенно центральной нервной системы (хотя обнаружались и другие нарушения развития). Причинами нарушений могут быть влияние перегрева на основной процесс развития, и возможно, гибель отдельных клеток и прекращение их деления в важный период развития

эмбриона. В рассмотренных исследованиях, воздействие нагревающего микроклимата не оказывало негативного влияния на женщин, но негативно влияло на развитие эмбрионов. Длительность воздействия нагревающего микроклимата изменялась от 10 минут в день в течение 2-3 недель до 24 часов в сутки в течение 1-2 суток.

При изучении заболеваемости (ретроспективные эпидемиологические исследования) у людей оказалось, что в случаях воздействия нагревающего микроклимата в течение от одного дня до нескольких (менее недели) во время первых 3 месяцев беременности, обнаружилась взаимосвязь такого воздействия с врождёнными нарушениями, чаще всего – центральной нервной системы (например – [аэнцефалия](#), отсутствие больших полушарий головного мозга) [[Lary 1984](#)]. Кроме того, воздействие нагревающего микроклимата во время беременности может привести к смерти плода, спонтанному аборт, задержке роста и другим нарушениям [[Edwards 2006](#)]. Но часть информации о влиянии повышенной температуры на беременных женщин была получена в ситуациях, когда они были простужены, и это затрудняет различение причин (перегрев или изменение в обмене веществ во время заболевания) [[Clarren et al. 1979](#); [Pleet et al. 1981](#); [Edwards 2006](#)].

Если работница беременна (первые 3 месяца), и подвергается воздействию нагревающего микроклимата, превышающему предельно допустимое для акклиматизированных (или не акклиматизированных) людей (соответственно), то необходимо ~ каждый час проверять температуру центра тела чтобы гарантировать, что она не превысит $39-39,5^{\circ}\text{C}$ ($102-103^{\circ}\text{F}$). Вне зависимости от пола, следует избегать ситуаций, когда температура центра тела достигает или превышает 39°C (102°F).

Глава 8. Обоснование рекомендуемых требований по защите от перегрева.

При разработке настоящих рекомендаций, которые следует использовать при принятии требований, юридически обязательных для выполнения работодателями, использовали: (а) доступную информацию, опубликованную в научной литературе, (б) новые технологии, позволяющие определить степень воздействия нагревающего микроклимата, (в) предложенные способы предсказания риска ухудшения здоровья (при воздействии нагревающего микроклимата), потенциально опасных действий, и ухудшения работоспособности, (д) принятые методы защиты работников от перегрева, и (е) американские и иностранные стандарты и рекомендации, относящиеся к ограничению воздействия нагревающего микроклимата. В этой главе обсуждаются обоснования тех ограничений и рекомендаций, которые выработаны NIOSH для защиты людей при работе в условиях перегрева.

8.1 Предельно допустимые уровни воздействия нагревающего микроклимата для акклиматизированных и не акклиматизированных работников.

Значения ПДУ были разработаны NIOSH для защиты большинства здоровых работников (то есть тех, кто по уровню физической подготовки и состоянию здоровья подходит для выполнения той работы, и в тех условиях, которые ожидаются – при носке обычной однослойной одежды) при воздействии нагревающего микроклимата и при внутреннем теплообразовании – так, что у них не произойдет ухудшения здоровья. Полное тепловое воздействие на не акклиматизированных работников не должно превышать значений ПДУ, установленных для них (ПДУ_{на}, [фиг. 8-1](#)). А полное тепловое воздействие на акклиматизированных работников не должно превышать ПДУ_а ([фиг. 8-2](#)).

Ниже приводятся формулы для вычисления значений ПДУ для акклиматизированных (ПДУ_а) и не акклиматизированных (ПДУ_{на}) работников (М – внутреннее теплообразование, Ватт):

$$\text{ПДУ}_{\text{на}} (\text{измеряемая в } ^\circ\text{C как комплексный показатель WBGT}) = 59,9 - 14,1 \times \log_{10}(\text{М, Вт})$$

$$\text{ПДУ}_{\text{а}} (\text{измеряемая в } ^\circ\text{C как комплексный показатель WBGT}) = 56,7 - 11,5 \times \log_{10}(\text{М, Вт})$$

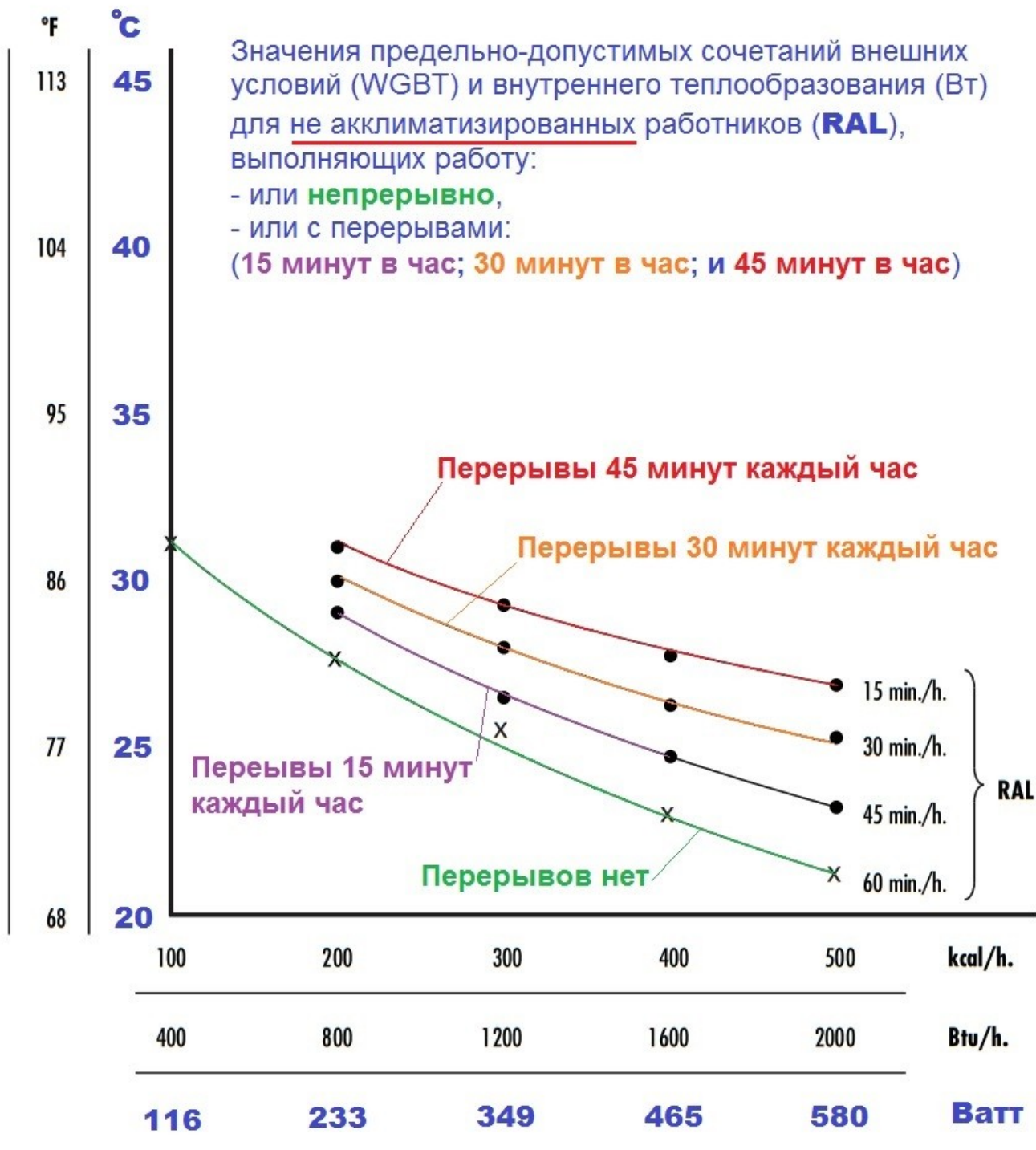
Внутреннее теплообразование, Вт	ПДУ для рабочих при работе без перерывов (измеряемый как комплексный показатель температуры WBGT, °C (F))	
	не акклиматизированных ПДУ _{на}	акклиматизированных ПДУ _а
100	31,7 (89)	33,7 (92,7)
150 (лёгкая работа)	29,2 (84,5)	31,7 (89,1)
200	27,5 (81,5)	30,2 (86,4)
250 (работа средней тяжести)	26,1 (79)	29,1 (84,4)
300	25 (77)	28,2 (82,8)
350	24 (75,2)	27,4 (81,3)
400 (тяжёлая работа)	23,2 (73,8)	26,8 (80,2)
450	22,5 (72,5)	26,2 (79,2)
500	21,8 (71,2)	25,7 (78,3)
550 (очень тяжёлая работа)	21,3 (70,3)	25,2 (77,4)
600	20,7 (69,3)	24,8 (76,6)

Примечание: можно вычислить WBGT по метеоданным с помощью [калькулятора](#)

Выполнение работы в нагревающем микроклимате в течение коротких промежутков времени, превышение указанных ПДУ, может не нанести вреда здоровью. Поэтому разработаны значения ПДУ для длительности работы 60, 45, 30 и 15 минут ([фиг. 8-1](#) и [8-2](#)). При кратковременном пребывании в нагревающем микроклимате, и последующем отдыхе, организм избавляется от избытков тепла, накопленного во время работы [[Dukes-Dobos and Henschel 1973](#)]. В [таблицах 6-2](#) и [6-3](#) приводятся примеры режимов труда и отдыха.

Значения ПДУ, рекомендуемые NIOSH, были разработаны на основе физиологических исследований, в которых определялись области (допустимого) выполнения работы, зависящие от выполняемой работы, и зависящие от условий окружающей среды; и на основе экспериментальных исследований верхнего предела допустимой области работы горноспасателей (*Upper Limit of the Prescriptive Zone ULPZ*) [[Lind 1963](#); [Dukes-Dobos and Henschel 1973](#); NIOSH 1973, [1986a](#)]. В пределах указанных допустимых областей, организм 95% людей способен поддерживать тепловое равновесие.

Условия окружающей среды (нагревающего микроклимата), описаны комплексным показателем WBGT
Environmental heat — WBGT



Внутреннее теплообразование Metabolic heat
(при обмене веществ во время физической работы)

Figure 8-1. Recommended heat stress alert limits (RALs) for unacclimatized workers

Фиг. 8-1. Рекомендуемые ПДУ для не акклиматизированных работников.

Показанные значения относятся к «стандартному» работнику (масса 70 кг (154 фунта), площадь тела 1,8 м² (19,4 кв. футов). Этот «стандартный» работник использован для нормализации данных. Значительных отличий между мужчинами и женщинами в отношении способности выдерживать перегрев не обнаружено.

Источники: [Leithead and Lind 1964; Wyndham 1974; Ramsey 1975; Strydom 1975; ISO 1982a; Spaul and Greenleaf 1984; ACGIH 1985].

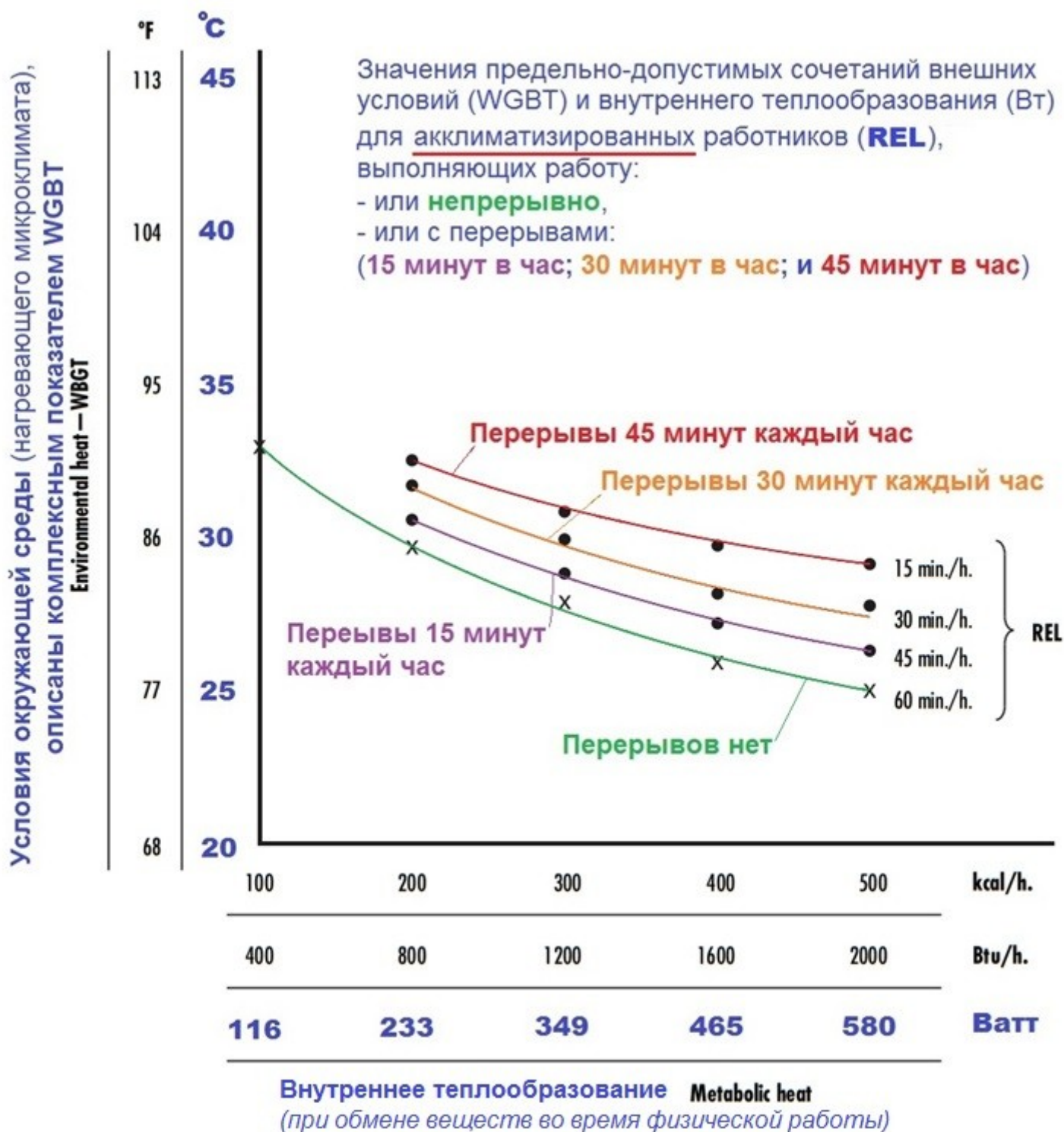


Figure 8-2. Recommended heat stress exposure limits (RELs) for acclimatized workers

Фиг. 8-2. Рекомендуемые ПДУ для акклиматизированных работников.

Показанные значения относятся к «стандартному» работнику (масса 70 кг (154 фунта), площадь тела 1,8 м² (19,4 кв. футов). Этот «стандартный» работник использован для нормализации данных. Значительных отличий между мужчинами и женщинами в отношении способности выдерживать перегрев не обнаружено.

Источники: [Leithead and Lind 1964; Wyndham 1974; Ramsey 1975; Strydom 1975; ISO 1982a; Spaul and Greenleaf 1984; ACGIH 1985].

При превышении значений (допустимой зоны) доля рабочих, которые способны поддерживать температуру тела, становится меньше; и происходит рост температуры центра тела (у остальной части работников). Значения эффективной температуры (Effective Temperature), то есть те окружающие условия, которые откладываются на горизонтальной оси при построении графика допустимой области деятельности (из работ Lind et al) были преобразованы в комплексный показатель температуры WBGTs, и они стали

использоваться на вертикальной оси при построении графиков ПДУ [[Dukes-Dobos and Henschel 1973](#); NIOSH 1973, [1986a](#); ACGIH 2009]. В исследовании [Dukes-Dobos and Henschel \[1973\]](#) были рассмотрены требования к тому, как следует измерять условия окружающей среды при разработке ПДУ:

- Параметр должен быть практически измерим.
- Он должен учитывать все важные факторы, определяющие тепловое воздействие среды на работника.
- Измерения и вычисления должны быть простыми, и не должны требовать измерения физиологических показателей.
- Значения ПДУ должны отражать степень реакции человека на воздействие.
- Параметр должен быть применим для описания значений ПДУ в разнообразных производственных условиях.

С учётом этих требований, при разработке ПДУ в NIOSH для описания условий работы был выбран комплексный показатель температуры WBGT. Значения ПДУ, разработанные NIOSH, схожи с аналогичными ПДУ, разработанными другими организациями (см. разделы [8.5](#) и [8.6](#)).

При пересмотре настоящего документа (в 2016 г) был проведён поиск новой информации, которая могла бы привести к пересмотру разработанных ПДУ. Но никакой новой информации такого типа мы не нашли. Исследования акклиматизированных и не акклиматизированных работников показывали, что разработанные (ранее) допустимые области деятельности (ULPZ) при разной тяжести выполняемой работы и разных условиях окружающей среды (оцениваемой с помощью WBGT) – вполне адекватны [[Belding and Kamon 1973](#); [Lind 1970](#); [Lind et al. 1970](#)]. Было установлено, что разработанные ранее ПДУ для акклиматизированных и не акклиматизированных работников обеспечивают защиту большинства сотрудников. Но поскольку на способность работника выдержать перегрев влияет много разных факторов, то эти ПДУ могут не обеспечить защиту всех (см. разделы [3.3](#) и [4.1](#)). Поэтому при оценке воздействия нагревающего микроклимата на работников большое значение имеет мнение специалистов. Ассоциация гигиенистов ACGIH в 2009 г сделала обзор новых данных по воздействию нагревающего микроклимата ACGIH [2009]. Некоторые исследования показали, что рекомендуемые ограничения слишком строги [[Khogali 1983](#); [Parikh et al. 1976](#); [Rastogi et al. 1992](#); [Tranter 1998](#)]. Проведение новых исследований даст информацию, позволяющую определить эффективность разработанных ПДУ. В [разделе 1.1](#) приводится обобщение информации о ПДУ из всех глав документа.

Также было проведено повторное обоснование максимально допустимого воздействия нагревающего микроклимата, которое не должно превышать даже кратковременно (NIOSH *ceiling limit*). не было выявлено никаких данных, обосновывающих продолжение использования этого ограничения. акклиматизированные работники живут и работают при температуре, превышающей это значение – без отрицательных последствий для здоровья. решение перестать использовать максимальное ограничение по температуре (*ceiling limit*) поддержано рецензентами настоящего документа.

8.2 Оценка риска.

Главной целью разработанного стандарта является ограничение риска для здоровья работников при воздействии нагревающего микроклимата. В последние годы (способы) оценки риска стали более сложными, но точность всё равно недостаточная. Ранее, способы оценки риска давали лишь качественный результат, или «полу-качественный».

По оценкам, из 1000 работников 2 подвергаются чрезмерному воздействию нагревающего микроклимата [[Parsons 2003](#)]; а среди лиц некоторых профессий (пожарники, сельхозработчие, строители, лесники, шахтёры, работающие на производстве) риск перегрева ещё выше из-за высокой нагрузки при выполнении тяжёлой физической работы, воздействия нагревающего микроклимата, и необходимости носки СИЗ [[Davies et al. 1976](#); [Slappendel et al. 1993](#); [Kirk and Sullman 2001](#); [Parsons 2003](#); [Maeda et al. 2006](#); [Xiang et al. 2014](#)]. Один из самых первых полу-качественных способов оценки риска при воздействии нагревающего микроклимата был разработан [Lee and Henschel \[1963\]](#). Их способ основывался на законах термодинамики и теплообмена. Хотя он предлагался для «стандартного» работника и стандартных условий окружающей среды и внутреннего теплообразования, в нём имелись поправочные коэффициенты для учёта внешних условий, отличия внутреннего тепловыделения от стандартного, и отличия работника от стандартного. Был представлен ряд графиков, которые позволяли полу-качественно предсказать, у какой доли от работников (имеющих разный уровень физической подготовки и разный возраст) может ухудшиться здоровье или работоспособность при 15 разных степенях воздействия нагревающего микроклимата. При первых попытках разработать способы оценки риска одной из проблем было то, что не было достаточного количества достоверных данных, позволяющих проверить качество оценок (матмоделей).

В Южно-Африканской Республике ведётся добыча золота в глубоких шахтах в условиях высоких температур. Там было собрано много данных о влиянии нагревающего микроклимата на здоровье, включая данные о смерти работников от теплового удара. На основе лабораторных данных были построены серии кривых, которые (для разных условий окружающей среды) позволяли предсказать вероятность того, что температура тела работника достигнет опасного значения [[Wyndham and Heyns 1973](#); [Stewart 1979](#)]. На основе этих сведений, и

эпидемиологической информации о случаях теплового удара у шахтёров, были сделаны оценки вероятности того, что ректальная температура достигнет опасного значения. Если считать, что температура центра тела 40°C (104°F) считается пороговой, при которой работник рискует получить тепловой удар и даже умереть, то тогда вероятность достижения этой температуры составит: 10^{-6} при эффективной температуре (*effective temperature, ET* – комплексный показатель, учитывающий температуру воздуха, влажность и скорость его движения) $34,6^{\circ}\text{C}$ ($94,3^{\circ}\text{F}$); 10^{-4} при $35,3^{\circ}\text{C}$ ($95,5^{\circ}\text{F}$); 10^{-2} при $35,8^{\circ}\text{C}$ ($96,4^{\circ}\text{F}$); и $10^{-0,5}$ при $36,6^{\circ}\text{C}$ ($97,9^{\circ}\text{F}$). Если считается, что температура тела $38,5\text{--}39^{\circ}\text{C}$ ($101,3\text{--}102,2^{\circ}\text{F}$) критическая, то тогда можно получить значения эффективной температуры ET, при которой температура тела повышается до этих значений, и она соответствует диапазону вероятности 10^{-1} – 10^{-6} . Указанные взаимосвязи (риска) и эффективной температуры были разработаны для условий, при которых относительная влажность близка к 100%; и они вряд ли точно отражают взаимосвязь между риском и эффективной температурой для меньшей влажности. Были разработаны (способы оценки) того, с какой вероятностью у не акклиматизированных людей температура тела достигнет заданной величины при разных значениях эффективной температуры [[Wyndham and Heyns 1973](#); [Strydom 1975](#); [Stewart 1979](#)]. Хотя эти оценки оказались полезными для предотвращения случаев ухудшения здоровья у шахтёров ЮАР, их применение на других рабочих местах не обосновано.

Группа специалистов Всемирной организации здравоохранения, занимающаяся влиянием нагревающего микроклимата на здоровье, пришла к выводу: «Если люди работают в течение всего дня, выполняя тяжёлую физическую работу, то увеличение температуры центра тела свыше 38°C ($100,4^{\circ}\text{F}$) нежелательно». Это пороговое значение ректальной температуры включает новый запас безопасности, необходимый из-за того, что оценки внутреннего теплообразования и условий окружающей среды не вполне точные. При более точном определении этих параметров, можно допустить увеличение температуры до 39°C ($102,2^{\circ}\text{F}$)” [[WHO 1969](#)]. Это не означает, что при достижении ректальной температуры 38°C ($100,4^{\circ}\text{F}$) или даже 39°C ($102,2^{\circ}\text{F}$), у работника обязательно произойдёт тепловой удар или другое значительное ухудшение здоровья. В группе людей, при одинаковых условиях, реакция на них будет достаточно различна. Хорошо известно, что после марафонского забега, у многих не-профессиональных бегунов ректальная температура может достигать 41°C ($105,8^{\circ}\text{F}$) и выше. У футболистов были случаи, когда ректальная температура достигала $41,9^{\circ}\text{C}$ ($107,4^{\circ}\text{F}$) – без каких-то симптомов и (последующих) осложнений; а у других людей были случаи теплового удара и последующего смертельного исхода при ректальной температуре ниже 40°C (104°F) при беге на дальность 10 км и при невысокой температуре воздуха [[Armstrong et al. 2007b](#); [Taylor et al. 2008](#)]. Развитие теплового заболевания определяется не только температурой тела, но и появлением симптомов. Хотя при превышении ректальной температуры 38°C ($100,4^{\circ}\text{F}$) часть людей не пострадает, но риск развития тепловых заболеваний у части из группы людей возрастёт. Следует также учесть вклад других факторов: недостаточная акклиматизация, обезвоживание организма, потребление алкоголя, перенесённые ранее тепловые заболевания, возраст, приём лекарств [[Armstrong et al. 2007b](#); [Taylor et al. 2008](#)].

Некоторые из недавно полученных результатов также показывают, что запас безопасности необходим, так как оказалось, что с усилением воздействия нагревающего микроклимата случаев опасных действий (работников) становится больше [[Ramsey et al. 1983](#)]. С помощью безопасного отбора проб для оценки опасного поведения работников на рабочем месте было установлено, что при повышении температуры количество опасных действий возрастает. Их риск минимален при значении комплексного показателя температуры WBGT $17 - 23^{\circ}\text{C}$ ($62,6 - 73,4^{\circ}\text{F}$), а при WBGT больше 28°C (82°F) риск теплового стресса наибольший [[Armstrong et al. 2007b](#)]. Также риск небезопасного поведения работников возрастает с ростом тяжести выполняемой работы [[Ramsey et al. 1983](#)].

8.3 Взаимосвязь между воздействием нагревающего микроклимата и последствиями.

Большое количество опубликованных исследований, изучавших воздействие нагревающего микроклимата как в контролируемых лабораторных условиях, так и на рабочих местах подтверждает общую тенденцию увеличения нагрузки на механизм терморегуляции работника при усилении теплового воздействия. Все показатели теплового воздействия и теплового стресса используют эту взаимосвязь. Обычно это справедливо для всех акклиматизированных и не акклиматизированных людей, для женщин и мужчин, для людей любого возраста, и для людей с разным уровнем физической подготовки и способности выдерживать перегрев. В каждом случае, при одинаковом тепловом воздействии, различия между отдельными людьми и между группами людей, связаны с отличием в степени акклиматизации и в уровне физической работоспособности. разнообразие индивидуальных отличий в реакции на перегрев может быть большим; но при очень сильном воздействии это разнообразие уменьшается, так как организм исчерпывает свои способности поддерживать безопасную температуру тела.

Существуют сложные математические модели для предсказания того, какую нагрузку на организм (стресс) создадут (известные) нагревающий микроклимат и физическая активность; но результат может быть изменён из-за воздействия многих дополнительных (неучтённых) факторов. Эти матмодели могут быть различны – от графиков до программ для компьютеров [[Witten 1980](#); [Kamon and Ryan 1981](#); [Bernard and Pourmoghani 1999](#)]. Нагрузка на организм, которую можно предсказать для «среднего» работника, это частота сердечных сокращений, температуры кожи и тела, потовыделение и его испарение, увлажнённость кожи, (допустимая) длительность работы в условиях перегрева (*tolerance time*), работоспособность, необходимость в перерывах в работе. К числу не учтённых факторов относят: количество одежды, степень её прилегания к телу, её (тепло)изолирующие свойства, её паропроницаемость, физическая работоспособность, обезвоживание организма, степень акклиматизации. некоторые из этих математических моделей позволяют предсказать, когда в каких условиях показатели физиологического состояния организма достигнут (или превысят) значения, считающихся (границей) допустимого с точки зрения состояния здоровья.

Такие модели полезно использовать на производстве для предсказания того, когда сочетание разных факторов, воздействующих на работника, (может) создать неприемлемо высокую нагрузку на организм – так, что требуется изменить условия работы и принять меры для сохранения здоровья. Взаимосвязь «воздействие нагревающего микроклимата – нагрузка на организм (тепловой стресс)» применима к группам людей и, с использованием 95% доверительного предела, её можно использовать как модифицированный способ предсказания риска. Но из-за разнообразия реакции у отдельных людей на (одинаковый) нагревающий микроклимат (включая внутреннее теплообразование), имеющиеся сейчас матмодели не позволяют определить, при каком воздействии один работник из 10, или из 1000, или из 10 000 пострадает от тепловых судорог, теплового утомления или теплового удара.

8.4 Физиологический мониторинг стресса, создаваемого нагревающим микроклиматом.

Во время публикации первой версии настоящего документа в 1972 г ([NIOSH Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Hot Environments](#)), и публикации второй версии в 1986 г. считалось, что физиологический мониторинг (состояния человека в условиях перегрева) как способ оценки воздействия и защиты здоровья, является малоэффективным дополнением к измерению комплексного показателя температуры WBGT, средствам коллективной защиты, организационным мероприятиям. Но после 1986 г. было предложено использовать мониторинг температуры тела и частоты сердечных сокращений (во время работы и/или отдыха) при чрезмерном воздействии нагревающего микроклимата (превышающим ПДУ, ACGIH TLV) как безопасный и относительно простой способ (защиты здоровья и оценки его состояния) [[Fuller and Smith 1980, 1981](#); [Siconolfi et al. 1985](#)]. Все показатели теплового стресса (*heat stress indices*) предполагают, что если воздействие нагревающего микроклимата на работника не превышает ПДУ, то у большинства работников не будет ни тепловых заболеваний, ни несчастных случаев. По умолчанию это предполагает, что небольшая часть работников при таком (допустимом) тепловом воздействии, возможно, пострадает из-за развития «тепловых» заболеваний. При тепловом воздействии, не превышающем ПДУ (ACGIH TLV), почти все здоровые и акклиматизированные работники не пострадают от тепловых заболеваний.

А мониторинг физиологического состояния работников (измерение температуры центра тела, и/или частоты сердечных сокращений) у работников при воздействии нагревающего микроклимата, может помочь защитить всех – включая тех, кто плохо переносит жару. В одном из исследований, проводившихся в производственных условиях, измерялась частота сердечных сокращений во время отдыха. Её меряли когда работник сидел - в конце цикла работы от 30 до 1 минуты (P1), от 1,5 до 2 минуты (P2), и от 2,5 до 3 минут (P3). для измерения оральной температуры использовали клинический термометр, размещавшийся под языком на 4 минуты. Результаты показывают, что 95% времени оральная температура ниже 37,5°C (99,5°F) при частоте сердечных сокращений (для случая P1) во время отдыха 124 удара в минуту и меньше; и что 50% времени 50% оральная температура меньше 37,5°C (99,5°F) при частоте сердечных сокращений P1 ниже 145 ударов в минуту. С учётом этой взаимосвязи была разработана таблица для оценки тепловой нагрузки на организм и для применения адекватных мер по защите здоровья (перерывов для отдыха). Если значение частоты сердечных сокращений для случая P3 было ниже 90 ударов в минуту, то тепловой стресс считался умеренным; при достижении (P3) 90 ударов в минуту, и/или разнице значений (P1 – P3) примерно 10 ударов в минуту получали, что нагрузка большая, но температура тела возросла слабо; если значение для P3 выше 90 ударов в минуту и/или разнице значений (P1 – P3) менее 10 ударов в минуту получали, что работник не отдохнул (то есть, тепловой стресс превысил допустимую степень, и для предотвращения развития тепловых заболеваний или несчастных случаев требуются (дополнительные) корректирующие действия) [[Fuller and Smith 1980, 1981](#)]. Такими действиями могут быть, например, использование средств коллективной защиты, изменение режима работы и организации её выполнения, и др.

Несмотря на описанные выше результаты, исследования, проведённые недавно в производственных условиях, показали, что спустя час после начала отдыха организм не успевает полностью избавиться от полученной во время работы избыточной теплоты. Хотя ректальная температура снижается, температура мышц остаётся повышенной. Может быть, это вызвано накоплением крови с высокой температурой в мышечных тканях. Таким образом, даже во время отдыха организм работника находится в состоянии теплового стресса [Kenny et al. 2008]. Необходимо учитывать это при разработке корректирующих мер для защиты здоровья (средств коллективной защиты, организационных мероприятий, использования СИЗ).

Ранее получение информации о частоте сердечных сокращений в периоды завершения выполнения наиболее «горячих» периодов работ (летом), или с периодичностью 1-2 часа было трудно организовать. А сейчас разработаны технологии, которые могут позволить решить эти проблемы. В продаже появились носимые датчики, оценивающие физиологические показатели состояния организма, и записывающие их значения. Наиболее часто встречаются носимые на запястье часы, записывающие частоту сердечных сокращений. Их используют многие бегуны; они дают точный и достоверный результат, и записанные данные могут позднее переноситься на компьютер и анализироваться.

Разработан одноразовый цифровой термометр для измерения оральной температуры (во рту). Он может регулярно делать замеры температуры, и позволяет организовать мониторинг температуры тела на большинстве рабочих мест (не мешая работать). При его применении не нужно прерывать работу на несколько минут чтобы вставить термометр под язык и потом вынуть его. Недостаток: на показания могут влиять выпитая жидкость, съеденная еда и дыхание через рот (за этим нужно следить за 15 минут до замера). Да и сама по себе оральная температура не является самым точным показателем температуры центра тела; и такие измерения могут оказаться мало полезны для тех работников, которых тошнит, или уже вырвало. Более точный результат даёт использование проглатываемых датчиков, регистрирующих и передающих информацию о температуре центра тела по радио (*CorTemp® Ingestible Core Body Temperature Sensors, Palmetto, FL*). Они используются исследователями порядка двух десятилетий, и в конечном итоге могут начать применяться на рабочих местах. Недостатком таких датчиков является то, что их нужно съесть рано утром, и потом их срок службы зависит от времени пребывания в пищеварительном тракте вместе с едой. Другой недостаток - их стоимость, и стоимость приёмников сигналов.

Разработаны другие носимые измерительные системы (например *LifeShirt®*, *VivoMetrics, Ventura, CA*). Изучали точность одной из таких систем по сравнению со стандартным лабораторным физиологическим измерительным оборудованием [Coca et al. 2010]. Новое оборудование *Zephyr BioHarness®* (*Zephyr Bioharness, British Columbia, Canada*), поступило в продажу. Эта система измеряет: частоту сердечных сокращений, частоту дыхания, температуру кожи, делает электрокардиограмму, определяет положение тела, его ориентацию (*vector magnitude*), интервал между двумя QRS-волнами в кардиограмме (соответствует длительности одного сокращения сердца). Подобное оборудование может привести к радикальным изменениям при мониторинге в реальном масштабе времени состояния работников, подвергающихся перегреву.

Достоинство такого оборудования в том, что оно собирает данные без задержек, сразу определяет складывающиеся тенденции, и за счёт этого позволяет своевременно вмешиваться в ситуацию для защиты здоровья работников. Недостатки - требуется время для установки и снятия датчиков в начале и конце смены; датчики ректальной температуры или температуры в ухе, и прикрепляемые к коже электроды или термисторы плохо подходят для тех, кто выполняет обычную работу, электронная часть требует бережного отношения. Кроме того, на телеметрические сигналы часто влияют электромагнитные помехи, создаваемые технологическим оборудованием. Но оборудование, поступившее в продажу в последнее время, разработано с учётом этих недостатков. Это может помочь широкому распространению персонального оборудования для мониторинга состояния организма у рабочих, подвергающихся перегреву на производстве.

8.5 Рекомендации по защите от перегрева, сделанные разными организациями в США.

8.5.1 Американская ассоциация государственных промышленных гигиенистов (ACGIH).

ПДУ этой организации при воздействии нагревающего микроклимата разрабатывали так, чтобы при многократном воздействии нагревающего микроклимата на почти всех работников у них не происходило ухудшения здоровья [ACGIH 2014]. Эти ПДУ предполагают, что в безопасных условиях максимальная температура центра тела будет выше нормальной (37°C) не более чем на 1 градус (хотя в некоторых случаях могут быть сделаны исключения) [ACGIH 2014]. Ассоциация предлагает использовать блок-схему принятия решений (*decision-making tree*) для оценки риска теплового воздействия на работников. Эти ПДУ и рекомендации разработаны для следующих условий: (1) работники акклиматизированы, не обезвожены, не принимают лекарства; (2) у здорового работника, подвергающегося регулярному воздействию нагревающего микроклимата

(в пределах ПДУ), не произойдёт ухудшения здоровья; и (3) значения ПДУ для не акклиматизированных работников (*Action Level*) обеспечит защиту их здоровья.

Те работники, которые лучше переносят воздействие нагревающего микроклимата, и которые находятся под медицинским наблюдением, могут работать при воздействии перегрева, превышающем ПДУ – но так, чтобы температура центра тела никогда не превышала 38°C (100,4°F) в течение длительного периода. А акклиматизированные работники могут работать без опасности для здоровья, если у них температура центра тела не превышает 38,5°C (101,3°F), и если работа выполняется так, что они находятся под наблюдением. В значения ПДУ были включены как внешние условия на рабочем месте, так и внутреннее теплообразование. Для описания внешних условий использовали комплексный показатель температуры WBGT. Разработчик ПДУ дал рекомендации для коррекции значений ПДУ в зависимости от типа используемой одежды. Для описания внутреннего теплообразования считали, что при лёгкой работе оно не превышает 209 Вт (180 ккал/час); при работе средней тяжести – 209-349 Вт (от 180 до 300 ккал/час), при тяжёлой – 349-483 Вт (от 300 до 415 ккал/час); а при очень тяжёлой – свыше 605 Вт (520 ккал/час).

Помимо внутреннего теплообразования необходимо учитывать режим работы. Установлены ПДУ (описываемые с помощью WBGT) для случаев работы без перерывов, при перерывах 25% от интервала времени, 50% и 75% от интервала времени. Если выполняемые задания различны, или если условия отдыха различны, необходимо вычислить средние за смену значения.

Также ACGIH разработало дополнительное руководство для уменьшения нагрузки на организм при перегреве, и по корректирующим действиям для снижения риска. В руководстве описаны общие меры защиты, и меры для отдельных конкретных профессий; мониторинг частоты сердечных сокращений, температуры центра тела, симптомы ухудшения здоровья, оценка скорости потовыделения и потери веса.

8.5.2 Работы Управления по охране труда (OSHA).

В январе 1973 помощник министра труда (по вопросам охраны труда) дал задание Комитету по нагревающему микроклимату (*Standards Advisory Committee on Heat Stress, SACHS*) внимательно изучить рекомендации NIOSH, и разработать стандарт по охране труда, позволяющий свести к минимуму риск ухудшения здоровья работников из-за перегрева [[Ramsey 1975](#)]. Цель - снизить риск ухудшения здоровья и несчастных случаев среди работающих в нагревающем микроклимате для сохранения здоровья. Комитет состоял из 15 человек, представлявших рабочих, работодателей, местные и федеральные органы власти, и профессиональные группы.

Рекомендации по защите от перегрева включали в стандарт (юридически обязательный для выполнения работодателем) путём голосования членов комитета (большинством голосов), по каждому из пунктов. Все те заявления, которые большинством голосов признавали не нужными для стандарта, повторно не рассматривались. В рекомендации входило: установление 3 значений ПДУ (измеряемого с помощью комплексного показателя температуры WBGT) при длительном непрерывном воздействии, для выполнения работы трёх степеней тяжести: лёгкая (менее 200 ккал/час или до 800 *Btu/час*) - 30°C (86°F); средней тяжести (200-300 ккал/час или 804-1200-*Btu/час*) - 27,8°C (82°F); тяжёлая (более 300 ккал/час или более 1200 *Btu/час*) - 26,1°C (79°F) при скорости воздуха менее 1,52 м/с (300 футов в минуту). Эти значения схожи с ПДУ, разработанными ACGIH (TLV). А если скорость воздуха превышала 1,52 м/с (300 футов в минуту), то значения ПДУ увеличивали на: 2,2°C (4°F) для лёгкой работы, и на 2,8°C (5°F) для работы средней тяжести и тяжёлой работы. Этот подход обосновывался тем, что измерительные приборы, используемые для определения WBGT, не полностью учитывают увеличение теплоотдачи при возрастании скорости движения воздуха свыше 1,52 м/с. Результаты исследования [Kamon and Avellini \[1979\]](#) показали, что такое предположение некорректно, так как одежда работника уменьшает теплоотдачу при возрастании скорости воздуха. А при носке тяжёлой защитной одежды, или одежды с плохой паропроницаемостью, возрастание скорости воздуха слабо улучшит теплоотдачу за счёт конвекции и испарения. (Кроме того), разработаны новые приборы для измерения показателя WBGT, с адекватной оценкой скорости движения воздуха.

Рекомендации Комитета содержала список советов по организации работы в условиях нагревающего микроклимата, которые следовало выполнять во всех случаях, когда сочетание тяжести выполняемой работы и показателя температуры окружающей среды WBGT превышало ПДУ. Значения ПДУ и тяжести работы были установлены как средние величины для периода времени 120 минут. Также были включены указания по медобследованию, обучению и тренировке работников, наблюдению за условиями труда. Значения ПДУ, разработанные Комитетом, хорошо согласовывались с ПДУ, разработанными в ACGIH и в стандарте ISO. Но рекомендации Комитета не были включены в стандарт OSHA по охране труда при работе в условиях нагревающего микроклимата.

В 2011 г. Управление и Институт (NIOSH) совместно подготовили справочно-информационный документ (*infosheet*) по защите работников от ухудшения здоровья при перегреве. В него включили факторы риска, виды возможного ухудшения здоровья, оказание первой помощи, меры профилактики. В мае 2012 г. Управление начало проводить общенациональную образовательную кампанию (Вода. Перерывы. Тень. *Water. Rest. Shade.*) для

обучения работников и работодателей тому, как опасен перегрев, и что необходимо делать для профилактики вызываемых им заболеваний. Федеральное Управление (OSHA) работало вместе со своим Калифорнийским отделом (Cal/OSHA), и включило многие из материалов, использовавшиеся в этом штате, в свою общегосударственную программу. Также Управление сотрудничало с метеослужбой (NOAA) по вопросам предупреждений о неблагоприятной погоде - чтобы в них включались предупреждения о мерах безопасности [OSHA-NIOSH 2011; OSHA 2012b]. Управлением было разработано приложение, которое можно скачать на смартфон, и которое позволяет работодателям или работникам вычислить показатель температуры (*heat index*), с его помощью определить уровень риска и требуемые меры безопасности [OSHA 2012a]. В 2014 г., при продолжении кампании Управлением, стали подчёркивать важность акклиматизации работников как часть программы защиты от перегрева. Также управление приняло меры для (охвата своей кампанией) государственных и региональных партнёров, национальные и региональные ассоциации, работодателей, коммерческие объединения, профсоюзы, общественные и религиозные организации, консультантов, университеты, специалистов в области гигиены и охраны труда.

8.5.2.1 Управление по охране труда (OSHA) в Калифорнии.

В 2005 г., Комитет по стандартам Калифорнии принял нормативные документы, регулирующие действия в случае экстремальной жары, которые были разработаны на основе исследований Калифорнийского отделения Управления. Разработка проекта стандарта по защите от перегрева проводилась совместно с: *Labor and Workforce Development Agency*, объединениями работников и работодателей, комитетом по стандартам, и другими заинтересованными сторонами; и в 2006 г. в этом штате был принят стандарт по охране труда при работе в условиях нагревающего микроклимата [Wilson 2008]. Этот стандарт (*Title 8, Chapter 4, § 3395, Heat Illness Prevention*) должен выполняться на всех рабочих местах вне помещений, и он обязывает: обеспечить работников пригодной для питья водой, выполнять меры защиты при сильном воздействии нагревающего микроклимата, обучение работников и их руководителей. К недостаткам документа можно отнести то, что в нём нет ПДУ, и не учитывают влажность воздуха; нет требования давать работникам перерывы для охлаждения организма.

В 2010 г. Управление провело кампанию по профилактике заболеваний и несчастных случаев со смертельным исходом (вызываемых перегревом) среди не англоязычных рабочих, которые работают не помещений, и у которых маленькая зарплата. Для проведения кампании использовали видеоролики, сообщения по радио, рекламные материалы, плакаты, DVD-диски, открытки, учебные материалы, и общение и обучение работодателей и общественности. Оценка результатов этой кампании показала, что для достижения результатов (изменения поведения) требуются постоянные усилия. Для изменения сложившихся моделей поведения требуется и обучение, и административные меры [Cal/OSHA 2010]. Кроме того, в отчёте было показано, что многие работники-мигранты опасаются обращаться в государственные органы, и не сообщают об опасных производственных факторах. Поэтому Управление планирует создать «горячую линию» для приёма сообщений по сотовым телефонам. В 2012 г. Управлением была начата новая кампания по предотвращению гибели и заболевания работников, возникающих из-за перегрева на всех рабочих местах вне помещений (в Калифорнии).

8.5.3 Американская ассоциация промышленных гигиенистов (АИНА).

Ассоциация заявила, что лучшим путём защиты работников от перегрева является обучение работников и их руководителей тому, как нагревающий микроклимат влияет на терморегуляцию, и какие есть методы защиты [АИНА 2003]. В документе (*The Occupational Environment: Its Evaluation, Control, and Management* [АИНА 2003]) сделан подробный обзор доступных значений ПДУ при воздействии нагревающего микроклимата, включая рекомендуемые значения WBGT; среднесменные значения; рекомендации NIOSH; ПДУ, разработанные ACGIH; и рекомендации ISO. Было показано, что с учётом внутреннего теплообразования, значения ПДУ (измеряемые как WBGT) схожи:

- Для отдыха, 32–33°C;
- Лёгкая работа, 30°C;
- Работа средней тяжести, 27–28°C;
- Тяжёлая работа, 25–26°C; и
- Очень тяжёлая работа, 23–25°C.

В [таблице 5-1](#) приводится сравнение ПДУ. Специалисты АИНА пришли к выводу, то ПДУ, разработанные разными организациями, практически эквивалентны.

8.5.4 Разработки в вооружённых силах.

В 2003 г. был опубликован документ (Heat Stress Control and Heat Casualty Management TBMED 507/AFPAM 48-52 (I)). Он подробно описывал способы оценки теплового воздействия, проведения измерений, методы защиты работников; а также выявление, лечение и профилактику заболеваний и несчастных случаев, вызываемых перегревом [DOD 2003]. Этот документ может использоваться во многих промышленных

предприятий и для защиты людей, работающих вне помещений. Для оценки микроклимата и проведения измерений предложено использовать комплексный показатель температуры WBGT.

ВМФ разработали указания по профилактике и лечению заболеваний, возникающих из-за перегрева и переохлаждения ([Navy Environmental Health Center \[2007\]](#): Technical manual (NEHC-ТМ-ОЕМ 6260.6А, «Prevention and Treatment of Heat and Cold Stress Injuries»). В документ включили информацию о факторах, влияющих на риск ухудшения здоровья, степень обезвоживания организма, лечении и последующих действиях. Как и в документе 2003 г. (упомянут ранее), для оценки окружающей среды использовали комплексный показатель температуры WBGT.

Кроме того, в документы (ТВМЕД 507/АФРАМ 48-52 и NEHC-ТМ-ОЕМ 6260.6А) включены примеры – таблицы приёма воды (разработанные с учётом WBGT, тяжести выполняемой работы, и того, какова продолжительность работы в условиях нагревающего микроклимата (при чередовании работы с отдыхом, см. [таблицу 8-1](#)).

Таблица 8-1. Рекомендации по питью воды в условиях повышенной температуры.

Показатель WBGT		Лёгкая работа (<250 Вт)		Средней тяжести (425 Вт)		Тяжёлая работа (600 Вт)	
°C	°F	Работа/ отдых, мин.	Потребление воды за час, л	Работа/ отдых, мин.	Потребление воды за час, л	Работа/ отдых, мин.	Потребление воды за час, л
25,6-27,7	78-81,9	60 / 0	0,47	60 / 0	0,71	40 / 20	0,71
27,8-29,4	82-84,9	60 / 0	0,47	50 / 10	0,71	30 / 30	0,95
29,4-31,1	85-87,9	60 / 0	0,71	40 / 20	0,71	30 / 30	0,95
31,1-32,2	88-89,9	60 / 0	0,71	30 / 30	0,71	20 / 40	0,95
>32,2	>90	50 / 10	0,95	20 / 40	0,95	10 / 50	0,95

Требуемое количество воды для разных людей различно ($\pm 0,24$ л/час), и на него влияет то, работают ли люди всё время под солнцем ($\pm 0,24$ л/час). Количество выпиваемой воды не должно превышать 1,4 л/час и 11,4 л за смену. Эти ограничения не относятся к хорошо адаптировавшимся работникам, которые могут пить более 11,3 л за смену. Режим (работа/отдых) в таблице показан для случая, когда во время отдыха работник сидит или стоит в тени (если есть). **Источник:** [DOD \[2007\]](#).

8.5.5 Американский колледж спортивной медицины.

(*American College of Sports Medicine, [ACSM](#)*).

В 2007 г. колледж опубликовал пересмотренное заявление (*Exertional Heat Illness During Training and Competition* [[Armstrong et al. 2007b](#)]). Для того, чтобы побеждать на состязаниях, бегун должен иметь физическую подготовку лучше, чем у большинства рабочих. При беге на длинные дистанции, типа марафонского, наиболее быстрые бегуны преодолевают 19-24 км за час (*12-15 миль в час*), что соответствует очень тяжёлой физической работе. при умеренной температуре воздуха, это приводит к перегреву.

Для того, чтобы снизить риск для здоровья, колледж подготовил перечень рекомендаций, которые следовало использовать – если условия забега на большие дистанции превышали некоторые безопасные значения. Эти рекомендации включали: **(1)** забеги на расстояние 10 км и более не следует проводить при значении показателя температуры WBGT выше 28°C (82,4°F); **(2)** летом следует проводить (забеги) пораньше, в идеале – с 6 до 8 утра; или поздно вечером – после 18:00; **(3)** организаторы забега должны обеспечить бегунов питьём; **(4)** бегуны должны пить 300-360 мл до начала забега; **(5)** во время забега они должны регулярно пить жидкость, места с напитками должны размещаться каждые 2-3 км (при забеге на 10 км и более), и бегуны должны выпивать там по 100-200 мл; **(6)** необходимо обучить бегунов выявлять ранние признаки развития «тепловых» заболеваний; и **(7)** должны быть приняты меры для оказания медицинской помощи пострадавшим от перегрева (если потребуется).

В этих рекомендациях для оценки окружающей среды с точки зрения риска перегрева использовался комплексный показатель температуры WBGT. Когда он достигал граничных значений 23-28°C (73,4-82,4°F, «красный флаг»), все бегуны должны знать, что возможен несчастный случай из-за перегрева; и что те, у кого повышенная чувствительность к нагревающему микроклимату или влажности, не должны участвовать в забеге. При значениях WBGT 18-23°C (64,4-73,4°F, «жёлтый флаг») считали, что риск умеренный. (Также) предполагали, что температура воздуха, его влажность, солнечное (тепловое) излучение, скорее всего, будут увеличиваться в течение дня.

8.5.6 Министерство труда и промышленности штата Вашингтон.

(*Washington State Department of Labor and Industries*).

В 2008 г. Министерство труда и промышленности штата Вашингтон обнародовало закон (*Outdoor Heat Exposure Rule, WAC 296-62-095*). Он распространялся на всех работодателей, у которых работники ежегодно работают вне помещений с 1 мая до 30 сентября. В законе оговаривалось, что он применяется лишь тогда, когда

температура на рабочем месте равна или превышает 31,7°C (89°F); при носке двухслойной тканой одежды (например – комбинезон, куртка, спортивный свитер) при температуре выше или равной 25°C (77°F); или при носке газонепроницаемой одежды (изолирующих костюмов или СИЗ) при температуре выше или равной 11,1°C (52°F) [[Washington State Legislature](#)].

При разработке этих ограничений использовали значения наиболее часто встречающихся в этом районе температур точки росы – а они меньше, чем во многих других частях страны. Поэтому эти рекомендации не следует использовать для других регионов.

В документе заявлялось, что программа защиты от перегрева работающих вне помещений должна входить в программу работодателя по профилактике несчастных случаев (написанную). работодатели должны поощрять работников пить воду или другие подходящие напитки; и должны обеспечивать их питьевой водой (не менее 0,95 л/час на одного работника). также работодатели должны отстранять от работы любого работника, если у него обнаружались симптомы развития «теплого» заболевания, и должен обеспечить адекватные средства для снижения температуры тела. В законе также указывается, что должно проводиться адекватное обучение работников перед началом работ в условиях перегрева, а также адекватная подготовка руководителей.

8.5.7 Управление по охране труда на шахтах.

(*Mine Safety and Health Administration, MSHA*).

В 1976 г. Управление опубликовало документ (*Information Report, Heat Stress in Hot U.S. Mines and Criteria for Standards for Mining in Hot Environments* [[MSHA 1976](#)]). Также в 2001 г. Управление пересмотрело и опубликовало руководство по охране труда (*Safety Manual Number 6, Heat Stress in Mining*, [[MSHA 2001](#)]). Управление заявило, что к рабочим местам с нагревающим микроклиматом следует относить те, где значения комплексного показателя температуры WBGT превышают 26°C (79°F). Для уменьшения риска для здоровья при перегреве, в шахтах следует использовать технические средства коллективной защиты, изменение организации выполнения работы, рациональные методы работы, подходящую спецодежду и СИЗ. Было рекомендовано:

- Для улучшения устойчивости работников к перегреву проводить их акклиматизацию, и улучшать их физическую подготовку.
- Делать перерывы в работе через подходящие короткие интервалы времени.
- Установить физиологически приемлемый ритм работы (снизить тяжесть работы).
- Планировать выполнение тяжёлой работы так, чтобы оно приходилось на наиболее холодный период времени и в наиболее холодном месте (насколько возможно).
- Проводить замену работников (с «горячих» рабочих мест на «холодные», и наоборот); обеспечить работников доступными местами отдыха с прохладным микроклиматом, охлаждённой питьевой водой 10-15°C (50-60°F), и рекомендовать им пить её часто понемногу (стакан каждые 15-20 минут).
- Для тех, кто не должен придерживаться малосолевой диеты из-за указаний врачей, рекомендовать добавлять в еду больше соли, и пить слабосоленую воду (1 таблетка соли на 14 л воды).

Управление (MSHA) разработало два графика акклиматизации работников – для тех, кто ранее не работал на шахте, и тех, кто уже был акклиматизирован ранее, но не работал 9 дней и более (подряд), см. [таблицу 8-2](#).

Таблица 8-2. Графики акклиматизации Управления по охране труда на шахтах (MSHA).

День с начала работы	Доля времени, проводимого в нагревающем микроклимате
1	50%
2	60%
3	70%
4	80%
5	90%
6	100%
<i>Для работников, вернувшихся к работе после перерыва 9 дней и более:</i>	
1	50%
2	60%
3	90%
4	100%

Источник: MSHA [[1976](#), [2001](#)].

Руководители и шахтёры должны знать симптомы тепловых заболеваний, уметь оказывать первую помощь, и знать, как следует защищаться от перегрева. Кроме того, новых работников следует предупредить, чтобы они не пытались работать так же, как это делают акклиматизированные работники. При проведении медосмотра тех, кто впервые будет работать в условиях нагревающего микроклимата, врач должен проверить сердце, кровеносные сосуды, почки, печень, железы внутренней секреции, органы дыхания, и кожу. Адекватное планирование рудников, вентиляция, кондиционирование воздуха – могут снизить воздействие на работников;

навесы могут уменьшить попадание солнечных лучей; а экраны уменьшат попадание излучения от нагретых предметов. для перемещения горячей воды на поверхность можно использовать закрытые каналы и трубопроводы с теплоизоляцией. Повышение эффективности при проведении взрывных работ снизит нагрев воздуха.

8.6 Международные и зарубежные стандарты и рекомендации.

За пределами США международными и национальными организациями были разработаны требования и рекомендации по охране труда, направленные на предотвращение чрезмерного перегрева работников, угрожающего их жизни и здоровью. Эти документы были различны – от официальных международных стандартов и национальных государственных стандартов (юридически обязательных для выполнения работодателями), до рекомендаций, проверенных методов выполнения работ и указаний, разработанных объединениями специалистов, исследователей и общественно-активных лиц, работающих в области охраны труда (при воздействии нагревающего микроклимата). В большинстве из этих документов: (1) используют комплексный показатель температуры WBGT для оценки состояния окружающей среды, и (2) некоторые методы для оценки внутреннего теплообразования. Затем в них указываются ПДУ как значения температуры окружающей среды (выраженные через WBGT) для разной тяжести выполняемой физической работы.

8.6.1 Международная организация по стандартизации (ISO).

На 2012 г. в ISO состояло 164 страны, разрабатывавшие стандарты на основе достижения согласия большинства участников. Разработка стандартов ISO проводится с участием представителей разных заинтересованных сторон (технических комитетов экспертов, объединений потребителей, исследовательских организаций, негосударственных организаций, и государственных органов) [[ISO 2012](#)].

8.6.1.1 Стандарт ISO 7243.

В 1989 г. ISO пересмотрела свой стандарт (*ISO 7243: Hot Environments—Estimation of Heat Stress on Working Man, Based on the WBGT-Index (Wet Bulb Globe Temperature)* [[ISO 1989](#)]). [Стандарт ISO 7243](#) может использоваться для оценки нагревающего микроклимата с помощью простого измерения WBGT. Его легко использовать на рабочих местах, определяя условия труда конкретного работника [[ISO 1989](#)]. Значения показателей воздействия нагревающего микроклимата, использованные в этом стандарте, разрабатывались в предположении (использовавшемся и во многих других документах) что рабочие – нормальные здоровые люди; с уровнем физической подготовки, соответствующем выполняемой работе; использующие обычную летнюю одежду (теплоизолирующие свойства 0,6 кло, без ветронепроницаемых слоёв). Применение этого стандарта для измерения показателя WBGT, направлено на достижение трёх целей: (1) измерение температуры воздуха, (2) измерение температуры воздуха с помощью термометра с увлажнённым чувствительным элементом, который обдувается воздухом с той скоростью, какая есть на рабочем месте. (3) температуры, измеренной с помощью термометра с зачернённым чувствительным элементом. эти измерения позволяют определить WBGT (вычислить или измерить напрямую с помощью подходящих приборов). Все замеры, конечно, должны проводиться на рабочем месте во время работы.

8.6.1.2 Стандарт ISO 7933:2004.

В стандарте ISO 7933 (*Ergonomics of the Thermal Environment: Analytical Determination and Interpretation of Heat Stress Using Calculation of the Predicted Heat Strain*) описан способ для предсказания потовыделения и прогнозирования температуры центра тела человека на основе данных об условиях труда [[ISO 2004b](#)]. При использовании этого стандарта решаются главные задачи: (1) оценка теплового стресса в условиях, которые могут привести к чрезмерному увеличению температуры центра тела или к обезвоживанию «стандартного» работника, и (2) определения того, сколько времени человек сможет проработать в условиях известного нагревающего микроклимата так, что это не приведёт к ухудшению здоровья.

8.6.1.3 Стандарт ISO 8996.

Стандарт ISO 8996 (*Ergonomics of the Thermal Environment: Determination of Metabolic Heat*) был пересмотрен в 2004 г. В нём описаны способы определения внутреннего теплообразования в производственных условиях, оценки способов выполнения работы, и определения энергетических затрат на выполнение работы или физической активности [[ISO 2004c](#)].

8.6.1.4 Стандарт ISO 9886.

В стандарте ISO 9886 (*Ergonomics: Evaluation of Thermal Strain by Physiological Measurements*) описаны способы измерения теплового стресса с помощью 4 параметров [[ISO 2004a](#)]. В документе даются принципы и

практические рекомендации по измерению температуры центра тела, температуры кожи, частоты сердечных сокращений, измерения потери веса.

8.6.1.5 Стандарт ISO 9920.

В стандарте ISO 9920 (*Ergonomics of the Thermal Environment: Estimation of Thermal Insulation and Water Vapour Resistance of a Clothing Ensemble*) описаны методы определения теплоизолирующих свойств одежды и её способности препятствовать испарению. Для этого используются (известные) значения для разных видов одежды и тканей [[ISO 2007](#)].

8.6.2 Канада.

Канадский центр медицины труда (*Canadian Centre for Occupational Health and Safety*) использует два вида «тепловых» ПДУ: ПДУ для защиты здоровья рабочих промышленных предприятий; и ПДУ для создания комфортабельных условий в офисах. В некоторых регионах Канады стали использовать ПДУ, разработанные в США (ACGIH TLV); другие используют их как рекомендуемые значения ПДУ для защиты здоровья работников. Значения ПДУ для комфорта в офисах установлены в стандарте (*CSA Standard CAN/CSA Z412-00 (R2005), Office Ergonomics*), устанавливающим приемлемые значения температуры и влажности для офисов [[Canadian Centre for Occupational Health and Safety 2011](#)]. С учётом глобального потепления и возрастания частоты случаев экстремально высокой температуры окружающей среды, в дополнение к упомянутым стандартам, Министерство здравоохранения (*Health Canada*) разработало материалы для обучения и подготовки рабочих и населения к периодам экстремально высокой температуры.

8.6.3 Япония.

В Японии, Ассоциация по промышленной гигиене (*Society for Occupational Health*) разработала значения ПДУ для нагревающего и охлаждающего микроклиматов; и Министерство труда, здравоохранения и благосостояния приняло стандарт по охране труда (по температуре) для офисов [[Tanaka 2007](#)]. В этих документах учитывается акклиматизация, они применимы к здоровым мужчинам, которые носят обычную рабочую одежду (летнюю) и пьют адекватное количество подсоленной воды (концентрация соли около 0,1%). Работа выполняется непрерывно в течение часа, или с перерывами 2 часа (см. [таблицу 8-3](#)).

Таблица 8-3. Требования охраны труда при работе в нагревающем микроклимате в Японии.

Тяжесть выполняемой работы	Предельно допустимый уровень, °С	
	Измеряемый как WBGT	Измеряемый как SET ¹
RMR ² (очень лёгкая, 151 Вт 130 ккал/час)	32,5	31,6
RMR ² (лёгкая, 221 Вт 190 ккал/час)	30,5	30,0
RMR ² (средняя, 291 Вт 250 ккал/час)	29,0	28,8
RMR ² (средняя, 361 Вт 310 ккал/час)	27,5	27,6
RMR ² (тяжёлая, 430 Вт 370 ккал/час)	26,5	27,0

1 - *Corrected effective temperature* - показатель температуры, учитывающий влажность и скорость движения воздуха.

2 - RMR (*Relative Metabolic Rate*) – относительная скорость обмена веществ = (расход энергии во время работы - расход энергии во время отдыха) / (расход энергии в состоянии покоя, относящийся к периоду времени, когда выполняется работа)

Источник: [Japan Society for Occupational Health \[2005\]](#) и [Tanaka \[2007\]](#).

Глава 9. Показатели, используемые для оценки нагревающего микроклимата.

За последние 75 лет было разработано несколько показателей для оценки и/или предсказания степени воздействия нагревающего микроклимата, и/или степени теплового стресса (нагрузки на организм), которая может возникнуть при работе в условиях перегрева. Некоторые из этих показателей используют результат измерения одного параметра окружающей среды (температура, измеренная термометром с влажным чувствительным элементом); другие учитывают несколько параметров (температуру воздуха, измеренную термометром с сухим чувствительным элементом, с влажным чувствительным элементом, среднюю температуру теплообмена за счёт излучения, и скорость воздуха). При использовании всех этих показателей, степень внутреннего теплообразования или включается в их значение напрямую, или указываются разные предельно допустимые значения показателя для разных уровней внутреннего теплообразования.

Для того, чтобы показатель нагревающего микроклимата мог использоваться для оценки условий труда на рабочих местах, он должен соответствовать следующим минимальным требованиям:

- Применимость на практике и точность должны подтверждаться опытом реального применения.
- Показатель должен учитывать все важные факторы, влияющие на перегрев работника (условия окружающей среды, внутреннее теплообразование, одежду, состояние здоровья/физподготовку и др.).
- Измерения и вычисления (для определения показателя) должны быть простыми.
- Измерительные приборы и способы измерения должны давать результаты, точно отражающие воздействие нагревающего микроклимата на работника – но не мешающие работать.
- Значения показателя должны подкрепляться такой физиологической и/или психологической реакцией (на воздействие) со стороны организма, которая бы отражала влияние воздействия на риск ухудшения здоровья.
- Этот показатель должен позволять устанавливать ПДУ в широком диапазоне условий окружающей среды и степени внутреннего теплообразования.

Ниже рассмотрены широко используемые показатели воздействия нагревающего микроклимата (плюсы, минусы, применимость). Они рассматриваются в следующей последовательности: (1) измеряемые напрямую, (2) вычисляемые, (3) эмпирические, и (4) мониторинг физиологического состояния организма.

9.1 Непосредственно измеряемые показатели.

9.1.1 Температура, измеренная термометром с сухим чувствительным элементом.

Эта температура воздуха (t_a) широко используется для оценки комфорта людей в сидячем положении, одетых в обычную одежду (используемую в помещениях, 1,4 кло – включая поверхностный слой воздуха). Если движение воздуха слабое, относительная влажность от 20 до 60%, и температура (t_a) от 22 до 25,5°C (71,6–77,9°F), то эти условия считаются комфортабельными большинством людей. Если выполняемая работа усиливается (до средней или тяжёлой), то комфортная температура снижается на примерно 1,7°C (3°F) на каждые 29 Вт (25 ккал, 100 Вт/час) увеличения тяжести работы. И наоборот, при росте температуры воздуха и/или внутреннего теплообразования (выше значений, соответствующих комфортабельным условиям), возрастает степень теплового стресса, и нагрузка на организм.

Эту температуру воздуха легко измерять, но её использование при температуре воздуха, превышающей зону комфорта, не оправдано (кроме ситуаций, когда сотрудник использует полностью газонепроницаемую изолирующую одежду. Но и в этом случае требуется введение поправок, учитывающих влияние сильного солнечного или длинноволнового излучения (если оно имеется) [[Goldman 1981](#)].

9.1.2 Температура, измеренная термометром с влажным чувствительным элементом. (Wet Bulb Temperature).

Если отсутствует значительная теплопередача за счёт излучения, когда движение воздуха слабо влияет на теплообмен, и когда температура воздуха, измеряемая термометрами с сухим и влажным чувствительными элементами коррелируют друг с другом (при большой влажности), психрометрическая температура ($tpwb$) может быть подходящим показателем для оценки воздействия нагревающего микроклимата и предсказания (создаваемой им) степени теплового стресса. При носке обычной одежды и небольшой скорости воздуха, психрометрическая температура около 30°C (86°F) является верхним пределом, выше которого работоспособность снижается (при выполнении сидячей работы). А при выполнении физической работы средней тяжести этот предел равен 28°C (82,4°F). При превышении этих значений снижается работоспособность и растёт частота несчастных случаев и аварий. В южноафриканских и в немецких шахтах эту температуру используют для предсказания риска теплового удара (когда влажность и температура воздуха высокие) [[Stewart 1979](#)].

Эту температуру легко измерять в производственных условиях с помощью, например, термометра с прокачивающим воздух насосом, и её следует использовать во всех случаях, когда температура воздуха и

влажность высокие (тогда – при отсутствии сильного излучения, и сильного движения воздуха – психрометрическая температура близка к температуре кожи).

9.2 Вычисляемые показатели теплового воздействия

(*Rational Indices*).

9.2.1 Действующая (эквивалентная) температура (*Operative Temperature*).

Это такая температура (t_o), которая равна температуре, измеряемой термометром с сухим чувствительным элементом, находящимся в зачернённом укрытии – так, что теплообмен с окружающей средой за счёт излучения и конвекции будет равен теплообмену на рабочем месте. Значение t_o можно получить с помощью уравнения теплообмена. В последнем, коэффициент теплопередачи за счёт конвекции и излучения описан как взвешенная сумма коэффициентов теплопередачи за счёт конвекции и излучения. Его можно прямо использовать для определения теплообмена за счёт конвекции и излучения. Температура t_o учитывает теплоизолирующие свойства одежды. Температура кожи может быть измерена или взята на основе каких-то данных. Определение t_o вызывает некоторые затруднения. Для теплообмена за счёт конвекции необходим учёт скорости движения воздуха. Этот показатель (t_o) не учитывает два важных фактора – влажность воздуха и внутреннее теплообразование. Эти недостатки мешают широкому применению указанного параметра для оценки условий труда на рабочих местах.

9.2.2 Показатель температуры HSI (*Belding-Hatch Heat Stress Index*).

Показатель воздействия нагревающего микроклимата на организм (*Belding and Hatch Heat Stress Index, HSI*) [[Belding and Hatch 1955](#)] получил широкое распространение при проведении измерений в лабораторных условиях и на рабочих местах. Одним из его главных положительных свойств является то, что приводятся табличные данные о физиологических и психологических последствиях воздействия нагревающего микроклимата (при известном значении HSI) в течение 8-ми часовой смены. По сути, HSI получается из уравнения теплообмена, учитывающего условия окружающей среды и внутреннее теплообразование. Этот показатель (равен) отношению (%): количества тепла, которое должен отдать в окружающую среду организм (за счёт испарения пота) для поддержания постоянной температуры (E_{req}) – к максимальному количеству пота, которое может испариться с учётом изолирующих свойств одежды, и с учётом способности окружающей среды принимать пары воды (E_{max}). При разработке этого показателя предполагали, что «средний» здоровый работник может терять до 1 л пота в час без каких-то негативных последствий для здоровья. Однако такое предположение не подтверждено результатами медицинских исследований. Последние показывают, что потеря пота 8 литров за смену – слишком велика; если она превышает 5 л, у рабочих может произойти обезвоживание – доля потерянной влаги может достигнуть 1,5% от массы тела, что увеличит риск тепловых заболеваний. Разработана диаграмма для определения HSI. Она разрабатывалась в предположении, что температура кожи 35°C (95°F), и что работник одет в обычную рубашку с длинным рукавом и брюки. Предполагается, что работник здоровый, и акклиматизированный (к среднему за смену воздействию нагревающего микроклимата).

Показатель HSI не применим к случаю очень сильного теплового воздействия. Также, он недостаточно хорошо различает тепловое воздействие при большой и маленькой влажности воздуха. Стресс, вызываемый внешними условиями, и вызываемый внутренним теплообразованием – не различается. Так как отношение E_{req}/E_{max} безразмерно, то и абсолютные значения обоих компонент не определены. Например, при значениях обоих количеств тепла равных 300, или 500, или 1000 – во всех случаях значение HSI будет 100%. Но при больших воздействиях тепловой стресс будет сильнее. Поэтому использование одного лишь отношения требуемой степени испарительного охлаждения к максимально возможному, которое может быть достигнуто конкретным работником, не учитывает фактический рост теплового стресса при использовании организмом механизмов терморегуляции в большей степени.

Для проведения измерений необходима информация о скорости воздуха, что даёт, в лучшем случае, приближённую оценку на рабочем месте, и измерение температур (воздуха t_a ; воздуха – измеряемая термометром с влажным чувствительным элементом t_{wb} ; и температура теплопередачи за счёт излучения t_r). Также необходимо измерить или предсказать внутреннее теплообразование. Таким образом, требуется проведение трудоёмких, отнимающих много времени. А это препятствует широкому использованию HSI на производстве.

Исследователи McKarns and Brief на основе (своих) наблюдений за одетыми испытуемыми пересмотрели коэффициенты теплопередачи, используемые для определения HSI [[McKarns and Brief 1966](#)]. При учёте их уточнений, на диаграмме HSI затронуты анализ факторов, вызывающих тепловой стресс. Внесённые изменения также позволяют определить безопасное время работы, длительность перерывов (для разных сочетаний внешних условий и внутреннего теплообразования). Но точность вычисленных значений ограничивается теми недостатками HSI, которые были описаны выше. Разработаны программы и онлайн-калькуляторы для определения HSI.

9.2.3 Степень увлажнённости кожи (Skin Wettedness, %SWA).

Несколько показателей воздействия нагревающего микроклимата разрабатывались на основе идеи о том, что – помимо выделения пота в количестве, требуемом для поддержания постоянной температуры тела (E_{req}) и максимального испарения пота (E_{max}), на тепловой стресс влияет эффективность испарения пота. При меньшей эффективности, для поддержания постоянной температуры требуется увлажнение большей доли кожи. (Для описания) этого показателя (%) использован параметр $SWA = E_{req}/E_{max}$.

Идея учёта доли увлажнённости кожи дала отношению E_{req}/E_{max} новый смысл: индикатор теплового стресса в условиях, когда влажность большая, а скорость воздуха маленькая (то есть – испарение затруднено) [Goldman 1973, 1978; Gonzalez et al. 1978; Candas et al. 1979; Kamon and Avellini 1979; ISO 1982b]. Показатель увлажнённости кожи учитывает отличия, возникающие из-за температуры воздуха, его влажности и скорости движения, теплопередачи за счёт излучения, свойств одежды. И все эти факторы должны быть изменены (или оценены) – для каждого рабочего места, где используется показатель (увлажнённости и теплового стресса). Такие замеры требуют выполнения качественных и трудоёмких процедур. Кроме того, скорость ветра на рабочем месте трудно точно измерить – это, в лучшем случае, приближённое значение. Указанные показатели являются удовлетворительной основой для оценки степени теплового воздействия для того, чтобы определить, какие средства коллективной защиты и организационные мероприятия должны использоваться для защиты здоровья работников. А для того, чтобы регулярно (повседневно) оценивать условия труда они не подходят, так как слишком сложные, требуют много измерительного оборудования, и больших затрат времени.

9.3 Эмпирические показатели

(*Empirical Indices*).

Некоторые из ранее разработанных и наиболее широко распространённых показателей воздействия нагревающего микроклимата основаны на объективных и субъективных оценках, полученных у испытуемых и групп людей, подвергавшихся разным сочетаниям воздействий внешних условий и внутреннего теплообразования.

9.3.1 Эффективная температура (ET, CET, ET* и P4SR).

Показатель «эффективная температура» (*effective temperature ET*) был самым первым, и до недавнего времени - самым распространённым. Он учитывает температуру воздуха, измеряемую термометром с влажным чувствительным элементом, и скорость воздуха. Более поздняя его версия, «откорректированная эффективная температура» (CET) вместо измерения температуры воздуха (t_a) используется измерение с помощью термометра с зачернённым чувствительным элементом (t_g), что позволяет учесть поступление тепла за счёт излучения. Значения показателей ET (и CET) были получены с помощью субъективных выражений эквивалентного теплового воздействия по отношению к базовому (в камере со 100% влажностью и маленькой скоростью воздуха), и в камере с большей температурой и скоростью воздуха, но с меньшей влажностью. Недавно была разработана новая версия ET (ET*). Она отличается тем, что как базовая используется камера не с влажностью 100% (как для ET и CET), а с влажностью 50%. К показателю ET* применимы все те ограничения, которые были указаны выше. Но этот показатель полезен для вычисления требований к вентиляции или системам кондиционирования в зданиях, обеспечивающих приемлемые условия.

Показатели ET и CET использовали в исследованиях, в которых изучали изменения в физической, психомоторной и умственной работоспособности (в условиях перегрева). В целом, при превышении (ET или CET) $\sim 30^{\circ}\text{C}$ (86°F), работоспособность начинала снижаться. Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения, следует считать недопустим превышение значений ET или CET для не акклиматизированных работников, выполняющих: сидячую работу - 30°C (86°F); работу средней тяжести - 28°C ($82,4^{\circ}\text{F}$); и тяжёлую работу - $25,5^{\circ}\text{C}$ ($79,7^{\circ}\text{F}$). А если работники полностью акклиматизированы, то эти значения можно увеличить на $\sim 2^{\circ}\text{C}$ ($3,5^{\circ}\text{F}$). Информация, на основе которой были разработаны начальные значения ET, была получена за счёт изучения людей в сидячем положении, подвергавшихся воздействию разных значений (сочетаний): t_a , t_{pwb} и V_a так, что состояние участников отличалось от комфортного не сильно. Реакция участников исследования - субъективная оценка комфорта или степени перегрева - могла соответствовать, а могла и не соответствовать фактической физиологической или психологической нагрузке. Кроме того, возникшие ощущения были реакцией на происходящие изменения. Экстраполяция этих результатов на случаи разного внутреннего теплообразования была основана на опыте, накопленном при изучении людей на рабочих местах. К недостаткам показателей ET и CET критики относили то, что они завышали влияние большой влажности, и занижали влияние движения воздуха - за счёт чего завышали степень теплового стресса.

В условиях большой влажности и высокой температуры воздуха, в глубоких южно-африканских шахтах, отмечено снижение работоспособности при выполнении тяжёлой физической работы - начиная с температуры ET $27,7^{\circ}\text{C}$ ($81,9^{\circ}\text{F}$) (при влажности 100% и минимальной подвижности воздуха). Эта величина примерно соответствует пороговому значению температуры, после превышения которого при выполнении тяжёлой работы

начинаются случаи теплового удара со смертельным исходом [[Wyndham 1974](#); [Strydom 1975](#)]. Эти результаты показывают полезность использования ET или SET в условиях, когда влажность высокая, а теплопередача излучением низкая.

Из-за недостатков, присущих ET, был разработан другой параметр для оценки воздействия нагревающего микроклимата: «четырёхчасовая скорость выделения пота» (P4SR). Для разработки P4SR использовали климатические камеры госпиталя (*National Hospital for Nervous Diseases*) в Лондоне, а также была проведена официальная оценка в Сингапуре в течение нескольких лет [[MacPherson 1960](#); [Parsons 2003](#)]. P4SR - это приблизительное количество пота, которое выделяет (предположительно) здоровый молодой человек, акклиматизированный к конкретным условиям, в течение 4 часов. Это значение используется как показатель потовыделения - но не как предсказатель конкретного количества пота, выделяемого группой людей. Таким образом, это показатель является эмпирическим показателем, который может быть получен так:

(1) Измеряются t_{wb} , t_g и t_a .

(2) Если $t_g \neq t_a$, то температура, измеренная термометром с влажным чувствительным элементом t_{wb} увеличивается на $0,4 \times (t_g - t_a)$ °C.

(3) Если внутреннее теплообразование M больше 63 Вт/м^2 , то температура воздуха, измеряемая термометром с влажным чувствительным элементом, увеличивается на величину, определяемую по специальной номограмме.

(4) Если работник одет, увеличьте температура воздуха, измеряемая термометром с влажным чувствительным элементом, на $1,5 \times I_{clo}$ (°C).

С помощью вышеописанных эмпирических измерений можно определить базовое значение потовыделения за 4 часа (B4SR) с помощью номограммы. Номограмма приводится на фиг. 10.4 в источнике [Parsons \[2003\]](#).

Так как было установлено, что потовыделение, выходящее за границы «безопасной» зоны, не является адекватным показателем теплового стресса, то P4SR использовали разработки поправок из-за плохо предсказанного уровня теплового стресса. Хотя этот показатель полезен в определённых условиях, на других рабочих местах его применение ограничено (так как он завышает влияние одежды на тепловой стресс). Больше всего этот показатель полезен как показатель перегрева (накопления тепла) организмом [[Parsons 2003](#)].

9.3.2 Комплексный показатель температуры WBGT.

(*Wet Bulb Globe Temperature*).

Комплексный показатель температуры WBGT был разработан в 1957 г. как показатель для оценки воздействия нагревающего микроклимата, чтобы предотвращать развитие заболеваний и несчастных случаев в лагерях для военной подготовки. К его достоинствам относят сравнительную несложность проведения измерений; простоту, прочность и низкую стоимость измерительного инструмента; а вычисления показателя - несложные. Результаты измерений и WBGT можно непрерывно собирать и записывать с помощью (например) *Squirrel data logging system* (*Grant Instruments, Ltd., Cambridgeshire, UK*) [[Åstrand et al. 2003](#)]. Для рабочих мест в помещениях требуется сделать лишь два замера температуры:

- Естественная температура влажного шарика термометра, измеренная термометром с влажным чувствительным элементом, который находится в условиях, которые соответствуют характерной скорости движения воздуха (без принудительного обдува t_{nwb}).

- Температура, измеренная термометром, сухой чувствительный элемент которого находится внутри, в центре тонкостенного полого зачерненного медного шара t_g .

Для рабочих мест вне помещений, при воздействии солнечного излучения, также необходимо измерить температуру воздуха t_a .

Значения WBGT для рабочих мест в помещениях можно вычислить по формуле:

$$WBGT = 0,7 \times t_{nwb} + 0,3 \times t_g;$$

Значения WBGT для рабочих мест вне помещений можно вычислить по формуле:

$$WBGT = 0,7 \times t_{nwb} + 0,2 \times t_g + 0,1 \times t_a.$$

Комплексный показатель WBGT учитывает влияние влажности и движения воздуха (t_{nwb}), температуру воздуха и излучение (t_a) - так как солнечное излучение может влиять на работающих вне помещений. А при отсутствии солнечного излучения, (t_g) учитывает влияние движения воздуха и его температуру. Имеющиеся в продаже приборы для измерения WBGT определяют t_a , t_{nwb} и t_g по отдельности, или после вычисления WBGT сразу выдают итоговый результат. Измеритель может включать в себя и принтер, который с заданной периодичностью будет распечатывать на ленте значения WBGT, t_a , t_{nwb} , V_a и t_g .

В результате применения комплексного показателя WBGT для разработки расписания тренировок новобранцев в летний период, привело к резкому сокращению числа случаев развития «тепловых» заболеваний [[Minard 1961](#)]. Полученный положительный результат стимулировал применение WBGT в промышленности на рабочих местах с нагревающим микроклиматом.



Прибор для измерения показателя температуры WBGT

В 1972 г. Национальный институт охраны труда NIOSH разработал свои первые рекомендации по защите здоровья работников при перегреве (*NIOSH Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Hot Environments*) [NIOSH 1972]. В нём для оценки условий окружающей среды рекомендовал использовать (WBGT). Причины такой рекомендации описаны в 1973 г. в [Dukes-Dobos and Henschel 1973]. Этот комплексный показатель использован для описания ПДУ (ACGIH TLV) в документе, принятом в 1974 г. [ACGIH 1985]. С течением времени этот показатель стал наиболее широко используемым и рекомендуемым для использования во всём мире (включая стандарт ИСО *Hot Environments: Estimation of Heat Stress on Working Man Based on the WBGT Index (Wet Bulb Globe Temperature) 1982 г.*) [ISO 1982a]; см. [Главу 9](#), где подробно обсуждается использование WBGT как показателя теплового стресса. Но при носке паронепроницаемой (изолирующей защитной) одежды использование WBGT даёт некорректный результат (так как пароизоляция нейтрализует испарительное охлаждение тела). (В этом случае) температура воздуха, или откорректированная температура, измеренная термометром с сухим чувствительным элементом, становятся подходящими показателями для оценки теплопередачи между телом работника и окружающей средой.

Комплексный показатель WBGT соответствует требованиям к критериям для описания воздействия нагревающего микроклимата (написаны в начале главы). Кроме того, помимо ПДУ для случая непрерывной работы в условиях перегрева, были разработаны ПДУ для тех, кто работает в условиях перегрева с перерывами (25, 50 и 75% от интервала времени 1 час) (ACGIH-TLVs®, OSHA, AINA). Это позволяет защитить здоровье людей при работе в условиях, когда температура превышает ПДУ для случая непрерывной работы в нагревающем микроклимате.

Примечание: WBGT можно вычислить по метеоданным с помощью [калькулятора](#).

9.3.3 Температура, измеряемая термометром с влажным чувствительным элементом WGT.

(Wet Globe Temperature).

После температуры воздуха t_a и t_{wb} , наиболее простым, портативным и удобным в применении является термометр для измерения WGT (*wet globe temperature*), например – модель «Botsball». Термометр для измерения WGT включает в себя термометр, находящийся внутри сферы 76 мм (3 дюйма). Сфера покрыта двумя слоями тёмной ткани, которая поддерживается в состоянии 100% влажность за счёт воды из ёмкости. Чувствительный элемент находится внутри сферы, и его показания считываются с помощью шкалы вне сферы.

Предполагается, что теплообмен между влажной сферой и окружающей средой происходит так же, как и между работником без одежды с полностью увлажнённой кожей в тех же условиях. В данном случае учёт теплообмена за счёт конвекции, излучения и испарения заложен в принцип конструкции измерительного инструмента [Botsford 1971]. Стабилизация показаний прибора наступает через 5-15 минут, в зависимости от разницы температур (5 минут для $5^{\circ}\text{C} - 9^{\circ}\text{F}$; и 15 минут для разницы более $>15^{\circ}\text{C} - 59^{\circ}\text{F}$). Но исследование, проведённое для взаимосвязи между WGT и WBGT в разных условиях окружающей среды показало, что при наличии точной информации о скорости ветра, относительной влажности и теплообмене излучением, WGT может предсказать WBGT с погрешностью $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ с 90% доверительным уровнем. А когда данных о условиях окружающей среды недостаточно (относительной влажности, скорости воздуха и др.) погрешность возрастает [Circello and Snook 1977].

Сравнение WGT и WBGT проводилось во многих лабораторных исследованиях и на многих рабочих местах [Circello and Snook 1977; Johnson and Kirk 1980; Beshir 1981; Beshir et al. 1982; Parker and Pierce 1984]. В целом, между ними имеется сильная взаимосвязь ($r = 0,91-0,98$). Но при разных условиях окружающей среды эта взаимосвязь не одна и та же. Величина предлагавшихся поправок составляла от 1°C ($1,8^{\circ}\text{F}$) до 7°C ($12,6^{\circ}\text{F}$). Для случая умеренного теплообмена за счёт излучения, и умеренной влажности (температура 22°C , влажность 50%) можно описать взаимосвязь между WGT и WBGT так:

$$\text{WBGT} = \text{WGT} + 2^{\circ}\text{C}$$

Эта приближённая взаимосвязь достаточно точная для общего наблюдения за условиями труда в промышленности. А если значения WGT большие - необходимо уточнить условия измерив WBGT (или проведя другие необходимые измерения). WGT подходит для предварительной оценки условий труда, выявления рабочих мест с вредными условиями и т.п., но не позволяет решать уравнения теплообмена между работником и окружающей средой. Диаграмма степени теплового стресса в зависимости от значений WGT и цветовым выделением позволяет быстро и наглядно оценить вредность условий труда.

9.3.4 Универсальный показатель температуры UTCI.

(Universal Thermal Climate Index).

Ещё позднее была разработана (математическая) модель для определения теплового стресса, вызванного воздействием внешних условий на тело работника [Blażejczyk et al. 2013]. В этой матмодели тело человека разделили на две терморегулирующие системы, взаимовлияющие друг на друга, и реагирующих на внешние условия (активная реакция и пассивная реакция). В этой матмодели тело человека представляло собой сложную

серию сегментов, содержащих информацию об анатомических и физиологических свойствах (включая теплообмен). Матмодель предсказывала терморегулирующую реакцию (например - кровоток в коже, образование тепла в дрожащих мышцах, степень потовыделения) в соответствии с условиями теплового равновесия в разных условиях окружающей среды. Эта модель определяет универсальный показатель климатических условий, так как температура воздуха в «эталонных», базовых условиях (смоделированных) вызывает ту же реакцию, что и реальные условия. Отличие результата от предсказанного зависит от реальных значений температуры воздуха, средней температуры теплообмена за счёт излучения, скорости ветра и относительной влажности. Таким образом, матмодель учитывает не условия окружающей среды, а физиологическую реакцию на них. Дополнительная информация по этому вопросу и калькулятор для вычисления UTCI есть на сайте <http://www.utci.org>.

9.3.5 Психрометрическая диаграмма.

Если по каким-то причинам не удаётся использовать способы оценки воздействия нагревающего микроклимата (описанные в этой главе), такую оценку можно сделать другим способом, и достаточно точно. Для этого используют психрометрическую диаграмму (см. [раздел 5.1.5](#)). Эта диаграмма графически описывает взаимосвязи между температурами (измеренными термометрами с сухим и влажным чувствительными элементами), относительной влажностью, давлением паров воды, температурой точки росы. Если известны два любых параметра, можно с помощью диаграммы определить остальные.

9.4 Измерение показателей физиологического состояния организма.

(Physiologic Monitoring).

Показатели воздействия нагревающего микроклимата используют для решения двух задач: **(1)** выяснить, будет ли конкретный нагревающий микроклимат создавать высокий уровень риска развития «тепловых» заболеваний или несчастных случаев, и **(2)** для обоснования рекомендуемых методов защиты. При воздействии нагревающего микроклимата, физиологическая реакция организма выражается в увеличении частоты сердечных сокращений, повышении температур центра тела и кожи, увеличении потовыделения. В конкретных условиях могут проявиться один или несколько таких реакций. Степень изменений обычно зависит от степени воздействия. Достоинством физиологического мониторинга является то, что он показывает не оценку, основанную на экстраполяции с использованием условий работы и тяжести работы, а конкретную индивидуальную реакцию на эти условия. Эта реакция отражает результат воздействия на организм всех источников тепла вместе - физиологическая реакция является биологическим корректирующим действием, направленным на противодействие стрессу и сохранение температуры центра тела в диапазоне оптимальных значений. В ряде исследований были рекомендованы границы допустимых значений физиологических показателей (при воздействии нагревающего микроклимата) [[WHO 1969](#); [Fuller and Smith 1980, 1981](#); [Bernard and Kenney 1994](#); [Logan and Bernard 1999](#); [Malchaire et al. 2000](#)]. Было рекомендовано проводить измерения одного или более физиологических показателей (частота сердечных сокращений и/или температура центра тела) во время работы. В некоторых отраслях промышленности их стали использовать для обеспечения того, что воздействие нагревающего микроклимата на работника не приведёт к негативным последствиям для здоровья [[Fuller and Smith 1980, 1981](#)]. Но некоторые из методов физиологического мониторинга инвазивные (например, проглатывание пластикового термометра), социально не приемлемые (измерение ректальной температуры), или мешают общаться (измерители ауральной температуры в канале уха). Для проведения физиологического мониторинга необходимо согласие работника и наблюдение врача. В [таблице 9-1](#) приводятся примеры физиологического мониторинга, применяемого для профилактики заболеваний, развивающихся при перегреве.

9.4.1 Частота сердечных сокращений во время работы и во время отдыха.

Одним из самых первых способов для оценки нагрузки, создаваемой выполняемой работой и нагревающим микроклиматом, было измерение температуры тела и пульса - во время работы, и во время отдыха (при чередовании периодов работы и отдыха); или в определённые моменты времени в течение смены [Brouha \[1960\]](#). При чередовании работы и отдыха, после завершения периода работы сотрудник садился на стул, ему под язык помещали оральный термометр, и измеряли пульс в интервале от 30 до 60 секунд (P1), от 1,5 до 2 минут (P2), и от 2,5 до 3 минут (P3) в период (начала) отдыха. Если оральная температура превышала 37,5°C (99,5°F), и если P1 превышал 110 ударов в минуту; и/или (разница) P1–P3 была меньше 10 ударов минуту - то считали, что стресс, создаваемый работой и нагревающим микроклиматом, превышает предельно допустимое значение. А значения предельно-допустимых величин разрабатывали как средние для групп работников, так что они могут соответствовать, а могут и не соответствовать конкретному работнику или некоторой группе людей. Однако

превышение этих значений должно показать наблюдателю, что условия работы могут быть опасными, и требуется углублённое изучение ситуации.

В некоторых отраслях, где люди работают в условиях перегрева, для оценки теплового стресса использовали модифицированный метод [Brouha \[1960\]](#). Так, [Fuller and Smith \[1980, 1981\]](#) предложили использовать оральную температуру и характер изменения частоты сердечных сокращений для наблюдения и оценки стресса у работников, выполняющих задания в условиях нагревающего микроклимата. Они предложили считать превышение оральной температуры $37,5^{\circ}\text{C}$ ($99,5^{\circ}\text{F}$) признаком чрезмерного воздействия. Для уточнения этого использовали тенденции изменения частоты сердечных сокращений. Если P1 была 90 ударов в минуту и менее - условия труда удовлетворительные; а если P1 выше 90 ударов в минуту, и P1-P3 около 10 ударов в минуту - считали условия труда тяжёлыми, но приводящими к небольшому увеличению температуры тела; а если P1 превышала 90 ударов в минуту, и P1-P3 была меньше 10 ударов в минуту, то считали, что тяжесть работы + тепловой стресс чрезмерны, и требуются корректирующие меры. Работники должны направляться на медосмотр к врачу, а условия работы и график работы дополнительно изучаться.

Результаты исследования, проводившегося на рабочих местах [Jensen and Dukes-Dobos \[1976\]](#) подтвердили, что при превышении ПДУ (при воздействии внешнего нагревающего микроклимата и внутреннего тепловыделения), разработанных ACGIH для длительной работы в условиях перегрева, частота сердечных сокращений P1 и/или оральная температура превысят ПДУ с наибольшей вероятностью. Частота сердечных сокращений, которую легко измерить в производственных условиях, может определяться тогда, когда работник сидит примерно 5 минут (что не слишком сильно отвлекает его от работы). А приборы для измерений (разные носимые электронные измерители частоты пульса) просты и недороги. Измерение частоты сердечных сокращений во время работы и во время отдыха может использоваться для оценки состояния работников ряда специальностей, и позволит выявить ранние симптомы (чрезмерного) теплового стресса. В продаже имеются относительно недорогие и неинвазивные электронные устройства (и некоторые из них используются бегунами и др.). Это позволит работникам проводить самонаблюдение за частотой сердечных сокращений во время работы и отдыха на разных рабочих местах.

9.4.2 Температура тела.

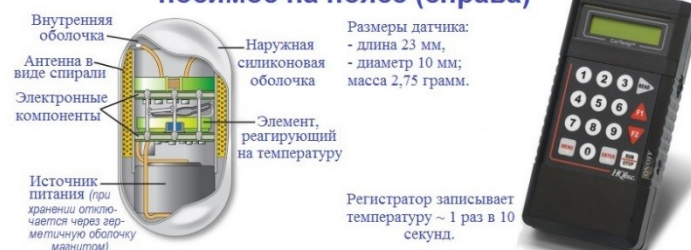
Группа из подразделения Всемирной организации здравоохранения, занимающаяся защитой здоровья людей, работающих в условиях перегрева (*WHO scientific group on Health Factors involved in Working Under Conditions of Heat Stress*) рекомендует (ограничивать воздействие так, чтобы) температура центра тела при ежедневной работе в течение всей смены не превышала 38°C ($100,4^{\circ}\text{F}$), или чтобы оральная температура не превышала $37,5^{\circ}\text{C}$ ($99,5^{\circ}\text{F}$) - хотя известно, что способность разных людей выдерживать воздействие нагревающего микроклимата - очень различна [[Taylor et al. 2008](#)]. Эти ограничения были, в целом, приняты специалистами, работающими в области защиты работников от перегрева. С согласия работников, мониторинг температуры тела может использоваться на разных рабочих местах.

9.4.2.1 Температура центра тела.

Мониторинг температуры центра тела – это прямой, объективный и надёжный способ (оценки перегрева организма). Измерение температуры тела в прямой кишке или в пищеводе может оказаться неприемлемым для работников. Широко используются более современные способы измерений, например – проглатываемый датчик, передающий результат измерений по радио (например, производства *CorTemp*, *HQInc.*, *Palmetto, FL*). недостатком проглатываемых датчиков является

то, что проходит несколько часов, прежде чем они достигнут тонкой кишки (где смогут измерять температуру точно) [[Lee et al. 2000](#); [Williams et al. 2011](#)]. Также нужно сказать, что у разных людей разная способность выдерживать увеличение температуры центра тела T_{re} . Известны случаи, когда у не профессиональных бегунов в конце марафонского забега температура центра тела превышала $T_{re} >41^{\circ}\text{C}$ ($105,8^{\circ}\text{F}$), и температура T_{re} достигала $41,9^{\circ}\text{C}$ ($107,4^{\circ}\text{F}$) у футболистов – без каких-то негативных последствий для здоровья [[Armstrong et al. 2007b](#); [Taylor et al. 2008](#)]. Поэтому ректальная температура T_{re} во время отдыха у людей, способных хорошо переносить перегрев, будет отличаться от такой же температуры у людей, переносящий нагревающий микроклимат хуже (см. [Главы 5 и 9](#) с более подробной информацией).

Датчик CorTemp (слева), записывающее устройство, носимое на поясе (справа)



9.4.2.2 Оральная температура (измеряется во рту).



Измерение оральной температуры несложно – используются недорогие оральные термометры (см. слева). Но для точного измерения нужен строгий контроль за проведением замера. Термометр следует правильно разместить (под язык) на 3-5 минут, и работник должен дышать через нос во время измерений, нельзя пить холодную жидкость или есть холодные продукты хотя бы за 15 минут до замера. Оральный термометр не должен подвергаться

воздействию окружающего воздуха с температурой большей, чем температура во рту - и до замера, и после помещения в рот, до момента снятия показаний. Если замеры проводятся в условиях высокой температуры воздуха, то перед замером термометр должен находиться в охлаждённом контейнере, или погружен в спирт. Обычно оральная температура ниже, чем температура центра тела, на примерно $0,55^{\circ}\text{C}$ ($0,8^{\circ}\text{F}$). При использовании современного цифрового термометра, оральную температуру можно измерить быстрее чем за полминуты, что позволяет избежать некоторых проблем, возникавших при применении спиртовых термометров. Оценка значимости любого полученного значения оральной температуры должна проводиться в соответствии с установленными рекомендациями (медицинскими, и в области гигиены труда).

9.4.2.3 Температура кожи.

Возможность использования температуры кожи (T_{sk}) для определения степени теплового стресса и способности человека выдержать его подкрепляется термодинамикой и результатами исследований в производственных условиях. Для того, чтобы отвести тепло от внутренних органов к коже и затем передать окружающей среде необходим достаточный перепад температур. Если температура кожи возросла, и достигла температуры центра тела, то этот перепад температур снижается, скорость теплоотвода падает, и удаление тепла от центра тела становится меньше. Чтобы обеспечить отвод тепла от центра тела, необходимо увеличение температуры центра тела. Движение горячей крови от центра тела к коже повысит температуру кожи. А увеличение температуры кожи увеличит теплоотдачу в окружающую среду за счёт теплопроводности, конвекции и излучения – как обсуждалось ранее. После отдачи тепла окружающей среде, более холодная кровь движется от кожи к внутренним органам, и снижает их температуру. При некоторых условиях, недостаточный теплоотвод от кожи в окружающую среду может привести к увеличению температуры центра тела. Когда температура центра тела превышает 38°C ($100,4^{\circ}\text{F}$), возрастает риск развития «тепловых» заболеваний.

На основе этой информации было высказано предположение, что для оценки безопасного времени работы в условиях перегрева можно использовать равновесную температуру кожи, измеренную на бедре сбоку, или на грудной клетке [Lampietro 1971; Shvartz and Benor 1972; Goldman 1978, 1981, 1985b, 1985a]. Если условия окружающей среды позволяют, то теплообмен между кожей и окружающей средой происходит без помех, то температура кожи увеличится незначительно (если и возрастёт). Кроме того, в этих условиях поддержание приемлемо низкой температуры центра тела может быть (относительно легко) достигнуто (кроме случая сильного внутреннего теплообразования или нарушения свободной теплопередачи в окружающую среду). А когда теплопередача за счёт конвекции и испарения затруднена (например, при носке изолирующего костюма), то тогда определение интервала времени, за который температура кожи достигнет температуры центра тела, становится приемлемым способом определения безопасной продолжительности работы, и для определения (степени) теплового стресса. Более того, хотя обычно T_{sk} на $2-4^{\circ}\text{C}$ ниже температуры центра тела (T_{core}), можно использовать температуру кожи для оценки температуры центра тела – когда нет других способов это сделать [Lenhardt and Sessier 2006]. Вообще говоря, указанные выше температуры (кожи и центра тела) – это введённые для удобства понятия, так как температура кожи на разных частях тела, и температура разных органов в центре тела не одинакова [Parsons 2003]. Одно численное значение даёт лишь среднюю величину (кожи или центра тела). Ряд специалистов попытался использовать температуру кожи и данные о частоте сердечных сокращений для оценки температуры центра тела, были получены разные результаты. На практике температуру кожи и температуру центра тела следует измерять напрямую, используя методы, описанные в этом документе.

9.4.2.4 Ауральная температура (измеряется в ухе).



ИК-датчик измерения ауральной температуры (в ухе)

Для измерения ауральной температуры используется инфракрасный термометр, устанавливаемый в канал уха. Так как этот термометр не касается барабанной перепонки, то результат его измерений не является точным значением её температуры. Результаты измерений, сделанные в моменты максимальной температуры, следует сравнить со сделанными после работы чтобы это сопоставление позволило выявить перегрев организма из-за выполнения работы (в условиях перегрева). Этот способ измерения температуры

недорогой и неинвазивный, но его эффективность как средства оценки теплового стресса неизвестна, так как он

систематично занижает температуру центра тела [Huggins et al. 2012]. В [таблице 9-1](#) приводится более подробная информация о физиологическом мониторинге.

9.4.3 Обезвоживание.

При работе в условиях нагревающего микроклимата, потовыделение может составлять 6-8 литров за смену, а питьё воды часто может не справляться с возмещением потерь. «Естественного» чувства жажды оказывается недостаточно для того, чтобы побудить нас пить столько воды (или другой жидкости), сколько на самом деле требуется для предотвращения обезвоживания. Если обезвоживание превысит 1,5-2% от массы тела, то способность организма сопротивляться перегреву станет ухудшаться (частота сердечных сокращений и температура тела повысятся, работоспособность снизится) [Greenleaf and Harrison 1986]. Если обезвоживание достигнет 5%, это может привести к ~потере сознания и развитию заболеваний, вызываемых обезвоживанием. Так как при работе в условиях перегрева чувство жажды не обеспечивает питьё достаточно большого количества жидкости, необходимо мотивировать работников пить воду или другую жидкость каждые 15-20 минут. Их температура должна быть ниже 15°C (59°F). Если работа требует повышенной физической активности в условиях перегрева в течение длительного времени (≥ 2 часа), то для профилактики гипонатриемии (снижения концентрации ионов натрия в крови менее 13 мEq/литр), следует использовать специальные спортивные напитки или [Gatorade](#) вместо воды для возмещения потерь электролитов и углеводов с потом [DOD 2003; Montain and Chevront 2008]. Вместо фонтанчиков для питья может быть лучше использовать одноразовую посуду - она показывает, сколько жидкости выпил работник. Для оценки степени обезвоживания можно периодически взвешивать работника в течение дня, или в начале и в конце смены. Работник должен пить достаточно воды - так, чтобы предотвратить снижение массы тела. Но поскольку это может быть не всегда возможно, то на практике приём воды работниками обычно несколько меньше необходимого. См. [раздел 4.1.4.1](#), где более подробно обсуждается водно-солевое равновесие и рекомендуемые способы профилактики обезвоживания.

Таблица 9-1. Примеры физиологического мониторинга, проводимого для профилактики «тепловых» заболеваний

Способ мониторинга	Как проводят измерения	Когда проводят измерения	Дополнительная информация	Недостатки
Наличие в прошлом опыта работы в условиях нагревающего микроклимата.	Опрос работников, заполнение ими вопросников Отчёт врача о результатах медобследования.	До начала работ в условиях перегрева, и перед возобновлением работы после перерыва, рабочие должны быть обследованы врачом.	Случаи ухудшения здоровья из-за перегрева (в прошлом) повышают риск их развития повторно. Может требоваться акклиматизация. Врач должен учесть состояние здоровья, то, какие лекарства принимаются по рецепту и без рецепта, пищевые добавки.	Рабочие могут случайно и/или умышленно умолчать и о случаях тепловых заболеваний в прошлом, и о особенностях своего здоровья, повышающих риск при работе в условиях перегрева
Частота сердечных сокращений ЧСС, пульс.	Подсчёт числа ударов (в минуту) на внутренней стороне запястья. Непрерывное измерение с помощью носимого прибора с датчиком.	Перед началом работы, и во время отдыха (для определения базовых значений); а затем – после работы в условиях перегрева (например - на 1 и 3 минутах после окончания работы). При использовании носимого измерителя – непрерывно во время работы. Показатель перегрева – ЧСС выше, чем 180 минус возраст (лет)	Как только рабочий прекратил работу и начал отдыхать в помещении с кондиционированным воздухом, ЧСС должна быстро снижаться. Если у работника есть заболевания сердечно-сосудистой системы, ЧСС останется несколько повышенной.	На рост ЧСС влияет много факторов (кроме перегрева) – выполнение тяжёлой работы, состояние здоровья и уровень физической подготовки, повышенная температура при простуде, боль от травмы или сердечного приступа, обезвоживание. Лекарства (например – бета блокаторы), заболевания (синусовая барикардия , гипотериоз и др.), кардиостимулятор – могут влиять на ЧСС. Датчик должен быть правильно размещён; при сильном потовыделении контакт с кожей и сбор данных могут нарушиться.
Температура (в целом).			Повышенная температура	При повышении температуры и ЧСС при перегреве,

			показывает, что организм не успевает остыть, или что нарушилась работа его механизма терморегуляции.	снижение ЧСС происходит обычно быстрее, чем снижение температуры.
	Оральная температура - измеряется оральным термометром (во рту).	Базовое значение при отдыхе в помещении с кондиционированным воздухом. Во время ожидаемой максимальной температурой на рабочем месте, или при максимальной физической нагрузке, и потом после прекращения работы.	После выпивания холодной жидкости измеренные значения неточные.	Оральная температура обычно на 0,28°C (0,5°F) ниже реальной температуры центра тела.
	Ауральная температура - измеряется инфракрасным термометром в канале уха – без контакта с барабанной перепонкой.			
	Температура центра тела - измеряется инертным электронным датчиком в желудочно-кишечном тракте, и передаётся по радио.	Непрерывно измеряющие устройства – работают и во время работы, и во время отдыха. Измеритель проглатывается до начала работы и выводится при работе кишечника.	Самая точная информация о температуре тела. У некоторых измерителей есть сигнализация о перегреве сверх допустимого, срабатывает в момент перегрева, позволяет вовремя прекратить работу. У некоторых датчиков анализ замеров возможен только после смены.	Некоторые работники не могут использовать проглатываемые датчики по состоянию здоровья. Датчик проглатывается и запивается водой или проглатывается с едой – чтобы он попал в тонкую кишку из желудка до начала замеров. При выпивании холодной жидкости показания (временно) занижаются, необходимо учитывать это при анализе. Может собрать данные лишь часть смены - при удалении из кишечника.
Масса тела.	Можно использовать точные весы. Желательно использовать весы с цифровым индикатором.	Начальное значение, и сразу после воздействия нагревающего микроклимата.	Потеря веса за день показывает недостаточное возмещение потерь жидкости, что надо больше пить.	Т.к. часть пота остаётся на одежде, то желательно взвешиваться, оставив минимум одежды.
Давление крови.	Автоматические измерители.	Начальное (базовое) значение, и после работы.	При наличии заболеваний сердечно-сосудистой системы давление крови восстанавливается к норме медленнее. У рабочих с такими заболеваниями на давление может влиять положение тела.	Во время замера рука должна быть вытянута, манжета – подходящего размера, ноги не должны пересекаться. На кровяное давление может влиять обезвоживание, необходимо учесть это.
Частота дыхания.	Можно считать вручную с секундомером 1	Начальное базовое значение, и после работы.	При наличии заболеваний сердечно-сосудистой	На частоту дыхания влияют другие физиологические факторы (например,

	минуту.		системы частота дыхания восстанавливается к норме медленнее.	метаболический ацидоз от производства лактата при анаэробной нагрузке). Курение, астма и др. могут повысить частоту дыхания и/или замедлить возврат к базовому значению.
Настороженность, внимательность.	Ухудшение умственной работоспособности, странное поведение, потеря сознания – в условиях перегрева это признаки теплового удара.	Регулярно во время работы, и после работы. При работе с перерывами – проверять в начале и в конце перерыва.	При изменении умственного состояния – рабочих следует немедленно направить в помещение с кондиционированным воздухом, и оказать медицинскую помощь.	Сами пострадавшие от теплового удара не всегда замечают, что пострадали от перегрева. Необходимо организовать работу так, чтобы люди работали с напарником, и присматривали друг за другом.

Источник: [\[OSHA; ACGIH 2014\]](#).

Глава 10. Какие проблемы следует изучить.

За последнее десятилетие было получено много информации о тепловом воздействии на людей, нагрузке на организм при перегреве, влиянии перегрева на здоровье и работоспособность, способах оценки воздействия, и создаваемой им опасности для здоровья. Но несмотря на это, для снижения опасности, создаваемой перегревом работников во время работы, необходимо провести исследования в ещё нескольких областях, относящихся к здоровью и безопасности.

10.1 Длительность воздействия и его характер.

В некоторых отраслях работники подвергаются воздействию нагревающего микроклимата в течение всей смены; а другие работники могут подвергаться воздействию лишь часть смены. В отношении того, как влияет на здоровье и безопасность людей воздействие нагревающего микроклимата (непрерывное в течение всей 8-часовой смены) есть общее мнение специалистов. А в отношении того, какое тепловое воздействие безопасно при работе в нагревающем микроклимате лишь часть смены - много неясного. необходимо выяснить:

- Нужны ли ПДУ для длительности воздействия 1, 2 или 8 часов для оценки риска для здоровья?
- Какова безопасная длительность воздействия при разной степени воздействия (полной тепловой нагрузке)?
- Одинаково ли влияет на здоровье одинаковые тепловые воздействия (непрерывное и с перерывами)?
- Если работник подвергается воздействию перегрева ежедневно (в разной степени, и в течение периодов разной длительности, позволит ли это ему акклиматизироваться (так же, как и тем, кто подвергается воздействию непрерывно и длительное время)?
- При воздействии с перерывами, будут ли проблемы, вызванные обезвоживанием и потерей электролитов такими же, что и работников, подвергающихся постоянному воздействию непрерывно?

10.2 Температура центра тела (ВОЗ).

Согласно рекомендации Научной группы ВОЗ (*WHO Scientific Group*) нежелательно превышение температуры центра тела выше 38°C (100,4°F) при длительном ежедневном воздействии перегрева при выполнении тяжёлой работы [[WHO 1969](#)]; и что при достижении температуры центра тела 39°C (102,2°F) следует прекращать работу в условиях перегрева - даже если проводится непрерывное измерение температуры центра тела. Требуется дополнительная информация:

- Одинаково ли эти ограничения применимы для кратковременного и для длительного воздействия нагревающего микроклимата?
- Имеется ли сильная взаимосвязь между этими значениями и увеличением риска развития «тепловых» заболеваний?
- Какими ограничениями считать эти величины: максимальными, которые не должны превышаться вообще; средними у группы людей; или нижними 95% доверительными пределами?
- Имеет ли значение то, с какой скоростью температура центра тела возрастает до 38 или 39°C (100,4 или 102,2°F) с точки зрения опасности развития тепловых заболеваний?
- Имеет ли значение то, через какой интервал времени температура центра тела достигла 38 или 39°C (100,4 или 102,2°F) - через 1 час при воздействии нагревающего микроклимата; или после более длительного воздействия?

10.3 Обезвоживание организма и потеря электролитов.

Хорошо изучено влияние сильного обезвоживания и значительной потери электролитов на здоровье в условиях воздействия нагревающего микроклимата. А их влияние в случае, когда они развиваются в течение месяцев или лет - неизвестно; и неизвестно, какое влияние оказывает долговременное поступление электролитов в организм (*long-term electrolyte loading*) при наличии и при отсутствии обезвоживания организма или при избыточном содержании воды в организме. Для того, чтобы разработать более приемлемый режим приёма воды и электролитов для случая длительной работы в условиях нагревающего микроклимата, необходимо больше информации и проведение лабораторных и эпидемиологических исследований.

10.4 Влияние хронического воздействия нагревающего микроклимата на здоровье.

Все известные результаты экспериментальных и большинства эпидемиологических исследований влияния нагревающего микроклимата на здоровье относились к случаям сравнительно непродолжительного воздействия - дни или недели; и к случаям острого развития тепловых заболеваний. Мало известно о том, как перегрев влияет на людей, длительно живущих и работающих в условиях нагревающего микроклимата в течение

трудового стажа и всей жизни. Влияет ли такое длительное воздействие на смертность или на заболеваемость? Если у работника были случаи развития «тепловых» заболеваний – влияет ли это на его здоровье в дальнейшем, и на продолжительность жизни? Известно, что люди с некоторыми заболеваниями (диабет, заболевания сердечно-сосудистой системы) переносят перегрев хуже. Если некоторые признаки того, что может быть и обратный эффект: например, при длительном хроническом воздействии нагревающего микроклимата работник может стать более подверженным развитию как острых, так и хронических профессиональных заболеваний [[Redmond et al. 1979](#); [Dukes-Dobos 1981](#)]. Особенно важной проблемой является воздействие хронического перегрева на давление крови, так как люди с повышенным давлением могут придерживаться малосоленой диеты, и принимать мочегонные лекарства. Такие лечебные меры могут быть несовместимы с рекомендациями пить больше жидкости и потреблять больше соли при воздействии нагревающего микроклимата.

10.5 Влияние циркадного ритма (суточные измерения в организме) на устойчивость к перегреву.

Естественные изменения температуры центра тела (за сутки, циркадный ритм) достигают 0,5°C (максимальная после обеда, минимальная рано утром) [[Cheung et al. 2000](#)]. Под влиянием нагревающего микроклимата это изменение возрастает. Кроме того, отчет ВОЗ рекомендует ограничивать температуру центра тела при работе в условиях перегрева в течение 9-часовой смены $\leq 38^{\circ}\text{C}$ ($100,4^{\circ}\text{F}$) [[WHO 1969](#)]. Требуется выяснить:

- Является ли естественное изменение температуры центра тела дополняющим к увеличению из-за перегрева – так, что риск развития заболеваний возрастает?
- Происходит ли суточное изменение устойчивости работника к повышению температуры центра тела (аналогичное); и происходит ли аналогичное изменение риска для здоровья?
- Необходимо ли разработать разные значения ПДУ для дневного и для ночного рабочего времени?

Помимо изменений температуры тела, связанных с циркадным ритмом, на устойчивость человека к перегреву может влиять другое циклическое изменение температуры, возникающее из-за менструального цикла [[McArdle et al. 2010b](#)]. Сейчас неизвестно, как влияет такое изменение температуры центра тела (до 0,5°C в течение суток) на переносимость воздействия нагревающего микроклимата.

10.6 Воздействие нагревающего микроклимата и режим работы.

По оценкам, порядка 30% работников трудятся в режиме, отличающемся от обычного 8-часового рабочего дня (с 9 до 17). Посменная работа, удлиненные рабочие дни при укороченной неделе, выход на сверхурочные работы – всё это влияет на работников, часто приводит к недосыпанию. А то, как эти изменения в ритме жизни влияют на способность выдерживать перегрев – малоизучено. Перед тем, как вводить подобные изменения в режим работы, желательно оценить их возможное влияние на здоровье и безопасность.

10.7 Выявление, лечение и профилактика заболеваний, развивающихся из-за воздействия нагревающего микроклимата.

Приоритетным направлением работ должно стать нахождение способов, позволяющих быстро и точно выявлять тех работников, у которых воздействие нагревающего микроклимата приводит к ухудшению здоровья. Такие способы должны быть недорогими, и их использование позволит проверять группы людей, работающих в условиях перегрева. Также нужно изучить причины, развитие и способы профилактики тепловых судорог.

Необходимо улучшить лечение пострадавших от теплового удара. Необходимо узнать больше о том, почему после некоторого момента, последствия теплового удара становятся необратимыми – это поможет найти способы лечения. Кроме того, необходимо определить, существуют ли какие-то лекарства, которые могут помочь предотвратить воспалительную реакцию тела, нередко приводящую к смерти?

10.8 Влияние глобального изменения климата.

Глобальное изменение климата может оказать сильное влияние на людей, работающих в и вне помещений (сельское хозяйство, рыболовство, строительство и др.). У работников, которые находятся в густонаселённых регионах вблизи экватора, повышенный риск развития тепловых заболеваний и несчастных случаев из-за

изменений температуры и других факторов (низкая зарплата, отсутствие кондиционеров, сдельная оплата труда) [Lucas et al. 2014]. Изменение климата не обязательно создаёт новые опасности, но оно может усугубить, увеличить риск развития и скорость развития, усилить серьёзность уже имеющихся опасностей [Schulte and Chun 2009; Schulte et al. 2015]. Schulte and Chun выявили несколько видов опасностей, создаваемых изменением климата: (1) увеличение температуры (воздуха), (2) загрязнение воздуха, (3) воздействие ультрафиолетового излучения, (4) воздействие негативных погодных факторов, (5) увеличение распространения заболеваний из-за роста числа из переносчиков и расширения их области обитания, (6) перемещение промышленных предприятий и появление новых отраслей промышленности, и (7) изменения в построенных зданиях. На [фиг. 10-1](#) показана взаимосвязь между этими категориями и возможным их влиянием на здоровье работников. Другим последствием изменения климата является уменьшение работоспособности и производительности труда (при воздействии нагревающего микроклимата), что снижает зарплату (а это также негативно влияет на психологическое состояние и имеет экономические последствия) [Kjellstrom 2009; Kjellstrom et al. 2009b; Berry et al. 2010; Kjellstrom et al. 2010; McMichael 2013].

Влияние изменения климата на работников - достаточно новая область проведения исследований. В некоторых случаях негативное влияние изменения климата можно уменьшить за счёт улучшения системы здравоохранения; в других случаях для снижения риска (придётся) проводить политику, направленную на приспособление к новым условиям (*adaptation policies and actions*) [Kjellstrom et al. 2009b; Kjellstrom and Weaver 2009; Nilsson and Kjellstrom 2010]. Так как ожидается, что при климатических переменах с ростом температуры воздуха его влажность не изменится, то может быть, значения ПДУ, разработанные на основе комплексного показателя температуры WBGT, останутся без изменений [Ingram 2002]. Мысль о разработке программы для сбора свидетельств о изменениях климата и здоровье людей была высказана в 1998 г. на встрече [Межправительственной группы экспертов по изменению климата \(Intergovernmental Panel on Climate Change\)](#) и в конечном итоге воплотилась в программу «Негативное воздействие высокой температуры на здоровье и работоспособность» (*Hotspots program*) [Kjellstrom et al. 2009a]. Программа Hotspots – это исследование, которое проводится во многих центрах, и направлено на определение влияния на здоровье работников и на их адаптируемость теплового воздействия на рабочем месте, и возможного влияния глобальных климатических изменений на эти процессы. Программы (такая, как у Hotspots и др. поможет выявить последствия воздействия потепления, и это может быть позволит разработать в будущем новые рекомендации по охране труда в условиях перегрева, и требования законодательства для эффективной защиты работников.

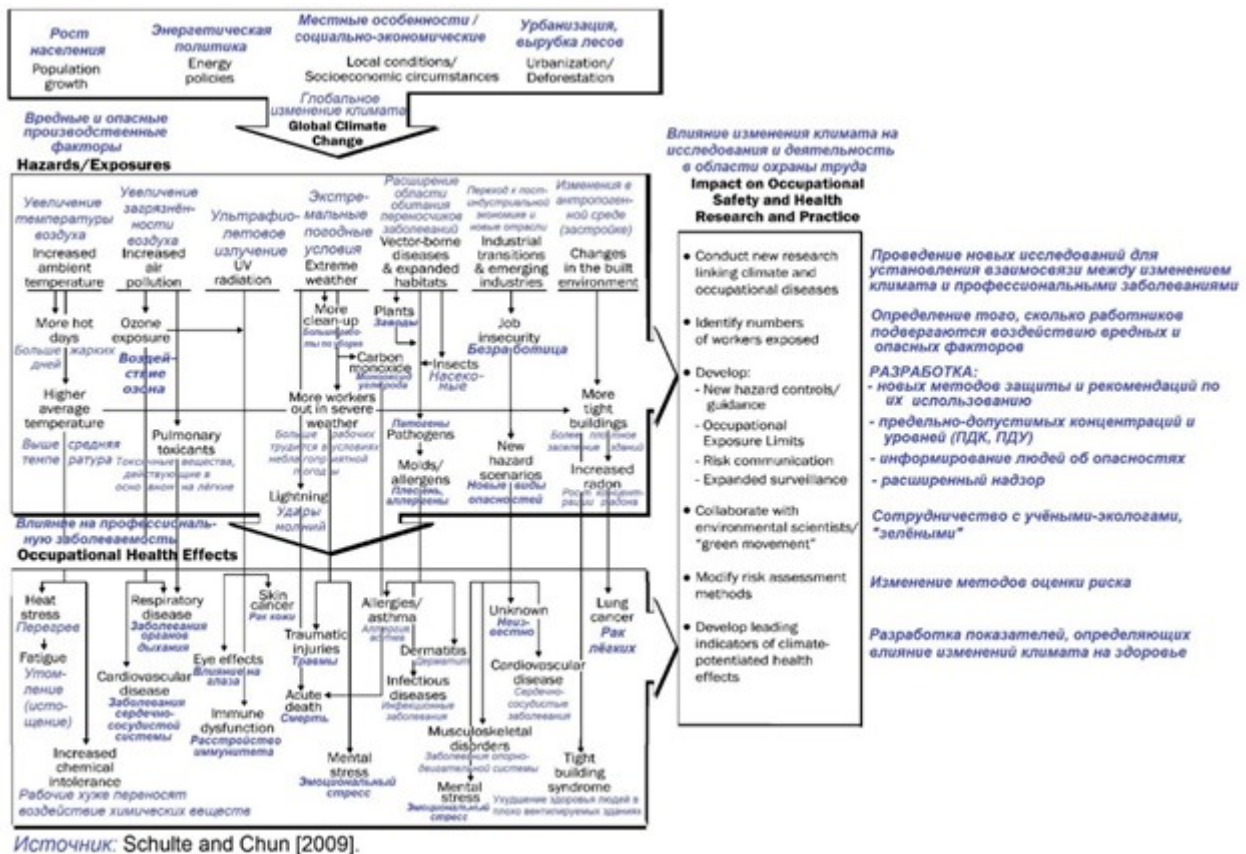
10.9 Влияние нагревающего микроклимата на воздействие токсичных веществ.

Увеличение температуры может повлиять на то, сколько вредных веществ попадёт в организм. Исследования на подопытных животных, проводившиеся с 1990-х, показали, что нагревающий микроклимат способствует попаданию токсичных веществ в организм, усиливает токсическое действие [Leon 2008]. Leon заявил, что изменение температуры центра тела может повлиять на поглощение вредных веществ организмом, их перемещение в организме и выведение из него. Увеличение количества вдыхаемого воздуха может увеличить поступление воздушных загрязнений в организм через органы дыхания; а потовыделение и увеличение потока крови в кровеносных сосудах кожи может повысить поступление некоторых вредных веществ через кожу [Gordon 2003; Leon 2008]. На [фиг. 10-2](#) показано, как нагревающий микроклимат и другие факторы могут повлиять на физиологические реакции при воздействии токсичных веществ.

Исследования на животных показали, как нагревающий микроклимат влияет на поглощение веществ организмом – но эти результаты сложно использовать для оценки такого влияния у людей. В этих исследованиях животные (в основном) были малоподвижны, они акклиматизируются в идеальных условиях окружающей среды, а основной терморегуляторной реакцией их организма на воздействие токсичных веществ становится повышение температуры тела [Gordon 2003; Leon 2008].

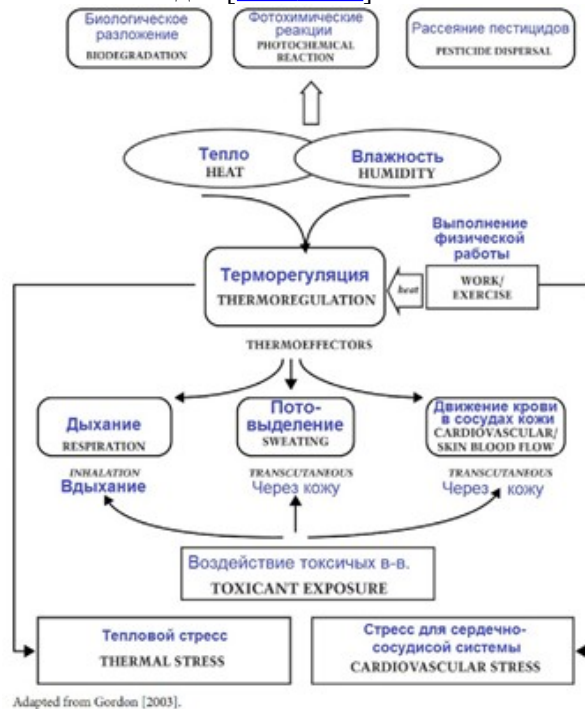
Исследования, проводившиеся как на образцах тканей, так и на живых организмах показали, что тепловой воздействие оказывает влияние на действие токсичных веществ. Например, возрастает поток крови, текущей через кровеносные сосуды кожи, возрастает выделение пота и расход вдыхаемого воздуха. А это увеличивает попадание пестицидов в организм [Gordon and Leon 2005]. [Gordon and Leon \[2005\]](#) также упомянули о модели, использованной в искусственных условиях, которая использовалась для моделирования поглощения пестицида паратион и учёта движения крови, температуры и относительной влажности. Также упоминали исследования, показавшие усиление попадания органофосфорных соединений в организм человека. Для людей, работающих в условиях нагревающего микроклимата, пестициды представляют другую опасность (с ростом температуры увеличивается плотность их пыли, и увеличивается их распространение). Некоторые работники перестают использовать свои СИЗ из-за создаваемого ими сильного дискомфорта в условиях нагревающего микроклимата [Gordon 2003]. Сочетанному воздействию перегрева и токсичных химических веществ могут подвергаться,

например, пожарники, фермеры и сельскохозяйственные работники, строители, работники пищевой промышленности, рабочие промышленных предприятий [Bourbonnais et al. 2013].



Фиг. 10-1. Влияние изменения климата на охрану труда. Источник: [Schulte and Chun \[2009\]](#).

Большая часть информации о свойствах токсичных веществ была получена при проведении экспериментов на животных (которые при этом содержались в комфортных условиях). Поэтому нужно точнее определить то, какой результат будет давать сочетанное воздействие на людей токсичных веществ и нагревающего микроклимата [Gordon 2003; Gordon and Leon 2005]. Из-за изменений климата, и увеличения температуры, возрастает важность и потребность в информации о токсичных веществах и их совместном (с нагревающим микроклиматом) действии на людей [Leon 2008].



Фиг. 10-2. Как температура, влажность, тяжесть выполняемой работы и терморегуляция (организма) влияют на физиологические реакции при воздействии токсичных веществ. Источник: [Gordon \[2003\]](#).

10.10 Другие исследования, которые следует провести.

К таким исследованиям относят (изучение) достоверности и чувствительности способов индивидуального мониторинга, эффективные организационные методы (например, достоинства и содержание обучения), эпидемиологические исследования для оценки (адекватности) ПДУна и ПДУа в условиях, когда результатом теплового воздействия могут стать тепловые заболевания, несчастные случаи, ухудшение производительности труда [Bernard 2014]. Следует разработать более дешёвые СИЗ для защиты здоровья работников. Такие исследования проводятся, и в будущем, несомненно, появятся более совершенные технологии сохранения здоровья работников, а частота смертей, несчастных случаев и «тепловых» заболеваний – снизится.

Литература

- ↑ [1](#) [2](#) [3](#) **ACGIH [1985]**. TLVs®, threshold limit values for chemical substances and physical agents in the work environment and biological exposure indices with intended changes for [1985–86](#). Cincinnati, OH: [American Conference of Governmental Industrial Hygienists](#)
- ↑ [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) [5](#) [6](#) [7](#) [8](#) **ACGIH [2014]**. [TLVs® and BEIs®](#): threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, OH: [American Conference of Governmental Industrial Hygienists](#).
- ↑ **AIHA [1971]**. Ergonomics guide to assessment of metabolic and cardiac costs of physical work. American Industrial Hygiene Association Journal (AIHA & [ACGIH](#)), [Vol. 32\(8\)](#), pp. 560-564. [DOI:10.1080/0002889718506506](#) ISSN 1542-8117
- ↑ [1](#) [2](#) **AIHA [2003]**. DiNardi, Salvatore R., Ed. The occupational environment: its evaluation, control, and management. 2nd ed. Fairfax, VA: AIHA Press, 1344 p. ISBN 9781931504430.
- ↑ **Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR Jr, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS [2011]**. [2011 Compendium of physical activities: a second update of codes and MET values](#). [Medicine & Science in Sports & Exercise](#) Vol. [43\(8\)](#), pp. 1575–1581. [DOI:10.1249/MSS.0b013e31821e1ce12](#), ISSN 0195-9131
- ↑ **Allen RW, Ellis MD, Hart AW [1976]**. Industrial hygiene. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 363 p. ISBN 0134612027.
- ↑ **Almond CS, Shin AY, Fortescue EB, Mannix RC, Wypij D, Binstadt BA, Duncan CN, Olson DP, Salerno AE, Newburger JW, Greenes DS [2005]**. [Hyponatremia among runners in the Boston marathon](#). The New England Journal of Medicine (Massachusetts Medical Society) [Vol. 352\(15\)](#), pp. 1550–1556. [DOI:10.1056/NEJMoa043901](#) ISSN 0028-4793.
- ↑ **Alpers JP, Jones LK Jr [2010]**. [Natural history of exertional rhabdomyolysis: a population-based analysis](#). Muscle & Nerve (Wiley Online Library) [Vol. 42\(4\)](#), pp. 487–491. [DOI:10.1002/mus.21740](#) ISSN 1097-4598.
- ↑ [1](#) **Arbury S, Jacklitsch B, Farquah O, Hodgson M, Lamson G, Martin H, Profitt A, Office of Occupational Health Nursing OSHA [2014]**. [Heat illness and death among workers: United States, 2012–2013](#). Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR), Centers for Disease Control and Prevention (CDC, Atlanta, GA) [Vol. 63\(31\)](#), pp. 661–665.
- ↑ **Armed Forces Health Surveillance Center [2011]**. Surveillance snapshot: reportable medical events of heat injury in relation to heat index, June–September 2011. [Medical Surveillance Monthly Report \(MSMR\)](#), Vol. 18(10), pp. 19. ISSN 2152-8217 [копия](#).
- ↑ **Armed Forces Health Surveillance Center [2014]**. Update: exertional rhabdomyolysis, active component, US Armed Forces, 2009–2013. [Medical Surveillance Monthly Report \(MSMR\)](#), Vol. 21(3), pp. 14-17. ISSN 2152-8217 [копия](#).
- ↑ **Armstrong CG, Kenney WL [1993]**. Effects of age and acclimation on responses to passive heat exposure. Journal of Applied Physiology (American Physiological Society) [Vol. 75\(5\)](#), pp. 2162–2167. [DOI:10.1152/jappl.1993.75.5.2162](#) ISSN 8750-7587.
- ↑ **Armstrong L, Pumerantz A, Fiala K, Roti M, Kavouras S, Casa D, Maresh C [2010]**. [Human hydration indices: acute and longitudinal reference values](#). International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism (Human Kinetics Journals) [Vol. 20\(2\)](#), pp. 145–153. [DOI:10.1123/ijnsnem.20.2.145](#) ISSN 1526-484X.
- ↑ [1](#) [2](#) [3](#) **Armstrong LE, Casa DJ, Maresh CM, Ganio MS [2007a]**. [Caffeine, fluid-electrolyte balance, temperature regulation, and exercise-heat tolerance](#). Exercise and Sport Sciences Reviews (American College of Sports Medicine) [Vol. 35\(3\)](#), pp. 135–140. [DOI:10.1097/jes.0b013e3180a02cc1](#) ISSN 0091-6331.
- ↑ [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) [5](#) **Armstrong LE, Casa DJ, Millard-Stafford M, Moran DS, Pyne SW, Roberts WO [2007b]**. American College of Sports Medicine position stand: [exertional heat illness during training and competition](#). [Medicine & Science in Sports & Exercise \(American College of Sports Medicine\)](#) [Vol. 39\(3\)](#), pp. 556–572. [DOI:10.1249/MSS.0b013e31802fa199](#) ISSN 0195-9131.
- ↑ **Armstrong LE, De Luca JP, Hubbard RW [1990]**. [Time course of recovery and heat acclimation ability of prior exertional heatstroke patients](#). [Medicine & Science in Sports & Exercise \(American College of Sports Medicine\)](#) [Vol. 22\(1\)](#), pp. 36–48. ISSN 0195-9131.
- ↑ **Armstrong LE, Maresh CM, Castellani JW, Bergeron MF, Kenefick RW, LaGasse KE, Riebe D [1994]**. [Urinary indices of hydration status](#). International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism (Human Kinetics Journals) [Vol. 4\(3\)](#), pp. 265–279. [DOI:10.1123/ijns.4.3.265](#) ISSN 1526-484X.
- ↑ **Armstrong LE, Soto JA, Hacker FT Jr, Casa DJ, Kavouras SA, Maresh CM [1998]**. [Urinary indices during dehydration, exercise, and rehydration](#). International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism (Human Kinetics Journals) [Vol. 8\(4\)](#), pp. 345–355. [DOI:10.1123/ijns.8.4.345](#) ISSN 1526-484X.
- ↑ [1](#) **Armstrong LE, Stoppani J [2002]**. [Central nervous system control of heat acclimation adaptations: an emerging paradigm](#). Reviews in the Neurosciences (Walter de Gruyter GmbH & Co.) [Vol. 13\(3\)](#), pp. 271–285. [DOI:10.1515/REVNEURO.2002.13.3.271](#) ISSN 2191-0200.
- ↑ **ASHRAE [1981a]**. [ASHRAE handbook](#): 1981 fundamentals. 4th edition. Atlanta: [The American Society of Heat, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers](#).
- ↑ **ASHRAE [1981b]**. Physiological principles, comfort, and health. In: [ASHRAE handbook](#): 1981 fundamentals. 4th edition. Atlanta: [The American Society of Heat, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers](#).
- ↑ **Åstrand P-O, Rodahl K [1977]**. Textbook of work physiology: physiological bases of exercise. 2nd ed. New York: McGraw-Hill. 681 p. ISBN 9780070024069.
- ↑ [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) [5](#) [6](#) **Åstrand P-O, Rodahl K, Dahl HA, Strømme SB [2003]**. Textbook of work physiology. 4 ed. Champaign, IL: Human Kinetics. 656 p. ISBN 9780736001403 [описание](#).
- ↑ **Avellini BA, Kamon E, Krajewski JT [1980a]**. Physiological responses of physically fit men and women to acclimation to humid heat. Journal of Applied Physiology (American Physiological Society) [Vol. 49\(2\)](#), pp. 254–261. [DOI:10.1152/jappl.1980.49.2.254](#) ISSN 8750-7587.
- ↑ **Avellini BA, Shapiro Y, Pandolf KB, Pimental NA, Goldman RF [1980b]**. Physiological responses of men and women to prolonged dry heat exposure. [Aerospace Medicine and Human Performance / Aviation, Space, and Environmental Medicine \(Aerospace Medical Association\)](#) Vol. 51(10), pp. 1081–1085. ISSN 0095-6562.
- ↑ **Banister EW, Brown SR [1968]**. The relative energy requirements of physical activity, exercise physiology. New York: Academic Press.
- ↑ **Bar-Or O, Lundegren HM, Buskirk ER [1969]**. Heat tolerance of exercising obese and lean women. Journal of Applied Physiology (American Physiological Society) [Vol. 26\(4\)](#), pp. 403–409. [DOI:10.1152/jappl.1969.26.4.403](#) ISSN 8750-7587.
- ↑ [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) **Belding HS [1971]**. Evaluation of stresses of exposure to heat. Pittsburgh: University of Pittsburgh.

- ↑ **1 2 Belding HS [1973]. Chapter 38. Control of exposures to heat and cold.** In: National Institute for Occupational Safety and Health, United States Public Health Service, Division of Occupational Health, eds. The industrial environment: its evaluation & control. 3rd ed. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. DHEW (NIOSH) [Publication No. 74-117](#) pp. 563-572. - 739 p.
- ↑ **Belding HS, Hatch TF [1955].** Index for evaluating heat stress in terms of resting physiological strain. Heating Piping and Air Conditioning (Domestic Engineering Co., Chicago) Vol. 27, pp. 129–135. ISSN 0017-940X.
- ↑ **Benedict RF [1977].** Fundamentals of temperature, pressure and flow measurements. 3 ed. New York: John Wiley and Sons. 560 p. ISBN 978-0-471-89383-7 [описание](#).
- ↑ **Richard A. Berger [1982].** Applied exercise physiology. Philadelphia, PA: Lea & Febiger. 291 p. ISBN 9780812107739.
- ↑ **Berko J, Ingram DD, Saha S, Parker JD [2014].** [Deaths attributed to heat, cold, and other weather events in the United States, 2006–2010.](#) National Health Statistics Reports (Centers for Disease Control and Prevention), Number 76, pp. 1–15. DHHS Publication No. 2014–1250.
- ↑ **Bernard TE [2014].** [Occupational heat stress in USA: whither we go?](#) Industrial Health (National Institute of Occupational Safety and Health, Japan) Vol. 52(1), pp. 1–4. DOI:10.2486/indhealth.100 ISSN 0019-8366.
- ↑ **Bernard TE, Ashley CD [2009].** Short-term heat stress exposure limits based on wet bulb globe temperature adjusted for clothing and metabolic rate. Journal of Occupational and Environmental Hygiene (AIHA & ACGIH) Vol. 6(10), pp. 632–638. DOI:10.1080/15459620903133642 ISSN 1545-9624.
- ↑ **Bernard TE, Barrow CA [2013].** [Empirical approach to outdoor WBGT from meteorological data and performance of two different instrument designs.](#) Industrial Health (National Institute of Occupational Safety and Health, Japan) Vol. 51(1), pp. 79–85. DOI:10.2486/indhealth.2012-0160 ISSN 0019-8366.
- ↑ **Bernard TE, Kenney WL [1994].** Rationale for a personal monitor for heat strain. American Industrial Hygiene Association Journal (AIHA & ACGIH) Vol. 55(6), pp. 505–514. DOI:10.1080/15428119491018772 ISSN 1542-8117.
- ↑ **Bernard TE, Pourmoghani M [1999].** Prediction of workplace wet bulb global temperature. Applied Occupational and Environmental Hygiene (AIHA & ACGIH) Vol. 14(2), pp. 126–134. DOI:10.1080/104732299303296 ISSN 1047-322X.
- ↑ **Berry HL, Bowen K, Kjellstrom T [2010].** Climate change and mental health: a causal pathways framework. International Journal of Public Health Vol. 55(2), pp. 123–132. DOI:10.1007/s00038-009-0112-0 ISSN 1661-8556.
- ↑ **Beshir MY [1981].** A comprehensive comparison between WBGT and Botsball. American Industrial Hygiene Association Journal (AIHA & ACGIH) Vol. 42(2), pp. 81–87. DOI:10.1080/15298668191419406 ISSN 1542-8117.
- ↑ **Beshir MY, Ramsey JD, Burford CL [1982].** Threshold values for Botsball: a field study of ergonomics. Ergonomics (1982) Vol. 25(3), pp. 247–254. DOI:10.1080/00140138208924945 ISSN 0014-0139.
- ↑ **Blazejczyk K, Jendritzky G, Bröde P, Fiala D, Havenith G, Epstein Y, Psikuta A, Kampmann B [2013].** [An introduction to the Universal Thermal Climate Index \(UTCI\).](#) Geographia Polonica (Institute of Geography and Spatial Organization Polish Academy of Sciences), Vol. 86(1), pp. 5–10. DOI:0.7163/GPol.2013.1 ISSN 0016-7282.
- ↑ **1 BLS [2011].** Occupational outlook handbook, 2010–2011. Washington, DC: U.S. Department of Labor, Bureau of Labor Statistics. [публикации](#).
- ↑ **Bosch X, Poch E, Grau JM [2009].** Rhabdomyolysis and acute kidney injury. The New England Journal of Medicine (Massachusetts Medical Society) Vol. 361(1), pp. 62-72. DOI:10.1056/NEJMra0801327 ISSN 0028-4793.
- ↑ **Botsford JH [1971].** A wet globe thermometer for environmental heat measurement. American Industrial Hygiene Association Journal (AIHA & ACGIH) Vol. 32(1), pp. 1–10. DOI:10.1080/0002889718506400 ISSN 1542-8117.
- ↑ **Bourbonnais R, Zayed J, Levesque M, Busque MA, Duguay P, Truchon G [2013].** [Identification of workers exposed concomitantly to heat stress and chemicals.](#) Industrial Health (National Institute of Occupational Safety and Health, Japan) Vol. 51(1), pp. 25–33. DOI:10.2486/indhealth.2012-0095 ISSN 0019-8366.
- ↑ **1 2 Brouha L [1960].** Physiology in industry: evaluation of industrial stresses by the physiological reactions of the worker. New York: Pergamon Press.
- ↑ **1 Brudvig TJ, Fitzgerald PI [2007].** [Identification of signs and symptoms of acute exertional rhabdomyolysis in athletes: a guide for the practitioner.](#) Strength and Conditioning Journal (National Strength and Conditioning Association) Vol. 29(1), pp. 10–14. ISSN 1524-1602.
- ↑ **Burke LM [2008].** Sports supplements debate: a risky practice that produces expensive urine or legitimate performance boosts that can be found in a packet or bottle? In: Taylor NAS, Groeller H, eds. Physiological bases for human performance during work and exercise. Edinburgh: Churchill Livingstone Elsevier. 608 p. ISBN 9780443102714 [описание](#).
- ↑ **Buskirk ER, Bass DE [1980].** Climate and exercise. In: Johnson WR, Buskirk ER, eds. Structural and physiological aspects of exercise and sport. Princeton, NJ: Princeton Book Co.
- ↑ **Cal/OSHA [2010].** [Heat illness prevention campaign: final performance and evaluation report](#), <http://www.dir.ca.gov/DOSH/HeatIllnessCampaign/HeatIllnessPreventionCampaignReport.pdf>.
- ↑ **Canadian Centre for Occupational Health and Safety [2011].** [Thermal comfort for office work](#) .
- ↑ **Candas V, Libert JP, Vogt JJ [1979].** Influence of air velocity and heat acclimation on human skin wettedness and sweating efficiency. Journal of Applied Physiology (American Physiological Society) Vol. 47(6), pp. 1194–1200. DOI:10.1152/jappl.1979.47.6.1194 ISSN 8750-7587.
- ↑ **1 Casa DJ, Csillan D, Armstrong LE, Baker LB, Bergeron MF, Buchanan VM, Carroll MJ, Cleary MA, Eichner ER, Ferrara MS, Fitzpatrick TD, Hoffman JR, Kenefick RW, Klossner DA, Knight JC, Lennon SA, Lopez RM, Matava MJ, O'Connor FG, Peterson BC, Rice SG, Robinson BK, Shriner RJ, West MS, Yeargin SW [2009].** [Preseason heat acclimatization guidelines for secondary school athletics.](#) Journal of Athletic Training (National Athletic Trainers' Association), Vol. 44(3), pp. 332–333. DOI:10.4085/1062-6050-44.3.332 ISSN 1062-6050.
- ↑ **CDC [1990].** [Exertional rhabdomyolysis and acute renal impairment: New York City and Massachusetts, 1988.](#) Morbidity and Mortality Weekly Report (Centers for Disease Control and Prevention) Vol. 39(42), pp. 751-756. ISSN 0149-2195.
- ↑ **CDC [2008].** [Heat-related deaths among crop workers: United States, 1992–2006.](#) Morbidity and Mortality Weekly Report (Centers for Disease Control and Prevention) Vol. 57(24), pp. 649–653. ISSN 0149-2195.
- CDC [2009].** Extreme heat: a prevention guide to promote your personal health and safety. Есть [аналогичный документ 2004 г.](#), 13 стр.
- ↑ **Cena K, Clark JA, Politechnika Wroclawska [1981].** Bioengineering, thermal physiology, and comfort. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Co.; New York: Elsevier/North-Holland, distributor; p. 289. ISBN 044499761X.

- ↑ [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) [5](#) **Cervellini G, Comelli I, Lippi G [2010]**. Rhabdomyolysis: historical background, clinical, diagnostic and therapeutic features. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (Association with the European Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine)*, Vol. [48\(6\)](#), pp. 749–756. DOI:[10.1515/CCLM.2010.151](#) ISSN 1434-6621.
- ↑ **Chang SX, Ge XS [1983]**. Preliminary research in the measurement of the solar radiation by transient technique. *Solar Energy (International Solar Energy Society)*, Vol. [30\(5\)](#), pp. 391–395. DOI:[10.1016/0038-092X\(83\)90107-X](#) ISSN 0038-092X.
- ↑ **Chatzizisis YS, Koskinas KC, Misirlis G, Vaklavas C, Hatzitolios A, Giannoglou GD [2010]**. Risk factors and drug interactions predisposing to statin-induced myopathy: implications for risk assessment, prevention and treatment. *Drug Safety (International Society of Pharmacovigilance)* Vol. [33\(3\)](#), pp. 171–187. DOI:[10.2165/11319380-000000000-00000](#) ISSN 0114-5916.
- ↑ **Chen ML, Chen CJ, Yeh WY, Huang JW, Mao IF [2003]**. Heat stress evaluation and worker fatigue in a steel plant. *American Industrial Hygiene Association Journal (AIHA & ACGIH)*, Vol. [64\(3\)](#), pp. 352–359. DOI:[10.1080/15428110308984827](#) ISSN 1542-8117.
- ↑ **Cheung SS, McLellan TM, Tenaglia S [2000]**. The thermophysiology of uncompensable heat stress: physiological manipulations and individual characteristics. *Sports Medicine* Vol. [29\(5\)](#), pp. 329–359. DOI:[10.2165/00007256-200029050-00004](#) ISSN 0112-1642.
- ↑ **Chung NK, Pin CH [1996]**. [Obesity and the occurrence of heat disorders](#). *Military Medicine (AMSUS, The Society of Federal Health Professionals)* Vol. [161\(12\)](#), pp. 739–742. DOI:[10.1093/milmed/161.12.739](#) ISSN 0026-4075.
- ↑ **Ciricello VM, Snook SH [1977]**. The prediction of WBGT from Botsball. *American Industrial Hygiene Association Journal (AIHA & ACGIH)* Vol. [38\(6\)](#), pp. 264–271. DOI:[10.1080/0002889778507614](#) ISSN 1542-8117.
- ↑ **Clapp JF 3rd [1991]**. The changing thermal response to endurance exercise during pregnancy. *American Journal of Obstetrics and Gynecology* Vol. [165\(11\)](#), pp. 1684–1689. DOI:[10.1016/0002-9378\(91\)90015-J](#) ISSN 0002-9378.
- ↑ **Clarren SK, Smith DW, Harvey MA, Ward RH, Myriantopoulos NC [1979]**. Hyperthermia: a prospective evaluation of a possible teratogenic agent in man [research support: US Public Health Service]. *The Journal of Pediatrics*, Vol. [95\(1\)](#), pp. 81–83. DOI:[10.1016/S0022-3476\(79\)80092-X](#) ISSN 0022-3476.
- ↑ **Coca A, Roberge RJ, Williams WJ, Landsittel DP, Powell JB, Palmiero A [2010]**. Physiological monitoring in fire fighter ensembles: wearable plethysmographic sensor vest versus standard equipment. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene (AIHA & ACGIH)* Vol. [7\(2\)](#), pp. 109–114. DOI:[10.1080/15459620903455722](#) ISSN 1545-9624.
- ↑ **Coolerado Corporation [2012]**. [Psychrometric charts](#). Denver: Coolerado
- ↑ **Cooper KE, Veale WL, Kasting NW [1982]**. Temperature regulation, fever and antipyreics. In: Barnett HJM, ed. *New uses for old drugs*. New York: Raven Press.
- ↑ **Counselman FL, Lo BM [2011]**. Chapter 92: rhabdomyolysis. In: Tintinalli JE, Stapczynski JS, Ma OJ, Cline DM, Cydulka RK, Meckler GD, and Physicians TACoE, eds. *Tintinalli's emergency medicine: a comprehensive study guide*. 7th ed. New York: The McGraw-Hill Companies. 2026 p. ISBN [978-0-07-148480-0](#).
- ↑ **Curriero FC, Heiner KS, Samet JM, Zeger SL, Strug L, Patz JA [2002]**. [Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States](#). *American Journal of Epidemiology (Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health)* Vol. [155\(1\)](#), pp. 80–87. DOI:[10.1093/aje/155.1.80](#) ISSN 0002-9262
- ↑ **Dasler AR [1977]**. Heat stress, work function and physiological heat exposure limits in man. Gaithersburg, MD: National Bureau of Standards. [копия](#).
- ↑ **Davies CTM, Brotherhood JR, Collins KJ, Doré C, Imms F, Musgrove J, Weiner JS, Amin MA, Ismail HM, El Karim M, Omer AHS, Sukkar MY [1976]**. [Energy expenditure and physiological performance of Sudanese cane cutters](#). *British Journal of Industrial Medicine (British Medical Association)*, Vol. [33\(3\)](#), pp. 181–186. DOI:[10.1136/oem.33.3.181](#) ISSN 0007-1072.
- ↑ **de Carvalho JF, da Mota LM, Bonfa E [2011]**. Fatal rhabdomyolysis in systemic lupus erythematosus. *Rheumatology International (Springer Nature)*, Vol. [31\(9\)](#), pp. 1243–1245. DOI:[10.1007/s00296-010-1674-0](#) ISSN 0172-8172.
- ↑ **Dehoney S, Wellein M [2009]**. Rhabdomyolysis associated with the nutritional supplement hydroxycut. *American Journal of Health-System Pharmacy (American Society of Health-System Pharmacists)* Vol. [66\(2\)](#), pp. 142–148. DOI:[10.2146/ajhp070640](#) ISSN 1079-2082
- ↑ **DiBenedetto JP, Worobec SM [1985]**. Exposure to hot environments can cause dermatological problems. *Occupational health & safety (Waco, Tex.)*, Vol. [54\(1\)](#), pp. 35–38. ISSN 0362-4064.
- ↑ **Dinman BD, Horvath SM [1984]**. Heat disorders in industry: a reevaluation of diagnostic criteria. *Journal of Occupational and Environmental Medicine (American College of Occupational and Environmental Medicine)* Vol. [26\(7\)](#), pp. 489–495. ISSN 1076-2752.
- ↑ **Do KD, Bellabarba C, Bhananker SM [2007]**. Exertional rhabdomyolysis in a bodybuilder following overexertion: a possible link to creatine overconsumption. *Clinical Journal of Sport Medicine* Vol. [17\(1\)](#), pp. 78–79. DOI:[10.1097/JSM.0b013e31802b4fc8](#) ISSN 1050-642X.
- ↑ **DOD [1980]**. Occupational and environmental health: prevention, treatment, and control of heat injury. Washington, DC: Departments of the U.S. Army, Navy, and Air Force.
- ↑ [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) [5](#) [6](#) [7](#) [8](#) [9](#) [10](#) [11](#) [12](#) [13](#) [14](#) [15](#) [16](#) [17](#) [18](#) [19](#) [20](#) [21](#) [22](#) [23](#) [24](#) [25](#) [26](#) [27](#) [28](#) [29](#) [30](#) [31](#) **DOD [2003]**. Technical bulletin: [heat stress control and heat casualty management](#). TB MED 507/AFPAM 48-152 (I). Washington, DC: Departments of the U.S. Army, Navy, and Air Force. 72 p..
- ↑ **Drinkwater BL, Denton JE, Kupprat IC, Talag TS, Horvath SM [1976]**. Aerobic power as a factor in women's response to work in hot environments. *Journal of Applied Physiology (American Physiological Society)* Vol. [41\(6\)](#), pp. 815–821. DOI:[10.1152/jappl.1976.41.6.815](#) ISSN 8750-7587.
- ↑ [1](#) [2](#) **Drinkwater BL, Horvath SM [1979]**. [Heat tolerance and aging](#). *Medicine and Science in Sports (American College of Sports Medicine)* Vol. [11\(1\)](#), pp. 49-55. ISSN 0195-9131.
- ↑ **Duffie JA, Beckman WA [1980]**. *Solar engineering of thermal processes*. New York: Wiley. 762 p. ISBN 0471050660.
- ↑ [1](#) [2](#) **Dukes-Dobos FN [1981]**. [Hazards of heat exposure: a review](#). *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health (Nordic Association of Occupational Safety and Health)* Vol. [7\(2\)](#), pp. 73–83. DOI:[10.5271/sjweh.2560](#) ISSN 0355-3140.
- ↑ [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) **Dukes-Dobos FN, Henschel A [1973]**. Development of permissible heat exposure limits for occupational work. ASHRAE, *Journal of the American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, Vol. [15\(9\)](#), pp. 57–62. ISSN 0001-2491.
- ↑ [1](#) [2](#) **Edwards MJ [2006]**. Review: hyperthermia and fever during pregnancy. *Birth defects research. Part A, Clinical and molecular teratology* Vol. [76\(7\)](#), pp. 507–516. DOI:[10.1002/bdra.20277](#) ISSN 1542-0760

- ↑ 1 Ellis FP [1972]. Mortality from heat illness and heataggravated illness in the United States. *Environmental Research* (1972) [Vol. 5\(1\)](#), pp. 1–58. [DOI:10.1016/0013-9351\(72\)90019-9](#) ISSN 0013-9351
- ↑ 1 2 Ely BR, Ely MR, Chevront SN [2011]. Marginal effects of a large caffeine dose on heat balance during exercise heat stress. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* (Human Kinetics Publishers), [Vol. 21\(1\)](#), pp. 65–70. [DOI:10.1123/ijsnem.21.1.65](#) ISSN 1526-484X.
- ↑ 1 EPA [1993]. [A guide to heat stress in agriculture](#). EPA-750-b-92-001. Washington, DC: US Environmental Protection Agency.
- ↑ Epstein Y, Albuqrek D, Kalmovits B, Moran DS, Shapiro Y [1997]. Heat intolerance induced by antidepressants [case report]. *Annals of the New York Academy of Sciences* (New York Academy of Sciences) [Vol. 813\(1\)](#), pp. 553–558. [DOI:10.1111/j.1749-6632.1997.tb51746.x](#) ISSN 0077-8923.
- ↑ Food and Nutrition Board, Institute of Medicine [2004]. *Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate*. Washington, DC: The National Academies Press. 638 p. [ISBN 0-309-09158-6](#) - [онлайн](#); [PDF](#).
- ↑ Frye AJ, Kamon E [1981]. Responses to dry heat of men and women with similar aerobic capacities. *Journal of Applied Physiology* (American Physiological Society) [Vol. 50\(1\)](#), pp. 65–70. [DOI:10.1152/jappl.1981.50.1.65](#) ISSN 8750-7587.
- ↑ 1 2 3 4 Fuller FH, Smith PE Jr [1980]. The effectiveness of preventive work practices in a hot workshop. No. 81-108. Presented at the [NIOSH Workshop on Recommended Heat Stress Standards \(1981\)](#), Cincinnati, OH. DHHS (NIOSH) Publication No. 81-108, 182 p.
- ↑ 1 2 3 4 Fuller FH, Smith PE Jr [1981]. Evaluation of heat stress in a hot workshop by physiological measurements. *American Industrial Hygiene Association Journal* (AIHA & ACGIH) [Vol. 42\(1\)](#), pp. 32–37. [DOI:10.1080/15298668191419316](#) ISSN 1542-8117.
- ↑ Gagge AP [1970]. Effects of radiant flux, an independent variable that describes thermal radiation on man physiological and behavioral temperature regulation. In: Hardy JD, Gagge, AP, Stolwijk JAJ (eds) *Physiological and behavioral temperature regulation*. Springfield, IL: Charles C Thomas, 944 p.
- ↑ 1 Gagnon D, Kenny GP [2011]. [Sex modulates whole-body sudomotor thermosensitivity during exercise](#). *The Journal of Physiology* (The Physiological Society) [Vol. 589\(24\)](#), pp. 6205–6217. [DOI:10.1113/jphysiol.2011.219220](#) ISSN 1469-7793.
- ↑ 1 Gardner JW, Kark JA [1994]. Fatal rhabdomyolysis presenting as mild heat illness in military training. *Military medicine* (AMSUS, The Society of Federal Health Professionals) [Vol. 159\(2\)](#), pp. 160–163. [DOI:10.1093/milmed/159.2.160](#) ISSN 0026-4075.
- ↑ 1 Garg A [1982]. Treatise on solar energy. In: *Fundamentals of solar energy*. Vol. 1. New York: John Wiley and Sons. 587 p. [ISBN 9780471101802](#).
- ↑ Garg A, Chaffin DB, Herrin GD [1978]. Prediction of metabolic rates for manual materials handling jobs. *American Industrial Hygiene Association Journal* (AIHA & ACGIH) [Vol. 39\(8\)](#), pp. 661–674. [DOI:10.1080/0002889778507831](#) ISSN 1542-8117.
- ↑ 1 George M, Delgaudio A, Salhanick SD [2010]. Exertional rhabdomyolysis: when should we start worrying? Case reports and literature review. *Pediatric Emergency Care* (Lippincott Williams & Wilkins), [Vol. 26\(11\)](#), pp. 864–866. [DOI:10.1097/PEC.0b013e3181f9dcd1](#) ISSN 0749-5161.
- ↑ Gisolfi CV [2000]. [Is the GI system built for exercise?](#) *News in Physiological Sciences / Physiology* (The American Physiological Society), [Vol. 15\(3\)](#), pp. 114–119. [DOI:10.1152/physiologyonline.2000.15.3.114](#) ISSN 0886-1714.
- ↑ Givoni B, Rim Y [1962]. Effect of the thermal environment and psychological factors upon subjects' responses and performance of mental work. *Ergonomics* (1962) [Vol. 5\(1\)](#), pp. 99–119. [DOI:10.1080/00140136208930562](#) ISSN 0014-0139.
- ↑ 1 Golden JS, Hartz D, Brazel A, Lubert G, Phelan P [2008]. A biometeorology study of climate and heat-related morbidity in Phoenix from 2001 to 2006. *International Journal of Biometeorology* (International Society of Biometeorology) [Vol. 52\(6\)](#), pp. 471–480. [DOI:10.1007/s00484-007-0142-3](#) ISSN 0020-7128.
- ↑ 1 2 3 4 Goldman RF [1973]. Clothing, its physiological effects, adequacy in extreme thermal environments, and possibility of future improvements. *Archives des sciences physiologiques Centre national de la recherche scientifique*, Paris) [Vol. 27\(2\)](#), pp. 137–147. ISSN 0003-9713.
- ↑ 1 2 Goldman RF [1978]. Prediction of human heat tolerance. In: Folinsbee, Lawrence J., ed. *Environmental stress: individual human adaptations*. New York: Academic Press. 372 p. [ISBN 9781299553934](#).
- ↑ 1 2 3 4 5 6 7 8 Goldman RF [1981]. Evaluating the effects of clothing on the wearer. In: Cena K, Clark JA, Politechnika Wrocawska, eds. *Bioengineering, thermal physiology, and comfort*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Co.; New York: Elsevier/North-Holland, distributor. 288 p. [ISBN 9780080874692](#).
- ↑ 1 2 3 4 Goldman RF [1985a]. Heat stress in industrial protective encapsulating garments. In: Levine SP, Martin WF, eds. *Protecting Personnel at Hazardous Waste Sites*. Vol. 10. Boston: Butterworth Publishers. [http://b-ok.xyz/book/2280368/29f2d8ISBN 0-7506-9457-2](#)
- ↑ 1 2 Goldman RF [1985b]. Personal protective equipment. In: Levine SP, Martin WF, eds. *Protecting personnel at hazardous waste sites*. Vol. 10. Boston: Butterworth Publishers. [http://b-ok.xyz/book/2280368/29f2d8 ISBN 0-7506-9457-2](#)
- ↑ 1 González-Alonzo J, Eiken O, Mekjavic IB [2008]. A critical core temperature and the significance of absolute work rate. In: Taylor NAS, Groeller H, eds. *The physiological bases of human performance during work and exercise*. Edinburgh: Churchill Livingstone Elsevier. 608 p. [ISBN 9780443102714](#)
- ↑ Gonzalez RR, Berglund LG, Gagge AP [1978]. Indices of thermoregulatory strain for moderate exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology* (American Physiological Society) [Vol. 44\(6\)](#), pp. 889–899. [DOI:10.1152/jappl.1978.44.6.889](#) ISSN 8750-7587.
- ↑ 1 2 3 4 5 Gordon CJ [2003]. Role of environmental stress in the physiological response to chemical toxicants. *Environmental Research* (2003) [Vol. 92\(1\)](#), pp. 1–7. [DOI:10.1016/S0013-9351\(02\)00008-7](#) ISSN 0013-9351
- ↑ 1 2 3 Gordon CJ, Leon LR [2005]. Thermal stress and the physiological response to environmental toxicants. *Reviews on Environmental Health* (Walter de Gruyter) [Vol. 20\(4\)](#), pp. 235–263. [DOI:10.1515/REVEH.2005.20.4.235](#) ISSN 0048-7554
- ↑ Grayson J, Kuehn LA [1979]. Heat transfer and heat loss. In: Peter Lomax, Eduard Schönbaum, eds. *Body temperature, regulation, drug effects, and therapeutic implications*. New York: Dekker. 664 p. [ISBN 9780824766559](#)
- ↑ 1 Greenleaf JE [1979]. Hyperthermia and exercise. *International review of physiology* (University Park Press, Baltimore, MD) [Vol. 20](#):157–208. ISSN 0363-3918 [Referat](#)
- ↑ 1 2 3 4 Greenleaf JE, Harrison MH [1986]. Chapter 8. Water and electrolytes. In: D.K. Layman ed. *Nutrition and aerobic exercise*. ACS (American Chemical Society) Symposium Series, Vol. 294, pp. 107–124. [DOI:10.1021/bk-1986-0294.ch008](#) American Chemical Society, Washington, DC, 1986. [ISBN 9780841209497](#).
- ↑ Haller PR [2011]. Compartment syndrome. In: Tintinalli JE, Stapczynski JS, Ma OJ, Cline DM, Cydulka RK, Meckler GD, Physicians TACoE, eds. *Tintinalli's emergency medicine: a comprehensive study guide*. 7th ed. New York: The McGraw-Hill Companies. 2026 p. [ISBN 978-0-07-148480-0](#)

- ↑ **Hancock PA [1981]**. Heat stress impairment of mental performance: a revision of tolerance limits. [Aerospace Medicine and Human Performance / Aviation, Space, and Environmental Medicine \(Aerospace Medical Association\) Vol. 52\(3\)](#), pp. 177–180. ISSN 0095-6562
- ↑ **1 2 Hancock PA [1982]**. Task categorization and the limits of human performance in extreme heat. [Aerospace Medicine and Human Performance / Aviation, Space, and Environmental Medicine \(Aerospace Medical Association\) Vol. 53\(8\)](#), pp. 778–784. ISSN 0095-6562
- ↑ **1 Havenith G [1999]**. [Heat balance when wearing protective clothing](#). The Annals of Occupational Hygiene (British Occupational Hygiene Society) [Vol. 43\(5\)](#), pp. 289–296. DOI:10.1093/annhyg/43.5.289 ISSN 0003-4878
- ↑ **Heat Stress Management Program** for the Nuclear Power Industry: Interim Report [1986]. Authors: Bernard, T.E.; Kenney, W.L.; Balint, L. Report prepared for the Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA. Report Number(s): EPRI-NP-4453 ON: TI86920172 [Abstract](#)
- ↑ **1 2 Hellon RF, Lind AR [1958]**. [The influence of age on peripheral vasodilatation in a hot environment](#). The Journal of Physiology (The Physiological Society) [Vol. 141\(2\)](#), pp. 262–272. DOI:10.1113/jphysiol.1958.sp005971 ISSN 1469-7793
- ↑ **Henderson J, Baker HW, Hanna PJ [1986]**. Occupation-related male infertility: a review. Clinical reproduction and fertility [Vol. 4\(2\)](#), pp. 87–106. ISSN 0725-556X [Ссылка](#)
- ↑ **1 2 Henschel A [1967]**. Obesity as an occupational hazard. Canadian Journal of Public Health (Canadian Public Health Association) [Vol. 58\(11\)](#), pp. 491–493. ISSN 0319-2652
- ↑ **Henschel A [1971]**. The environment and performance. In: Simonson E, ed. Physiology of work capacity and fatigue. Vol. 14. Springfield, IL: Charles C Thomas. 569 p.
- ↑ **1 Henschel A, Burton LL, Margolies L, Smith JE [1969]**. An analysis of the heat deaths in St. Louis during July, 1966. American Journal of Public Health (American Public Health Association) [Vol. 59\(12\)](#), pp. 2232–2242. DOI:10.2105/AJPH.59.12.2232 ISSN 0090-0036
- ↑ **Herman RM, Brower JB, Stoddard DG, Casano AR, Targovnik JH, Herman JH, Tearse P [2007]**. [Prevalence of somatic small fiber neuropathy in obesity](#). International Journal of Obesity (Nature Publishing Group Lond) [Vol. 31\(2\)](#), pp. 226–235. DOI:10.1038/sj.ijo.0803418 ISSN 0307-0565
- ↑ **Horvath SM [1985]**. Hot and cold environments. In: Cralley and Cralley, eds. Patty's industrial hygiene and toxicology. 2nd ed. 1546 p. John Wiley Interscience Publications, Washington, New York, London.
- ↑ **HSDB [2011]**. [Caffeine](#) (CAS No. 58-08-2). [Hazardous Substance Data Bank](#) (National Library of Medicine, NLM).
- ↑ **1 Huerta-Alardin AL, Varon J, Marik PE [2005]**. [Bench-to-bedside review: rhabdomyolysis. An overview for clinicians](#). Critical Care, [Vol. 9\(2\)](#), pp. 158–169. DOI:10.1186/cc2978 ISSN 1364-8535
- ↑ **Huggins R, Glaviano N, Negishi N, Casa DJ, Hertel J [2012]**. [Comparison of rectal and aural core body temperature thermometry in hyperthermic, exercising individuals: a meta-analysis](#). Journal of Athletic Training (National Athletic Trainers Association), [Vol. 47\(3\)](#), pp. 329–338. DOI:10.4085/1062-6050-47.3.09 ISSN 1947-380X.
- ↑ **Iampietro PF [1971]**. Use of skin temperature to predict tolerance to thermal environments. Aerospace medicine (Aerospace Medical Association) [Vol. 42\(4\)](#), pp. 396–399. ISSN 0001-9402
- ↑ **Inbar O, Morris N, Epstein Y, Gass G [2004]**. [Comparison of thermoregulatory responses to exercise in dry heat among prepubertal boys, young adults and older males](#). Experimental Physiology (The Physiological Society), [Vol. 89\(6\)](#), pp. 691–700. DOI:10.1113/expphysiol.2004.027979 ISSN 1469-445X
- ↑ **Ingram WJ [2002]**. [On the robustness of the water vapor feedback: gcm vertical resolution and formulation](#). Journal of Climate (American Meteorological Society) [Vol. 15\(9\)](#), pp. 917–921. DOI:10.1175/1520-0442(2002)015<0917:OTROTW>2.0.CO;2 ISSN 0894-8755
- ↑ **1 Inoue Y, Havenith G, Kenney WL, Loomis JL, Buskirk ER [1999]**. Exercise- and methylcholine-induced sweating responses in older and younger men: effect of heat acclimation and aerobic fitness. International Journal of Biometeorology (International Society of Biometeorology) [Vol. 42\(4\)](#), pp. 210–216. DOI:10.1007/s004840050107 ISSN 0020-7128
- ↑ **1 ISO [1982a]**. Hot environments: estimation of heat stress on working man based on the WBGT index (ISO 7243). Geneva: ISO. [описание содержания на английском](#)
- Документ адаптирован в РФ как [ГОСТ Р ИСО 7243-2007](#) Термальная среда. Расчет тепловой нагрузки на работающего человека, основанный на показателе WBGT (температура влажного шарика психрометра). Москва, Стандартинформ (2008) - 16 с
- ↑ **1 2 3 4 ISO [1982b]**. Thermal environments: analytical determination of thermal stress (ISO/DP7933). Geneva: ISO.
- Документ адаптирован в РФ как [ГОСТ Р ИСО 57794-2017](#) Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация теплового стресса с использованием расчета прогнозируемой тепловой нагрузки (ISO 7933:2004, MOD). Москва, Стандартинформ (2017) - 36 с
- ↑ **1 2 3 ISO [1989]**. Hot environments: estimation of heat stress on working man based on the WBGT Index (ISO 7243). Geneva: ISO.
- Документ адаптирован в РФ как [ГОСТ Р ИСО 7243-2007](#) Термальная среда. Расчет тепловой нагрузки на работающего человека, основанный на показателе WBGT (температура влажного шарика психрометра). Москва, Стандартинформ (2008) - 16 с.
- ↑ **1 2 ISO [1990a]**. Ergonomics of the thermal environment—Determination of metabolic rate (ISO 8996). Geneva: ISO.
- Документ адаптирован в РФ как [ГОСТ Р ИСО 8996-2008](#) Эргономика термальной среды. Определение скорости обмена веществ. Москва, Стандартинформ (2008) - 24 с.
- ↑ **ISO [1990b]**. Solar energy. Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation (ISO 9060:2003). Geneva: ISO. Название на русском языке: ISO 9060:1990 Энергия солнечная. Технические требования и классификация приборов для измерения полусферической и прямой солнечной радиации.
- ↑ **1 ISO [1993]**. Evaluation of cold environments: determination of required clothing insulation (IREQ) (ISO TR 11079). Geneva: ISO.
- Документ адаптирован в РФ как [ГОСТ Р ИСО 11079-2015](#) Эргономика термальной среды. Определение холодного стресса и его интерпретация на основе показателей требуемой термоизоляции одежды и локального охлаждающего воздействия. Москва, Стандартинформ (2015) - 39 с.
- ↑ **ISO [2004a]**. Ergonomics: evaluation of thermal strain by physiological measurements (Standard No. ISO 9886). Geneva: ISO.
- Документ адаптирован в РФ как [ГОСТ Р ИСО 9886-2008](#) Эргономика термальной среды. Оценка температурной нагрузки на основе физиологических измерений. Москва, Стандартинформ (2008) - 20 с.
- ↑ **1 2 ISO [2004b]**. Ergonomics of the thermal environment: analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain (Standard No. ISO 7933). Geneva: ISO.

Документ адаптирован в РФ как [ГОСТ Р ИСО 57794-2017](#) Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация теплового стресса с использованием расчета прогнозируемой тепловой нагрузки (ISO 7933:2004, MOD). Москва, Стандартинформ (2017) - 36 с.

↑ [1 ISO \[2004c\]](#). Ergonomics of the thermal environment: determination of metabolic rate (Standard No. ISO 8996). Geneva: ISO. [Описание содержания стандарта его разработчиком](#).

Документ адаптирован в РФ как [ГОСТ Р ИСО 9886-2008](#) Эргономика термальной среды. Оценка температурной нагрузки на основе физиологических измерений. Москва, Стандартинформ (2008) - 20 с.

↑ [1 ISO \[2007\]](#). Ergonomics of the thermal environment: estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble (Standard No. ISO 9920). Geneva: ISO.

↑ [ISO \[2012\]](#). International organization for standardization: home page, <http://www.iso.org/iso/home.htm>. Geneva: ISO.

↑ [Jackson EK \[2006\]](#). Renin and angiotensin. In: Brunton LL, Lazo JS, Parker KL, eds. Goodman & Gilman's [The Pharmacological Basis of Therapeutics](#). 11th ed. New York: McGraw-Hill. 2021 p. ISBN 0-07-142280-3. Есть 12 издание [онлайн](#)

↑ [Japan Society for Occupational Health \[2005\]](#). Recommendation of occupational exposure limits 2005–2006. [Journal of Occupational Health](#) (Japan Society for Occupational Health) Vol. 47(4), pp. 354–370. ISSN 1341-9145

↑ [Jensen RC, Dukes-Dobos FN \[1976\]](#). Validation of proposed limits for exposure to industrial heat. Presented at the Standards of Occupational Exposure to [Hot Environments conference \(Symposium\)](#), February 27-28, 1973, Pittsburgh, Pennsylvania. HEW (NIOSH) Publication No. 76-100. 204 p.

↑ [Johnson AT, Kirk GD \[1980\]](#). Correlation of WBGT and Botsball sensors. American Industrial Hygiene Association Journal (AIHA & [ACGIH](#)) Vol. 41(5), pp. 361–366. [DOI:10.1080/15298668091424889](#) ISSN 1542-8117

↑ [1 2 Joy RJ, Goldman RF \[1968\]](#). A method of relating physiology and military performance: a study of some effects of vapor barrier clothing in a hot climate. Military medicine (AMSUS, The Society of Federal Health Professionals) Vol. 133(6), pp. 458–470. [DOI: 10.1093/milmed/133.6.458](#) ISSN 0026-4075

↑ [Jung A, Schuppe HC \[2007\]](#). Influence of genital heat stress on semen quality in humans. [review]. [Andrologia](#) (Wiley-Blackwell Verlag GmbH) Vol. 39(6), pp. 203–215. [DOI:10.1111/j.1439-0272.2007.00794.x](#) ISSN 0303-4569

↑ [1 Kamon E, Avellini B \[1979\]](#). Wind speed limits to work under hot environments for clothed men. [Journal of Applied Physiology](#) (American Physiological Society) Vol. 46(2), pp. 340–345. [DOI:10.1152/jappl.1979.46.2.340](#) ISSN 8750-7587

↑ [Kamon E, Ryan C \[1981\]](#). Effective heat strain index using pocket computer. American Industrial Hygiene Association Journal (AIHA & [ACGIH](#)) Vol. 42(8), pp. 611–615. [DOI:10.1080/15298668191420369](#) ISSN 1542-8117

↑ [Kandel E, Schwartz J \[2013\]](#). [Principles of neural science](#). 5th ed. New York: McGraw-Hill Education. 1414 p. ISBN 978-0071390118.

↑ [Karpovich PV, Sinning WE \[1971\]](#). Physiology of muscular activity. Philadelphia: Saunders.

[Kenefick RW, Cheuvront SN, Palombo LF, Ely BR, Sawka MS \[2010\]](#). [Skin temperature modifies the impact of hypohydration on aerobic performance](#). [Journal of Applied Physiology](#) (American Physiological Society) Vol. 109(1), pp. 79–86. [DOI:10.1152/japplphysiol.00135.2010](#) ISSN 8750-7587

↑ [Kenney WL, Tankersley CG, Newswanger DL, Hyde DE, Puhl SM, Turner NL \[1990\]](#). Age and hypohydration independently influence the peripheral vascular response to heat stress. [Journal of Applied Physiology](#) (American Physiological Society) Vol. 68(5), pp. 1902–1908. [DOI:10.1152/jappl.1990.68.5.1902](#) ISSN 8750-7587

↑ [Kenny GP, Webb P, Ducharme MB, Reardon FD, Jay O \[2008\]](#). [Calorimetric measurement of postexercise net heat loss and residual heat storage](#). [Medicine & Science in Sports & Exercise](#) (American College of Sports Medicine) Vol. 40(9), pp. 1629–1636. [DOI: 10.1249/MSS.0b013e31817751cb](#) ISSN 0195-9131

↑ [1 2 3 4 5 6 Kenny GP, Yardley J, Brown C, Sigal RJ, Jay O \[2010\]](#). [Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases](#). [Canadian Medical Association Journal](#) (Canadian Medical Association) Vol. 182(10), pp. 1053–1060. [DOI:10.1503/cmaj.081050](#) ISSN 0820-3946

↑ [1 2 Kerslake DM \[1972\]](#). The stress of hot environments. Cambridge: University Press. 316 p. ISBN 0521083435

↑ [1 2 3 Khagali M, Hayes JSR \[1983\]](#). Heatstroke and temperature regulation. Sydney: Academic Press. 312 p. ISBN 9780124061804

↑ [1 Khan FY \[2009\]](#). [Rhabdomyolysis: a review of the literature](#). [The Netherlands Journal of Medicine](#) (Netherlands Association of Internal Medicine) Vol. 67(9), pp. 272–283. ISSN 0300-2977

↑ [Khogali M \[1983\]](#). Epidemiology of heat illnesses during the Makkah Pilgrimages in Saudi Arabia. [International Journal of Epidemiology](#) (Oxford University Press) Vol. 12(3), pp. 267–273. [DOI:10.1093/ije/12.3.267](#) ISSN 0300-5771

↑ [Khogali M \[1997\]](#). Heat illness alert program: practical implications for management and prevention. [Annals of the New York Academy of Sciences](#) (New York Academy of Sciences) Vol. 813(1), pp. 526–533. [DOI:10.1111/j.1749-6632.1997.tb51742.x](#) ISSN 0077-8923

↑ [Kilbourne EM, Choi K, Jones TS, Thacker SB \[1982\]](#). Risk factors for heatstroke: a case-control study. [Journal of the American Medical Association](#) (American Medical Association) Vol. 247(24), pp. 3332–3336. [DOI:10.1001/jama.1982.03320490030031](#) ISSN 0098-7484

↑ [Kim JH, Coca A, Williams WJ, Roberge RJ \[2011\]](#). Effects of liquid cooling garments on recovery and performance time in individuals performing strenuous work wearing a fire fighter ensemble. [Journal of Occupational and Environmental Hygiene](#) (AIHA & [ACGIH](#)) Vol. 8(7), pp. 409–416. [DOI:10.1080/15459624.2011.584840](#) ISSN 1545-9624

↑ [Kirk PM, Sullman MJM \[2001\]](#). Heart rate strain in cable hauler choker setters in New Zealand logging operations. [Applied Ergonomics](#) (Elsevier Ltd.) Vol. 32(4), pp. 389–398. [DOI:10.1016/S0003-6870\(01\)00003-5](#) ISSN 0003-6870

↑ [Kjellstrom T \[2009\]](#). [Climate change, direct heat exposure, health and well-being in low and middle-income countries](#). [Global Health Action](#) Vol. 2(1), [DOI:10.3402/gha.v2i0.1958](#) ISSN 1654-9716

↑ [Kjellstrom T, Butler AJ, Lucas RM, Bonita R \[2010\]](#). Public health impact of global heating due to climate change: potential effects on chronic non-communicable diseases. [International Journal of Public Health](#) Vol. 55(2), pp. 97–103. [DOI:10.1007/s00038-009-0090-2](#) ISSN 1661-8556

↑ [Kjellstrom T, Gabrys S, Lemke B, Dear K \[2009a\]](#). [The 'Hothaps' programme for assessing climate change impacts on occupational health and productivity: an invitation to carry out field studies](#). [Global Health Action](#) Vol. 2(1), [DOI:10.3402/gha.v2i0.2082](#) ISSN 1654-9716

↑ [1 Kjellstrom T, Holmer I, Lemke B \[2009b\]](#). [Workplace heat stress, health and productivity: an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change](#). [Global Health Action](#) Vol. 2(1), [DOI:10.3402/gha.v2i0.2047](#) ISSN 1654-9716

- ↑ **Kjellstrom T, Weaver HJ [2009]**. [Climate change and health: impacts, vulnerability, adaptation and mitigation](#). NSW (New South Wales) Public Health Bulletin (*Public Health Research & Practice*, NSW Ministry of Health, Sax Institute - Australia) **Vol. 20(1–2)**, pp. 5–9. ISSN 2204-2091
- ↑ **Knochel JP [1974]**. Environmental heat illness: an eclectic review. *Archives of Internal Medicine* (American Medical Association) **Vol. 133(5)**, pp. 841–864. DOI:10.1001/archinte.1974.00320170117011 ISSN 2168-6106
- ↑ **Knowlton K, Lynn B, Goldberg RA, Rosenzweig C, Hogrefe C, Rosenthal JK, Kinney PL [2007]** [Projecting heat-related mortality impacts under a changing climate in the New York City region](#). *American Journal of Public Health* (American Public Health Association) **Vol. 97(11)**, pp. 2028–2034. DOI:10.2105/AJPH.2006.102947 ISSN 0090-0036
- ↑ **Kuehn LA [1973]**. Response of the globe temperature. Canada: Department of National Defense, Defence and Civil Institute of Environmental Medicine, Downsview (Ontario). Biosciences Div, Report No. 859. January. 1973. 21 p.
- ↑ **Kuehn LA, Machattie LE [1975]**. A fast responding and direct reading WBGT index meter. *American Industrial Hygiene Association Journal* (AIHA & ACGIH), **Vol. 36(5)**, pp. 325–331. DOI:10.1080/0002889758507255 ISSN 1542-8117
- ↑ **Kuennen M, Gillum T, Dokladny K, Bedrick E, Schneider S, Moseley P [2011]**. [Thermotolerance and heat acclimation may share a common mechanism in humans](#). *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* (American Physiological Society) **Vol. 301(2)**, pp. R524–R533. DOI:10.1152/ajpregu.00039.2011 ISSN 0363-6119
- ↑ **Lary JM [1984]**. Hyperthermia and teratogenicity. In: Anghileri LJ, Robert J, eds. *Hyperthermia in cancer treatment*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- ↑ **Lee DH, Henschel A [1963]**. [Evaluation of thermal environment in shelters](#) (No. TR-8). Washington, DC: U.S. Public Health Service, Division of Occupational Health.
- ↑ **Lee SMC, Williams WJ, Fortney-Schneider [2000]**. Core temperature measurement during supine exercise: esophageal, rectal, and intestinal temperatures. *Aerospace Medicine and Human Performance* / Aviation, Space, and Environmental Medicine (Aerospace Medical Association) **Vol. 71(9)**, pp. 939–945. ISSN 0095-6562
- ↑ **1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 Leithead CS, Lind AR [1964]**. Heat stress and heat disorders. London: Cassell. 304 p.
- ↑ **Lenhardt R, Sessler DI [2006]**. [Estimation of mean-body temperature from mean skin and core temperature](#). *Anesthesiology* (American Society of Anesthesiologists) **Vol. 105(6)**, pp. 1117–1121. ISSN 0003-3022
- ↑ **Leon LR [2007]**. Heat stroke and cytokines. *Progress in Brain Research* **Vol. 162**, pp. 481–524. DOI:10.1016/S0079-6123(06)62024-4 ISSN 0079-6123
- ↑ **1 2 3 4 Leon LR [2008]**. Thermoregulatory responses to environmental toxicants: the interaction of thermal stress and toxicant exposure. *Toxicology and Applied Pharmacology* (Elsevier) **Vol. 233(1)**, pp. 146–161. DOI:10.1016/j.taap.2008.01.012 ISSN 0041-008X
- ↑ **Levine RJ [1984]**. Male fertility in hot environment. *Journal of the American Medical Association* (American Medical Association) **Vol. 252(23)**, pp. 3250–3251. DOI:10.1001/jama.1984.03350230012009 ISSN 0098-7484
- ↑ **1 2 Lind AR [1976]**. Limits of exposure to work in hot climates without a rise in body temperature. In: Horvath SM, Jensen RC, eds. *Standards for occupational exposures to hot environments*. Publ. No. 76-100. Vol. 3. U.S. Department of Health, Education, and Welfare, National Institute for Occupational Safety and Health.
- ↑ **1 2 3 4 Lind AR [1977]**. Human tolerance to hot climates. In: Lee DHK, Falk HL, Murphy SD, American Physiological Society, eds. *Handbook of physiology: a critical, comprehensive presentation of physiological knowledge and concepts*. Bethesda, MD: American Physiological Society.
- ↑ **Lind AR [1970]**. Effect of individual variation on upper limit of prescriptive zone of climates. *Journal of Applied Physiology* (American Physiological Society) **Vol. 28(1)**, pp. 57–62. DOI:10.1152/jappl.1970.28.1.57 ISSN 8750-7587
- ↑ **Lind AR. [1963]** A physiological criterion for setting thermal environmental limits for everyday work. *Journal of Applied Physiology* (American Physiological Society) **Vol. 18(1)**, pp. 51–56. DOI:10.1152/jappl.1963.18.1.51 ISSN 8750-7587.
- ↑ **1 Lind AR, Bass DE [1963]**. Optimal exposure time for development of acclimatization to heat. *Federation proceedings* (Federation of American Societies for Experimental Biology) **Vol. 22:704–708**.
- ↑ **1 Lind AR, Humphreys PW, Collins KJ, Foster K, Sweetland KF [1970]**. Influence of age and daily duration of exposure on responses of men to work in heat. *Journal of Applied Physiology* (American Physiological Society) **Vol. 28(1)**, pp. 50–56. DOI:10.1152/jappl.1970.28.1.50 ISSN 8750-7587
- ↑ **Lindqvist PG, Marsal K, Merlo J, Pirhonen JP [2003]**. Thermal response to submaximal exercise before, during and after pregnancy: a longitudinal study. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine* (European Association of Perinatal Medicine) **Vol. 13(3)**, pp. 152–156. DOI:10.1080/jmf.13.3.152.156 ISSN 1476-7058
- ↑ **1 Line RL, Rust GS [1995]**. Acute exertional rhabdomyolysis. *American Family Physician* (American Academy of Family Physicians) **Vol. 52(2)**, pp. 502–506. ISSN 0002-838X
- ↑ **1 Logan PW, Bernard TE [1999]**. Heat stress and strain in an aluminum smelter. *American Industrial Hygiene Association Journal* (AIHA & ACGIH) **Vol. 60(5)**, pp. 659–665. DOI:10.1080/00028899908984488 ISSN 1542-8117
- ↑ **1 Luber G, McGeehin M [2008]**. [Climate change and extreme heat events](#). *American Journal of Preventive Medicine* (American College of Preventive Medicine) **Vol. 35(5)**, pp. 429–435. DOI:10.1016/j.amepre.2008.08.021 ISSN 0749-3797
- ↑ **1 Lucas RA, Epstein Y, Kjellstrom T [2014]**. [Excessive occupational heat exposure: a significant ergonomic challenge and health risk for current and future workers](#). *Extreme Physiology & Medicine* **Vol. 3(1)**, pp. 14. DOI:10.1186/2046-7648-3-14 ISSN 2046-7648
- ↑ **Luginbuhl RC, Castillo DN, Loring KA [2008]**. [Heat-related deaths among crop workers: United States, 1992–2006](#). *Morbidity and Mortality Weekly Report* (Centers for Disease Control and Prevention) **Vol. 57(24)**, pp. 649–653. ISSN 0149-2195
- ↑ **1 MacPherson RK [1960]**. Physiological responses to hot environments: an account of work done in Singapore, 1948–1953, at the Royal Naval Tropical Research Unit, with an appendix on preliminary work done at the National Hospital for Nervous Diseases, London. London: H. M. Stationery Office. Special report series, no. 298. 323 p.
- ↑ **Maeda T, Kaneko S, Ohta M, Tanaka K, Sasaki A, Fukushima T [2006]**. [Risk factors for heatstroke among Japanese forestry workers](#). *Journal of Occupational Health* (Japan Society for Occupational Health) **Vol. 48(4)**, pp. 223–229. DOI:10.1539/joh.48.223 ISSN 1341-9145
- ↑ **Makaryus JN, Catanzaro JN, Katona KC [2007]**. Exertional rhabdomyolysis and renal failure in patients with sickle cell trait: is it time to change our approach? *Hematology* **Vol. 12(4)**, pp. 349–352. DOI:10.1080/10245330701255254 ISSN 1024-5332

- ↑ **Malchaire J, Kampmann B, Havenith G, Mehnert P, Gebhardt HJ** [2000]. Criteria for estimating acceptable exposure times in hot working environments: a review. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, [Vol. 73\(4\)](#), pp. 215–220 [DOI: 10.1007/s004200050420](#) ISSN 0340-0131
- ↑ **Malchaire J, Piette A, Kampmann B, Mehnert P, Gebhardt H, Havenith G, Den Hartog E, Holmer I, Parsons K, Alfano G, Griefahn B** [2001]. [Development and validation of the predicted heat strain model](#). *The Annals of Occupational Hygiene (British Occupational Hygiene Society)* [Vol. 45\(2\)](#), pp. 123–135. [DOI:10.1093/annhyg/45.2.123](#) ISSN 0003-4878.
- ↑ **Marg K** [1983]. Evaporative cooling: heatstress and its effect on worker productivity, quality, and safety. *Plant Engineering* 37(3):73–74.
- ↑ **Mayo Clinic** [2011, September 30]. [Urine color: causes](#). Rochester, MN: Mayo Clinic. Accessed July 26, 2018.
- ↑ **1 2 3 McArdle WD, Katch FI, Katch VI** [1996a]. Exercise at medium and high altitude. In: *Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance*. 4th ed. Baltimore: Williams & Wilkins. 850 p. ISBN 978-1451191554.
- ↑ **1 2 3 4 5 McArdle WD, Katch FI, Katch VI** [1996b]. *Exercise physiology*. 4th ed. Baltimore: Williams & Wilkins. 850 p. ISBN 978-1451191554
- ↑ **1 2 3 4 McArdle WD, McArdle FI, Katch VL** [2010a]. Exercise performance and environmental stress. In: McArdle WD, McArdle FI, Katch VL, eds. *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 1038 p. ISBN 978-0-7817-9781-8 [Google books](#).
- ↑ **1 2 McArdle WD, McArdle FI, Katch VL** [2010b]. *Exercise physiology*. In: McArdle WD, McArdle FI, Katch VL, eds. *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 1038 p. ISBN 978-0-7817-9781-8 [Google books](#)
- ↑ **1 McCullough EA, Arpin EJ, Jones B, Konz SA, Rohles FH** [1982]. Heat transfer characteristics of clothing worn in hot industrial environments. *ASHRAE, Journal of the American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. [ASHRAE Transactions](#), Vol. 88, Part 1, pp. 1077–1094. ISSN 0001-2505.
- ↑ **McKarns JS, Brief RS** [1966]. Nomographs give refined estimate of heat stress index. *Heating, piping, and air conditioning (Domestic Engineering Co., Chicago)* Vol. 38, pp. 113–116. ISSN 0017-940X.
- ↑ **McMichael AJ** [2013]. [Globalization, climate change, and human health](#). *The New England Journal of Medicine (Massachusetts Medical Society)* [Vol. 368\(14\)](#), pp. 1335–1343. [DOI:10.1056/NEJMra1109341](#) ISSN 0028-4793
- ↑ **Medline Plus** [2011, September 16]. [Urine: abnormal color](#). Accessed July 26, 2018.
- ↑ **1 Mekjavic IB, Eiken O** [2006]. [Contribution of threshold and nonthermal factors to the regulation of body temperature in humans](#). *Journal of Applied Physiology (American Physiological Society)* [Vol. 100\(6\)](#), pp. 2065–2072. [DOI:10.1152/jappphysiol.01118.2005](#) ISSN 8750-7587
- ↑ **Melli G, Chaudhry V, Cornblath DR** [2005]. [Rhabdomyolysis: an evaluation of 475 hospitalized patients](#). *Medicine (Baltimore)* [Vol. 84\(6\)](#), pp. 377–385. [DOI:10.1097/01.md.0000188565.48918.41](#) ISSN 0025-7974
- ↑ **1 Meyer F, Bar-Or O, MacDougall D, Heigenhauser GJ** [1992]. [Sweat electrolyte loss during exercise in the heat: effects of gender and maturation](#). *Medicine & Science in Sports & Exercise (American College of Sports Medicine)* [Vol. 24\(7\)](#), pp. 776–781. ISSN 0195-9131
- ↑ **Mieusset R, Bujan L, Mansat A, Pontonnier F, Grandjean H** [1987]. Effects of artificial cryptorchidism on sperm morphology. *Fertility and Sterility (American Society for Reproductive Medicine)* [Vol. 47\(1\)](#), pp. 150–155. [DOI:10.1016/S0015-0282\(16\)49951-6](#) ISSN 0015-0282
- ↑ **Minard D** [1961]. Prevention of heat casualties in Marine Corps recruits: period of 1955–60, with comparative incidence rates and climatic heat stresses in other training categories. *Military medicine (AMSUS, The Society of Federal Health Professionals)* [Vol. 126\(4\)](#), pp. 261–272 [DOI: 10.1093/milmed/126.4.261](#) ISSN 0026-4075
- ↑ **1 Minard D** [1973]. [Chapter 30. Physiology of heat stress](#). In: National Institute for Occupational Safety and Health, United States Public Health Service, Division of Occupational Health, eds. *The industrial environment: its evaluation & control*. 3rd ed. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. DHEW (NIOSH) [Publication No. 74-117](#) pp. 377-412. - 739 p.
- ↑ **1 Minard D, Copman L** [1963]. Elevation of body temperature in disease. In: Hardy JD, ed. *Temperature: its measurement and control in science and industry*. Vol. 3. New York: Reenhold Co. Chapman and Hall, London. 683 p.
- ↑ **Minson CT, Wladkowski SL, Cardell AF, Pawelczyk JA, Kenney WL** [1998]. [Age alters the cardiovascular response to direct passive heating](#). *Journal of Applied Physiology (American Physiological Society)* [Vol. 84\(4\)](#), pp. 1323–1332. [DOI:10.1152/jappl.1998.84.4.1323](#) ISSN 8750-7587
- ↑ **1 2 3 Montain SJ, Chevront SN** [2008]. Fluid, electrolyte and carbohydrate requirements for exercise. In: Taylor NAS, Groeller H, eds. [Physiological bases for human performance during work and exercise](#). Edinburgh: Churchill Livingstone Elsevier. 608 p. ISBN 978-0443102714
- ↑ **Montain SJ, Chevront SN, Sawka MN** [2006]. Exercise associated hyponatraemia: quantitative analysis to understand the aetiology. *British Journal of Sports Medicine (BMJ Publishing Group)* Vol. [40\(2\)](#), pp. 98–105; discussion, 198–105. [DOI:10.1136/bjism.2005.018481](#) ISSN 0306-3674
- ↑ **1 2 3 Moran DS, Erlich T, Epstein Y** [2007]. The heat tolerance test: an efficient screening tool for evaluating susceptibility to heat [case report]. *Journal of Sport Rehabilitation (Human Kinetics Journals)* [Vol. 16\(3\)](#), pp. 215–221. [DOI:10.1123/jsr.16.3.215](#) ISSN 1056-6716
- ↑ **1 Moseley PL** [1994]. Mechanisms of heat adaptation: thermotolerance and acclimatization. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine* [Vol. 123\(1\)](#), pp. 48–52. ISSN 0022-2143
- ↑ **1 MSHA** [1976]. U.S. Department of Labor, Mine Safety and Health Administration, National Mine Safety and Health Academy. *Heat stress in hot U.S. mines and criteria for standards for mining in hot environments*.
- ↑ **1 MSHA** [2001]. U.S. Department of Labor, Mine Safety and Health Administration, National Mine Safety and Health Academy. [Heat stress in mining](#). MSHA safety manual number 6.
- ↑ **Mutchler JE, Malzahn DD, Vecchio JL, Soule RD** [1976]. An improved method for monitoring heat stress levels in the workplace. *American Industrial Hygiene Association Journal (AIHA & ACGIH)* [Vol. 37\(3\)](#), pp. 151–164. [DOI:10.1080/0002889768507438](#) ISSN 1542-8117
- ↑ **1 Nag PK, Pradhan CK, Nag A, Ashtekar SP, Desai H** [1998]. Efficacy of a water-cooled garment for auxiliary body cooling in heat. *Ergonomics* (1998) [Vol. 41\(2\)](#), pp. 179–187. [DOI:10.1080/001401398187233](#) ISSN 0014-0139.
- ↑ **Nauss MD, Schmidt EL, Pancioli AM** [2009]. Viral myositis leading to rhabdomyolysis: a case report and literature review. *American Journal of Emergency Medicine (Elsevier, United States)* [Vol. 27\(3\)](#), pp. 372.e5–6. [DOI:10.1016/j.ajem.2008.07.022](#) ISSN 0735-6757.
- ↑ **1 2 3 4 5 6 7 8 9 Navy Environmental Health Center** [2007]. [Prevention and treatment of heat and cold stress injuries](#). Technical Manual NEHC-TM-OEM 6260.6A. Portsmouth, VA: Navy Environmental Health Center, Bureau of Medicine and Surgery, 124 p.

- ↑ Nilsson M, Kjellstrom T [2010]. [Climate change impacts on working people: how to develop prevention policies](#). Global Health Action (Umeå Centre for Global Health Research, Sweden), Vol 3. DOI:10.3402/gha.v3i0.5774 ISSN 1654-9716
- ↑ 1 2 3 NIOSH [1972]. [Criteria for a recommended standard: occupational exposure to hot environments](#). Cincinnati, OH: U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Health Services and Mental Health Administration, National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW (NIOSH) Publication No. HSM 72-10269. 111 p.
- ↑ NIOSH [1985]. [Occupational safety and health guidance manual for hazardous waste site activities](#). Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 85-115.
- ↑ 1 2 3 4 NIOSH [1986a]. Donald Miller et al. [Criteria for a recommended standard: occupational exposure to hot environments: revised criteria 1986](#). Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 86-113. 151 p.
- ↑ NIOSH [1986b]. Working in hot environments, revised 1986. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 86-112. Superseded by 2011-174 3 p.
- ↑ NIOSH [1997]. [Fire fighter dies of heat stroke while making a fire line during a wildland fire in California](#). Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. Fatality Assessment and Control Evaluation (FACE) Investigation Report No. 97CA01001.
- ↑ NIOSH [2002]. [Landscape mowing assistant dies from heat stroke](#). Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. Fatality Assessment and Control Evaluation (FACE) Investigation Report No. 02-MI-75-01.
- ↑ NIOSH [2003a]. Chandran Achutan, Richard Driscoll, Daniel Habes & Randy L. Tubbs. [Assessment of physical hazards at an automobile parts manufacturing facility](#). Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. HETA 2003-0268-3065. 36 p.
- ↑ NIOSH [2003b]. Chad H. Dowell & Loren C. Tapp. [Evaluation of heat stress at a glass bottle manufacturer, Lapel, Indiana](#). Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. HETA 2003-0311-3052. 28 p.
- ↑ NIOSH [2004]. [Construction laborer dies from heat stroke at end of workday](#). Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. Fatality Assessment and Control Evaluation (FACE) Investigation Report No. 03KY053.
- ↑ NIOSH [2006a]. Bish Dang, Chang Dowell & Charles Mueller. [Heat stress and strain evaluation among aluminum potroom employees - Texas](#). Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. HETA 2006-0307-3139. 36 p.
- ↑ NIOSH [2006b]. [Migrant farm worker dies from heat stroke while working on a tobacco farm: North Carolina](#). Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. Fatality Assessment and Control Evaluation (FACE) Investigation Report No. 2006-04.
- ↑ NIOSH [2010]. [Fire fighter trainee suffers fatal exertional heatstroke during physical fitness training: Texas](#). Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. Fatality Assessment and Control Evaluation (FACE) Report No. 2009-17.
- ↑ NIOSH [2012]. [Wildland fire fighter dies from hyperthermia and exertional heatstroke while conducting mop-up operations: Texas](#). Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. Fatality Assessment and Control Evaluation (FACE) Report No. 2012-17.
- ↑ NIOSH [2013]. [Workplace solutions: preventing heat-related illness or death of outdoor workers](#). Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. Publication No. 2013-143. 4 p.
- ↑ NIOSH [2014a]. Jessica Ramsey, Kristin Musolin, Diana Ceballos, Douglas M. Wiegand & Kenneth Mead. [Evaluation of ergonomic risk factors, thermal exposures, and job stress at an airline catering facility](#). Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. HETA 2011-0131-3221. Health Hazard Evaluation Report, 38 p.
- ↑ NIOSH [2014b]. Judith Eisenberg & Mark Methner. [Evaluation of heat stress, heat strain, and rhabdomyolysis in park employees](#). Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. HETA 2013-0109-3214. Health Hazard Evaluation Report, 42 p.
- ↑ 1 Nishi Y [1981]. Measurement of thermal balance of man. In: Cena K, Clark JA, Politechnika Wrocawska, eds. Bioengineering, thermal physiology, and comfort. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Co.; New York: Elsevier/North-Holland, distributor. 288 p. ISBN 9780080874692.
- ↑ NOAA [2012]. [Heat: a major killer](#). Silver Spring, MD: National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration. Accessed July 26, 2018.
- ↑ Nunneley SA [1978]. [Physiological responses of women to thermal stress: a review](#). Medicine and Science in Sports (American College of Sports Medicine) Vol. 10(4), pp. 250–255. ISSN 0195-9131.
- ↑ O'Connor FG, Duester PA [2011]. Rhabdomyolysis. In: Goldman L, Schafer AI, eds. Cecil Medicine. 24th ed. New York: Elsevier Health Sciences. 2704 p. ISBN 9781437716047
- ↑ O'Neal EK, Bishop P [2010]. Effects of work in a hot environment on repeated performances of multiple types of simple mental tasks. International Journal of Industrial Ergonomics Vol. 40(1), pp. 77–81. DOI:10.1016/j.ergon.2009.07.002 ISSN 0169-8141
- ↑ 1 Olerud JE, Homer LD, Carroll HW [1976]. Incidence of acute exertional rhabdomyolysis: serum myoglobin and enzyme levels as indicators of muscle injury. Archives of Internal Medicine (American Medical Association) Vol. 136(6), pp. 692-697. DOI: 10.1001/archinte.1976.03630060044010 ISSN 2168-6106
- ↑ OSHA [ND]. [Monitoring workers at risk of heat-related illness](#). Accessed July 26, 2018.
- ↑ OSHA [1999]. [Heat stress. In: OSHA technical manual, section III](#). Accessed July 26, 2018.
- ↑ OSHA [2012a]. [Heat safety tool](#). Accessed July 26, 2018.
- ↑ OSHA [2012b]. [OSHA's campaign to prevent heat illness in outdoor workers](#). Accessed July 26, 2018.
- ↑ OSHA [2012c]. [Using the heat index: a guide for employers](#). Accessed July 26, 2018.

- ↑ [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) **OSHA-NIOSH [2011]**. OSHA-NIOSH infosheet: protecting workers from heat illness. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. [DHHS \(NIOSH\) Publication No. 2011-174](#), 3 p.
- ↑ [1](#) **Pandolf KB, Burse RL, Goldman RF [1977]**. Role of physical fitness in heat acclimatisation, decay and reinduction. *Ergonomics* (1977) [Vol. 20\(4\)](#), pp. 399–408. [DOI:10.1080/00140137708931642](#) ISSN 0014-0139.
- ↑ [1](#) **Pandolf KB, Griffin TB, Munro EH, Goldman RF [1980a]**. Heat intolerance as a function of percent of body surface involved with miliaria rubra. *American Journal of Physiology (American Physiological Society)* [Vol. 239\(3\)](#), pp. R233–240. [DOI:10.1152/ajpregu.1980.239.3.R233](#) ISSN 0363-6119.
- ↑ [1](#) **Pandolf KB, Griffin TB, Munro EH, Goldman RF [1980b]**. Persistence of impaired heat tolerance from artificially induced miliaria rubra. *American Journal of Physiology (American Physiological Society)* [Vol. 239\(3\)](#), pp. R226–232. [DOI:10.1152/ajpregu.1980.239.3.R226](#) ISSN 0363-6119.
- ↑ **Parikh DJ, Pandya CB, Ramanathan NL [1976]**. Applicability of the WBGT index of heat stress to work situations in India. *Indian Journal of Medical Research* [Vol. 64\(3\)](#):327–335. ISSN 0971-5916 <http://www.ijmr.org.in/backissues.asp>.
- ↑ **Parker RD, Pierce FD [1984]**. Comparison of heat stress measuring techniques in a steel mill. *American Industrial Hygiene Association Journal (AIHA & ACGIH)* [Vol. 45\(6\)](#), pp. 405–415. [DOI:10.1080/15298668491400025](#) ISSN 1542-8117.
- ↑ [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) [5](#) [6](#) [7](#) [8](#) [9](#) [10](#) [11](#) **Parsons KC [2003]**. Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance. 2nd ed. London; New York: Taylor and Francis. 560 p. ISBN 9780415237932.
- ↑ **Pleet H, Graham JM Jr, Smith DW [1981]**. Central nervous system and facial defects associated with maternal hyperthermia at four to 14 weeks' gestation. *Pediatrics (American Academy of Pediatrics)* [Vol. 67\(6\)](#), pp. 785–789. ISSN 0031-4005.
- ↑ **Procope BJ [1965]**. Effect of repeated increase of body temperature on human sperm cells [in vitro]. *International journal of fertility (International Fertility Association)* [Vol. 10\(4\)](#), pp. 333–339. ISSN 0020-725X
- ↑ **Rachootin P, Olsen J [1983]**. The risk of infertility and delayed conception associated with exposures in the Danish workplace. *Journal of Occupational and Environmental Medicine (American College of Occupational and Environmental Medicine)* [Vol. 25\(5\)](#), pp. 394–402. ISSN 1076-2752
- ↑ **Ramanathan N [1964]**. [A new weighting system for mean surface temperature of the human body](#). *Journal of Applied Physiology (American Physiological Society)* [Vol. 19\(3\)](#), pp. 531–533. [DOI:10.1152/jappl.1964.19.3.531](#) ISSN 8750-7587.
- ↑ **Ramphal-Naley L [2012]**. [Screening for heat stress in workers and athletes](#). *Proceedings (Baylor University. Medical Center)* [Vol. 25\(3\)](#), pp. 224–228.
- ↑ [1](#) [2](#) [3](#) **Ramsey JD [1975]**. Heat stress standard: OSHA's Advisory Committee recommendations. *National safety news (National Safety Council; American Society of Safety Engineers)* [Vol. 68\(6\)](#), June, pp. 89–95. ISSN 0028-0100.
- ↑ [1](#) **Ramsey JD, Beshir MY [2003]**. Thermal standards and measurement techniques. In: DiNardi SR, ed. *The occupational environment: its evaluation and control*. 2nd ed. Cincinnati, OH: American Industrial Hygiene Association. ISBN 978-1931504430.
- ↑ [1](#) **Ramsey JD, Burford CL, Beshir MY, Jensen RC [1983]**. Effects of workplace thermal conditions on safe work behavior. *Journal of Safety Research (National Safety Council and Elsevier)* [Vol. 14\(3\)](#), pp. 105–114. [DOI:10.1016/0022-4375\(83\)90021-X](#) ISSN 0022-4375.
- ↑ **Ramsey JD, Morrissey SJ [1978]**. Isodecrement curves for task performance in hot environments. *Applied Ergonomics (Elsevier Ltd.)* [Vol. 9\(2\)](#), pp. 66–72. [DOI:10.1016/0003-6870\(78\)90150-3](#) ISSN 0003-6870.
- ↑ **Rastogi SK, Gupta BN, Husain T [1992]**. Wet-bulb globe temperature index: a predictor of physiological strain in hot environments. *Occupational Medicine (Oxford University Press journal)* [Vol. 42\(2\)](#), pp. 93–97. [DOI:10.1093/occmed/42.2.93](#) ISSN 0962-7480.
- ↑ **Redmond CK, Emes JJ, Mazumdar S, Magee PC, Kamon E [1979]**. Mortality of steelworkers employed in hot jobs. [Journal of environmental pathology and toxicology](#) (International Society for Environmental Toxicology and Cancer) [Vol. 2\(5\)](#), pp. 75–96. ISSN 0146-4779.
- ↑ **Roller WL, Goldman RF [1967]**. Estimation of solar radiation environment. *International Journal of Biometeorology (International Society of Biometeorology)* [Vol. 11\(3\)](#), pp. 329–336. [DOI:10.1007/BF01426656](#) ISSN 0020-7128
- ↑ [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) [5](#) **Rosner MH, Kirven J [2007]**. [Exercise-associated hyponatremia](#). *Clinical Journal of the American Society of Nephrology (American Society of Nephrology)* [Vol. 2\(1\)](#), pp. 151–161. [DOI:10.2215/CJN.02730806](#) ISSN 1555-9041.
- ↑ [1](#) [2](#) **Roti MW, Casa DJ, Pumerantz AC, Watson G, Judelson DA, Dias JC, Ruffin K, Armstrong LE [2006]**. Thermoregulatory responses to exercise in the heat: chronic caffeine intake has no effect. *Aerospace Medicine and Human Performance / Aviation, Space, and Environmental Medicine (Aerospace Medical Association)* [Vol. 77\(2\)](#), pp. 124–129. ISSN 0095-6562.
- ↑ [1](#) **Rowell LR [1977]**. Competition between skin and muscle for blood flow during exercise. In: Nadel ER, American College of Sports Medicine, eds. *Problems with temperature regulation during exercise*. New York: Academic Press. 152 p. ISBN 9780323160988.
- ↑ [1](#) [2](#) [3](#) **Rowell LR [1993]**. *Human cardiovascular control*. New York: Oxford University Press. 520 p. ISBN 9780195073621.
- ↑ **Rutstein DD, Mullan RJ, Frazier TM, Halperin WE, Melius JM, Sestito JP [1983]**. [Sentinel health events \(occupational\): a basis for physician recognition and public health surveillance](#). *American Journal of Public Health (American Public Health Association)* [Vol. 73\(9\)](#), pp. 1054–1062. [DOI:10.2105/AJPH.73.9.1054](#) ISSN 0090-0036.
- ↑ **Sauret JM, Marinides G, Wang GK [2002]**. [Rhabdomyolysis](#). *American Family Physician (American Academy of Family Physicians)* [Vol. 65\(5\)](#), pp. 907–912. ISSN 0002-838X.
- ↑ **Schuckit MA [2011]**. Ethanol and methanol. In: Goodman LS, Brunton LL, Gilman A, Chabner B, Knollmann BC, Goodman LS, eds. *Goodman & Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics*. 12th ed. New York: McGraw-Hill Medical. 2084 p. ISBN 978-0-07-162442-8 [онлайн](#)
- ↑ [1](#) **Schulte PA, Bhattacharya A, Butler CR, Chun HK, Jacklitsch B, Jacobs T, Kiefer M, Lincoln J, Pendergrass S, Shire J, Watson J, Wagner GR [2015]**. [Advancing the framework for considering the effects of climate change on worker safety and health](#). Manuscript submitted for publication. Published Date: Nov 2016. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene (AIHA & ACGIH)* [Vol. 13\(11\)](#), pp. 847-865. [DOI:10.1080/15459624.2016.1179388](#) ISSN 1545-9624.
- ↑ [1](#) [2](#) **Schulte PA, Chun H [2009]**. Climate change and occupational safety and health: establishing a preliminary framework. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene (AIHA & ACGIH)* [Vol. 6\(9\)](#), pp. 542–554. [DOI:10.1080/15459620903066008](#) ISSN 1545-9624.

- ↑ **Semenza JC, Rubin CH, Falter KH, Selanikio JD, Flanders WD, Howe HL, Wilhelm JL [1996].** [Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago](#). The New England Journal of Medicine (Massachusetts Medical Society) **Vol. 335(2)**, pp. 84-90. DOI: [10.1056/NEJM199607113350203](#) ISSN 0028-4793
- ↑ **1 Serafin WE [1996].** Drugs used in the treatment of asthma. In: Hardman JG, Limbird LE, Molinoff PB, Ruddon RW, Gillman AG, eds. Goodman & Gilman's [The Pharmacological Basis of Therapeutics](#). 9th ed. New York: McGraw-Hill. 1905 p. ISBN 0-07-026266-7. Есть 12 издание [онлайн](#).
- ↑ **Shibolet S, Lancaster MC, Danon Y [1976].** Heat stroke: a review. [Aerospace Medicine and Human Performance / Aviation, Space, and Environmental Medicine](#) (Aerospace Medical Association) **Vol. 47(3)**, pp. 280–301. ISSN 0095-6562.
- ↑ **1 Shvartz E, Benor D [1972].** Heat strain in hot and humid environments. [Aerospace medicine](#) (Aerospace Medical Association) **Vol. 43(8)**, pp. 852–855. ISSN 0001-9402.
- ↑ **Siconolfi SF, Garber CE, Lasater TM, Carleton RA [1985].** Carleton RA [1985]. A simple, valid step test for estimating maximal oxygen uptake in epidemiologic studies. [American Journal of Epidemiology](#) (Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health) **Vol. 121(3)**, pp. 382–390. DOI: [10.1093/oxfordjournals.aje.a114010](#) ISSN 0002-9262.
- ↑ **Slappendel C, Laird I, Kawachi I, Marshall S, Cryer C [1993].** Factors affecting work-related injury among forestry workers: a review. [Journal of Safety Research](#) (National Safety Council and Elsevier) **Vol. 24(1)**, pp. 19–32. DOI: [10.1016/0022-4375\(93\)90048-R](#) ISSN 0022-4375.
- ↑ **Smith JI, Ramsey JD [1980].** Designing physically demand tasks to minimize levels of worker stress. [Industrial Engineering](#) **14**, 44–50.
- ↑ **1 2 Spaul WA, Greenleaf JE [1984].** [Heat stress field study](#). [US Navy Medicine](#) (Navy Medical Department, Bureau of Medicine and Surgery) **Vol. 75(2)**, pp. 25–33. ISSN 0364-6807.
- ↑ **Springer K [1985].** If you can't stand the heat. [Ohio Monitor](#) (Industrial Commission of Ohio, Division of Safety and Hygiene) **58**:4–9.
- ↑ **1 2 Stegman J [1981].** Exercise physiology. Chicago: Year Book Medical Publisher.
- ↑ **1 2 Stewart JM [1979].** [The use of heat transfer and limiting physiological criteria as a basis for setting heat stress limits](#). Presented at the 2nd International Mine Ventilation Congress, Reno, New York: American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc., 1980 Oct. ISBN 0895202719.
- ↑ **Stoecklin-Marois M, Hennessy-Burt T, Mitchell D, Schenker M [2013].** [Heat-related illness knowledge and practices among California hired farm workers in The MICASA Study](#). [Industrial Health](#) (National Institute of Occupational Safety and Health, Japan) **Vol. 51(1)**, pp. 47–55. DOI: [10.2486/indhealth.2012-0128](#) ISSN 0019-8366.
- ↑ **Strydom NB [1971].** [Age as a causal factor in heat stroke](#). [Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy](#) (The Southern African Institute of Mining and Metallurgy) **Vol. 72(4)**, pp. 112–114. ISSN 2225-6253.
- ↑ **1 2 3 4 5 Strydom NB [1975].** Physical work and heat stress. In: Zenz C, ed. [Occupational medicine: principles and practical applications](#). Chicago: Year Book Medical Publishers. 960 p. ISBN 978-0815198642.
- ↑ **Strydom NB, Kotze HF, van der Walt WH, Rogers GG [1976].** Effect of ascorbic acid on rate of heat acclimatization. [Journal of Applied Physiology](#) (American Physiological Society) **Vol. 41(2)**, pp. 202–205. DOI: [10.1152/jappl.1976.41.2.202](#) ISSN 8750-7587.
- ↑ **1 Tanaka M [2007].** [Heat stress standard for hot work environments in Japan](#). [Industrial Health](#) (National Institute of Occupational Safety and Health, Japan) **Vol. 45(1)**, pp. 85–90. DOI: [10.2486/indhealth.45.85](#) ISSN 0019-8366.
- ↑ **1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 Taylor NAS, Kondo N, Kenny WL [2008].** Taylor NAS, Kondo N, Kenny WL [2008]. The physiology of acute heat exposure, with implications for human performance in the heat. In: Taylor NAS, Groeller H, eds. [Physiological bases of human performance during work and exercise](#). 1st ed. Edinburgh: Elsevier. 608 p. ISBN 9780443102714.
- ↑ **Thacker MT, Lee R, Sabogal RI, Henderson A [2008].** [Overview of deaths associated with natural events, United States, 1979–2004](#). [Disasters](#) (Overseas Development Institute) **Vol. 32(2)**, pp. 303–315. DOI: [10.1111/j.1467-7717.2008.01041.x](#) ISSN 1467-7717.
- ↑ **Thonneau P, Ducot B, Bujan L, Mieuisset R, Spira A [1997].** [Effect of male occupational heat exposure on time to pregnancy](#). [International Journal of Andrology](#) (European Academy of Andrology) **Vol. 20(5)**, pp. 274–278. DOI: [10.1046/j.1365-2605.1997.d01-303.x](#) ISSN 1365-2605
- ↑ **Tillett T [2011].** [Pregnancy pause: extreme heat linked to shortened gestation](#). [Environmental Health Perspectives](#) (2011) **Vol. 119(10)**, pp. A443. DOI: [10.1289/ehp.119-a443b](#) ISSN 1552-9924.
- ↑ **Tipton M, Pandolf K, Sawka M, Werner J, Taylor N [2008].** Physiological adaptation to hot and cold environments. In: Taylor N, Groeller H, eds. [Physiological bases of human performance during work and exercise](#). Edinburgh: Churchill Livingstone Elsevier. 608 p. ISBN 9780443102714.
- ↑ **Tranter M [1998].** An assessment of heat stress among laundry workers in a far North Queensland hotel. [Journal of occupational health and safety](#), Australia and New Zealand (1998) [Australian Public Affairs](#), **Vol. 14(1)**, pp. 61–63. ISSN 0815-6409.
- ↑ **1 Udem BJ [2006].** Pharmacotherapy of asthma. In: Brunton LL, Lazo JS, Parker KL, eds. Goodman & Gilman's [The Pharmacological Basis of Therapeutics](#). 11th ed. New York: McGraw-Hill. 2021 p. ISBN 9780071468923. Есть 12 издание [онлайн](#).
- ↑ **Vaha-Eskeli K, Erkkola R [1991].** The effect of short-term heat stress on uterine contractility, fetal heart rate and fetal movements at late pregnancy. [European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology](#) (1991) **Vol. 38(1)**, pp. 9–14. DOI: [10.1016/0028-2243\(91\)90200-5](#) ISSN 0301-2115.
- ↑ **Vogt JJ, Candas V, Libert JP [1982].** Graphical determination of heat tolerance limits. [Ergonomics](#) (1982) **Vol. 25(4)**, pp. 285–294. DOI: [10.1080/00140138208924955](#) ISSN 0014-0139.
- ↑ **1 Vroman NB, Buskirk ER, Hodgson JL [1983].** Cardiac output and skin blood flow in lean and obese individuals during exercise in the heat. [Journal of Applied Physiology](#) (American Physiological Society) **Vol. 55(1)**, pp. 69–74. DOI: [10.1152/jappl.1983.55.1.69](#) ISSN 8750-7587.
- ↑ **Wallace RF, Kriebel D, Punnett L, Wegman DH, Amoroso PJ [2007].** Prior heat illness hospitalization and risk of early death. [Environmental Research](#) (2007) **Vol. 104(2)**, pp. 290–295. DOI: [10.1016/j.envres.2007.01.003](#) ISSN 0013-9351.
- ↑ **1 2 Walsh JJ, Page SM [2006].** [Rhabdomyolysis and compartment syndrome in military trainees](#). In: Bernard L. DeKoning. [Recruit Medicine](#). Washington, DC: Government Printing Office. (Textbooks of military medicine). 581 p. ISBN 9780160767180.
- ↑ **Washington State Legislature [ND].** WAC 296-62-09510: Scope and purpose, <http://apps.leg.wa.gov/WAC/default.aspx?cite=296-62-09510>. Accessed March 25, 2013. [Проект документа](#).
- ↑ **Watson S [2011, September 9].** The truth about urine. <http://www.webmd.com/urinary-incontinence-oab/features/the-truth-about-urine>.
- ↑ **Wells CL, Buskirk ER [1971].** Limb sweating rates overlying active and nonactive muscle tissue. [Journal of Applied Physiology](#) (American Physiological Society) **Vol. 31(6)**, pp. 858–863. DOI: [10.1152/jappl.1971.31.6.858](#) ISSN 8750-7587.

- ↑ [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) [5](#) **WHO [1969]. Health factors involved in working under conditions of heat stress.** Geneva: World Health Organization. Есть перевод на сайте ВОЗ: [Факторы, влияющие на здоровье в условиях работы при высоких температурах: доклад Научной группы ВОЗ \(на совещании, состоявшемся в Женеве с 29 августа по 4 сентября 1967\)](#). Всемирная организация здравоохранения, (Серия технических докладов, № 412). Женева, 1970. - 40 с.
- ↑ **Williams WJ, Coca A, Roberge R, Shepherd A, Powell J, Shaffer RE [2011].** Physiological responses to wearing a prototype fire fighter ensemble compared with a standard ensemble. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene (AIHA & ACGIH)* **Vol. 8(1)**, pp. 49–57. [DOI:10.1080/15459624.2011.538358](#) ISSN 1545-9624.
- ↑ **1 Williams WJ, Schneider SM, Stuart CA, Gretebeck RJ, Lane HW, Whitson PA [2003].** Effect of dietary sodium and fluid/electrolyte regulation in humans during bed rest. *Aviat Space Environ Med* 74(1):37–46.
- ↑ **Wilson Elizabeth [2008].** [Heat stress prevention heats up in California](#). EHS Today [www.ehstoday.com](#) (Informa USA, Inc.) Jun 01, 2008.
- ↑ **Witten L [1980].** Comments on mathematical models for thermoregulatory behavior. Presented at: Proceedings Of A NIOSH Workshop On Recommended Heat Stress Standards, Cincinnati, OH. NIOSH 1980 Dec; pp. 129-139 DHHS (NIOSH) [Publication No. 81-108](#).
- ↑ **Wrenn KD, Oschner I [1989].** Rhabdomyolysis induced by a caffeine overdose. *Annals of Emergency Medicine (American College of Emergency Physicians)* **Vol. 18(1)**, pp. 94–97. [DOI:10.1016/S0196-0644\(89\)80323-3](#) ISSN 0196-0644.
- ↑ **Wright HE, Larose J, McLellan TM, Hardcastle SG, Boulay P, Kenny GP [2014].** Moderate-intensity intermittent work in the heat results in similar low-level dehydration in young and older males. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene (AIHA & ACGIH)* **Vol. 11(3)**, pp. 144–153. [DOI:10.1080/15459624.2013.817676](#) ISSN 1545-9624.
- ↑ **1 2 Wyndham CH [1973].** The physiology of exercise under heat stress. *The Annual Review of Physiology* (1973) **Vol. 35(1)**, pp. 193–220. [DOI:10.1146/annurev.ph.35.030173.001205](#) ISSN 0066-4278.
- ↑ **1 2 3 4 Wyndham CH [1974].** 1973 Yant memorial lecture: research in the human sciences in the gold mining industry. *American Industrial Hygiene Association Journal (AIHA & ACGIH)* **Vol. 35(3)**, pp. 113–136. [DOI:10.1080/0002889748507014](#) ISSN 1542-8117.
- ↑ **1 Wyndham CH, Heyns AJ [1973].** The probability of heat stroke developing at different levels of heat stress. *Archives des sciences physiologiques (Centre national de la recherche scientifique, Paris)* **Vol. 27(4)**, pp. 545–562. ISSN 0003-9713.
- ↑ **Xiang J, Bi P, Pisaniello D, Hansen A [2014].** [Health impacts of workplace heat exposure: an epidemiological review](#). *Industrial Health (National Institute of Occupational Safety and Health, Japan)* **Vol. 52(2)**, pp. 91–101. [DOI:10.2486/indhealth.2012-0145](#) ISSN 0019-8366.
- ↑ **Yeargin SW, Casa DJ, Armstrong LE, Watson G, Judelson DA, Psathas E, Sparrow SL [2006].** [Heat acclimatization and hydration status of American football players during initial summer workouts](#). *The Journal of Strength and Conditioning Research (National Strength and Conditioning Association)* **Vol. 20(3)**, pp. 463–470. ISSN 1064-8011. [Ссылка для скачивания](#).
- ↑ **1 2 Zuhl MN, Lanphere KR, Kravitz L, Mermier CM, Schneider S, Dokladny K, Moseley PL [2014].** [Effects of oral glutamine supplementation on exercise-induced gastrointestinal permeability and tight junction protein expression](#). *Journal of Applied Physiology (American Physiological Society)* **Vol. 116(2)**, pp. 183–191. [DOI:10.1152/jappphysiol.00646.2013](#) ISSN 8750-7587.

Приложение А. Уравнение теплообмена.

(в единицах измерения СИ)

Это приложение относится к [Главе 3](#), и его содержание соответствует (скопировано из) Рекомендаций NIOSH 1986 г. [NIOSH \[1986a\]](#). *Criteria for a recommended standard: occupational exposure to hot environments: revised criteria 1986. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health. DHHS (NIOSH) Publication Number 86-113.*

Теплопередача за счёт конвекции (C).

(В единицах измерения СИ)

Алгебраически, теплообмен между телом человека и окружающим воздухом средой можно записать так:

$$C = hc \times (ta - tsk)$$

где

hc - среднее значение коэффициента теплопередачи (за счёт конвекции);

ta = температура воздуха (°C)

tsk = средняя температура кожи (°C)

Значение коэффициента теплопередачи hc для разных частей тела различно [[Nishi 1981](#)]. В основном, оно зависит от диаметра части тела. Например, для туловища значение hc вдвое меньше, чем для бёдер. Значение, используемое как (среднее) значение hc, обычно получают усреднением значений коэффициентов для головы, груди, спины, рук, пальцев и ног. Значение hc находится в диапазоне от 2 до 12 - в зависимости от положения тела и (двигательной) активности.

Кроме того, на коэффициент теплопередачи влияют скорость воздуха, направление движения воздуха, и одежда. Значение средней температуры кожи зависит, вообще говоря, от способа её измерения, количества мест измерений и их положения на теле, и значения (весовых коэффициентов) для результатов, полученных в разных местах проведения измерений.

Многие исследователи пытались найти способ упростить вычисление конвективной теплопередачи. Так, Международная организация по стандартизации (*ISO Working Group on the Thermal Environment, ISO-WGTE*) разработала проект стандарта по вычислению тепловой нагрузки (*Analytical Determination of Heat Stress [ISO 1982b]*)*. Одним из сделанных упрощений было использование только трёх (способов вычислений) величины hc, которая в системе СИ выражается в: Вт / (м² × °C).

* *Этот стандарт был пересмотрен. См.: Ergonomics of the Thermal Environment: Analytical Determination and Interpretation of Heat Stress Using Calculation of the Predicted Heat Strain (Standard No. ISO 7933) [ISO 2004b].*

(a) Когда скорость воздуха очень низкая, и происходит только естественная конвекция (из-за силы тяжести),

$$hc = 2,38 \times (tsk - ta)^{0,25}$$

(b) При принудительном движении воздуха с относительной скоростью (Var) менее 1 м/с,

$$hc = 3,5 + 5,2 \times Var$$

(c) При принудительном движении воздуха с относительной скоростью (Var) свыше 1 м/с,

$$hc = 8,7 \times Var^{0,6}$$

Относительная скорость Var, по определению, равна отношению: скорости воздуха (относительно земли); и скорости тела (или частей тела) по отношению к земле. При движении тела, вызванном выполнением физической работы, Var можно вычислить по формуле:

$$Var = Va + 0,0052 \times (M - 58)$$

где

Va = скорость воздуха, м/с;

M = теплообразование в организме при обмене веществ (Вт/м²).

Но для (большого) упрощения рекомендуется просто добавлять 0,7 м/с к Va для учёта движения тела при физической работе.

Также стандарт ISO-WGTE рекомендует включать в уравнение для вычисления конвективной теплопередачи отдельный коэффициент для учёта одежды, называемый «коэффициентом снижения ощущаемого теплообмена из-за носки одежды» Fcl. Для вычисления этого коэффициента предложено уравнение:

$$Fcl = 1 / (1 + (hc + hr) \times Icl)$$
 (безразмерная величина)

где

hr = коэффициент теплообмена за счёт излучения;

Icl = теплоизолирующие свойства одежды, кло.

Как h_r , так и I_{cl} будут описано более подробно ниже. Стандарт ISO-WGTE рекомендовал использовать значение 36°C ($96,8^\circ\text{F}$) для t_{sk} , так как ожидается, что у работающих в условиях нагревающего микроклимата значение температуры кожи будет близким к этой величине; и возможная погрешность из-за отличия будет невелика. Также предполагается, что при вычислении теплообмена за счёт конвекции (эти показатели откорректированы так, что они) учитывают положение тела работника.

Окончательное уравнение для вычисления теплообмена за счёт конвекции (согласно стандарта ISO-WGTE):

$$C = h_c \times F_{cl} \times (t_a - 36) \quad (\text{Вт/м}^2)$$

Теплопередача за счёт излучения (R).

(В единицах измерения СИ).

Алгебраически, теплообмен между телом человека и окружающими его поверхностями тел за счёт излучения можно описать так:

$$R = h_r \times (T_r - T_{sk})^4$$

где

h_r = среднее значение коэффициента теплопередачи (за счёт излучения);

T_r = средняя температура окружающей среды при теплообмене излучением (*mean radiant temperature*), $^\circ\text{K}$;

T_{sk} = средневзвешенная температура кожи, $^\circ\text{K}$.

Значение h_r зависит от положения тела (облучаемого) работника, и от излучающей способности (*emissivity*) кожи и одежды, а также от теплоизолирующих свойств одежды. От положения тела зависит то, как велика будет площадь тела, подвергающаяся излучению; а от излучающей способности будет зависеть то, какая часть энергии, передаваемая тепловым излучением, будет поглощаться этими поверхностями. От теплоизолирующих свойств одежды будет зависеть то, какая часть тепловой энергии, перенесённой излучением на поверхность одежды, достигнет кожи.

Стандарт ISO-WGTE рекомендует для вычисления теплопередачи за счёт излучения линеаризованное уравнение:

$$R = h_r \times F_{cl} \times (t_r - t_{sk}) \quad (\text{Вт} / \text{м}^2 \times ^\circ\text{C})$$

Влияние теплоизолирующих и теплоизлучающих свойств одежды на теплообмен за счёт излучения учитывается с помощью дополнительного коэффициента (одежды) F_{cl} , который также используется в уравнении для теплообмена за счёт конвекции (C), приведённого выше.

Также рекомендуется вычислять приближённое значение коэффициента h_r :

$$h_r = 4 \times E_{sk} \times A_r / \{ A_{Du} \times [(t_r + t_{sk})/2 + 273]^3 \}$$

$$= \text{постоянная Стефана-Больцмана} = 5,67 \times 10^{-8} \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \times ^\circ\text{K}^4)$$

Влияние излучающей способности кожи на теплообмен за счёт излучения учитывается членом уравнения E_{sk} , которое для инфракрасного диапазона равно 0,97. Влияние положения тела учитывается отношением A_r/A_{Du} , то есть отношением площади кожи, подвергающейся тепловому излучению, к площади всей кожи, вычисляемой по формуле Дюбуа (*DeBois*):

$$A_{Du} = 0,00718 \times (\text{масса тела } W)^{0,425} / (\text{рост } H)^{0,725}$$

В этом уравнении масса тела W выражается в килограммах, а рост H в сантиметрах, в результате вычислений получается площадь кожи A_{Du} в квадратных метрах. В стандарте ISO-WGTE приводятся значения отношения A_r/A_{Du} :

Стоя: 0,77

Сидя: 0,70

Пригнувшись (*Crouched*): 0,67

Значение t_r (средняя температура излучающей поверхности окружающей среды) можно вычислить по формуле:

$$t_r = t_g + 1,8 \times V_a^{0,5} \times (t_g - t_a)$$

Так же, как и в уравнении для теплопередачи за счёт конвекции, можно упростить вышеприведённое уравнение, приняв температуру кожи равной 36°C .

Теплопередача за счёт испарения (E).

(В единицах измерения СИ).

Значение E_{req} – то количество тепла, которое необходимо отвести от тела в окружающую среду за счёт испарения пота с кожи, чтобы избежать перегрева, повышения температуры тела. Однако возможное максимальное количество пота, которое может испаряться с кожи (E_{max}), ограничено:

(a) Производительностью потовых желез;

(b) Способностью воздуха, окружающего тело, принимать испаряющуюся воду;

(с) Тем, что одежда мешает испарению пота.

Как показано в главе 5 (в настоящем документе этот материал изложен в [Главе 4](#)), на производительность потовых желез влияют возраст, пол, степень обезвоживания организма, и акклиматизация.

Стандарт ISO-WGTE [[ISO 1982b](#)] (*этот стандарт пересмотрен, см. Ergonomics of the Thermal Environment: Analytical Determination and Interpretation of Heat Stress Using Calculation of the Predicted Heat Strain (Standard No. ISO 7933) [ISO 2004b]*) рекомендует использовать значения максимальной производительности потовых желез 650 грамм/час для не акклиматизированных людей, и 1040 грамм/час для акклиматизированных людей — «средних» работников, занятых физической работой в условиях нагревающего микроклимата. Но эти значения не являются собственно максимальными значениями — он относится к условиям, которые создают минимальный риск заболеваний из-за перегрева; а при большем поступлении тепла выделение пота может быть другим.

При работе в течение всей смены в условиях нагревающего микроклимата для того, чтобы не произошло снижения работоспособности, суммарная потеря пота за смену не должна превышать 3250 грамм для не акклиматизированного работника, и 5200 грамм для акклиматизированного. Эти величины получены из предположения, что потовыделение будет равномерным в течение 8-ми часов, и что выделение пота за час будет равным приведённым выше значениям (400 и 650 грамм соответственно).

Если воздействие нагревающего микроклимата на работника будет в пределах допустимого, установленного в стандарте; то максимальное выделение пота (также) не будет превышено, и испарение пота с кожи будет ограничиваться лишь способностью окружающего воздуха принимать влагу. (Тогда) максимальное количество пота, которое может испариться с кожи (E_{max} , кг/час) можно вычислить с помощью уравнения из стандарта ISO-WGTE:

$$E_{max} = (p_{sk,s} - p_a) / R_e$$

где

E_{max} = максимальная скорость испарения пота с кожи (Вт/м²)

$p_{sk,s}$ = давление паров воды при температуре кожи 36°C и относительной влажности 100%; принимается равным 5,9 кПа;

p_a = парциальное давление паров воды при относительной влажности 100% и температуре окружающего воздуха (кПа);

R_e = суммарное сопротивление испарению со стороны ограниченного слоя воздуха и одежды (м²×кПа/Вт), вычисляется по формуле:

$$R_e = 1 / (16,7 \times h_c \times F_{pcl})$$

где

h_c = коэффициент теплопередачи за счёт конвекции [Вт / (м² × °С)];

F_{pcl} = Коэффициент для учёта снижения теплообмена (*latent heat exchange*) из-за влияния одежды (безразмерный). Вычисляется по формуле:

$$F_{pcl} = 1 / (1 + 0,92 \times h_c / I_{cl})$$

Примечание к переводу: предположительно, в формуле (выше) - опечатка.

Та же формула (из энциклопедии MOT, 4 издание) выглядит так: $F_{pcl} = 1 / (1 + 2,22 h_c I_{cl})$.

где

I_{cl} = теплоизолирующие свойства одежды (м² × °С / Вт).

Это означает, что способность воздуха принимать испаряющиеся водяные пары зависит от температуры, влажности, и скорости окружающего воздуха, а также от свойств одежды. Но взаимосвязь этих параметров со способностью работника выдерживать воздействие нагревающего микроклимата — очень сложная. Кроме того, ситуация осложняется тем, что для испарения некоторого количества пота его нужно больше, чем испарится — часть пота стечёт, или попадёт на одежду. Чтобы вычислить количество (дополнительного) пота, который стечёт, в стандарте ISO-WGTE приводится уравнения:

$$S_{req} = E_{req}$$

где

S_{req} = требуемое количество пота (Вт/м²). Это количество также можно описать как [г / (час × м²)] × 0,68

E_{req} = требуемое количество испаряющегося пота (Вт/м²), его можно вычислить по формуле $E_{req} = M + C + R$

η = Эффективность испарения пота для человека без одежды; можно вычислить по формуле:

$$\eta = 1 - 0,5 / e^{-6,6(1-w)}$$

где

e = основные натуральных логарифмов;

w = E_{req}/E_{max} , также это отношение называют увлажнённой кожей (доля кожи, покрытая потом, “*wettedness index*”).

улучшает испарение и мешает его стеканию. Так как тонкая трикотажная одежда хорошо прилегает к телу, то в результате испарения пота (с одежды) отвод тепла от тела будет происходить эффективно, без значительных потерь. А если пот пропитывает не плотно прилегающую, свободную одежду, то эффективность испарительного охлаждения будет значительно ниже. Если поступление тепла в организм ($M+C+R$) превысит способность организма охлаждать себя за счёт испарительного охлаждения, то выделение пота может возрасти, чтобы компенсировать поступление тепла. При достаточном поступлении в организм воды и электролитов, и если окружающий воздух сможет принимать дополнительное количество испаряющейся влаги, то такое компенсационное увеличение потовыделения не приведёт к заметному увеличению физиологической нагрузки на человека.

Чтобы обеспечить, что требуемое количество пота S_{req} изменяет своё значение при изменении увлажнённости кожи лишь в той степени, в какой это увеличивает физиологический стресс, отношение E_{req}/E_{max} (увлажнённость кожи) влияет на S_{req} в экспоненциальной степени.

Чем меньше становится отличие E_{req} от E_{max} , тем сильнее влияние увлажнённости кожи w на S_{req} . Это соответствует и стрессу (создаваемому для организма перегревом), и субъективному восприятию нагревающего микроклимата (степень ощущаемого дискомфорта).

В этом отношении показатель S_{req} лучше, чем другие подобные показатели для оценки нагревающего микроклимата – но он требует более сложных вычислений. При использовании вычислительной техники сложность вычислений отходит на второй план. Но возникает вопрос – а нужно ли проводить сложные вычисления, если сами исходные данные не очень точные, если их нельзя точно измерить? К таким переменным относят средневзвешенную температуру увлажнённой кожи, скорость воздуха и направление его движения, положение тела работника и площадь поверхности тела, подвергающаяся воздействию, тепло- и пароизолирующие свойства одежды, и внутреннее теплообразование при выполнении работы.

Для того, чтобы метод расчёт мог применяться на практике, лучше, чтобы он был простым – а не учитывал максимальное количество факторов. В странах, где привыкли использовать единицы измерения, не соответствующие СИ (килокалории, футы и др.) использование формул с параметрами, выражаемыми в этих единицах, может помочь выполнению расчётов. А такие расчёты могут быть полезны для определения того, какой способ защиты от перегрева следует использовать; в какой степени перегрев угрожает работникам; какими должны быть средства коллективной защиты на данном рабочем месте.

Приложение В. Диаграмма для оценки степени обезвоживания организма по цвету мочи.

Такие диаграммы могут использоваться в учебных целях для того, чтобы (наглядно) показать, как влияет степень обезвоженности организма на цвет мочи. При проведении исследования того, насколько хорошо изменение цвета мочи соответствует степени обезвоживания организма, [Armstrong et al. \[1998\]](#) обнаружили, что цвет мочи такой же хороший индикатор, как и осмоляльность мочи, удельный вес мочи, объём мочи, осмоляльность плазмы (крови), концентрация ионов натрия в крови, количество белка в плазме (крови). При проведении более ранних исследований, авторы рекомендовали использовать цвет мочи для оценки состояния работников на предприятиях – это позволило бы получить результат, схожий с результатом при определении плотности или осмоляльности мочи [[Armstrong et al. 1994, 2010](#)].

Хотя цвет мочи достаточно хорошо показывает состояние организма в отношении обезвоженности, но на него также влияет диета, приём лекарств, и заболевания (см. [таблицу В-1](#)).



Таблица В-1. Причины отличия цвета мочи от нормального.

Цвет	Диета	Лекарства	Состояние здоровья
Прозрачный			
Цвет облаков или молочный			Инфекция мочевых путей Бактерии Кристаллы Жир Лейкоциты или эритроциты Слизь
Жёлтый	Витамины		
Оранжевый	Комплекс витаминов D Каротин Морковь	Рифампицин Сульфасалазин (Azulfidine) Феназопиридин (пиридиум) Слабительные Химиотерапевтические препараты	Состояние (патология) печени или желчных протоков
От красного до розового	Свекла Ежевика (черника, чёрная смородина) Ревень	Рифампицин (Рифадин, Риматан) Феназопиридин (Phenazopyridine) Слабительные средства , содержащие сенну	Кровь (инфекционное заболевание или рак) Токсичные вещества (при отравлении свинцом или ртутью)
Цвет портвейна или розовый			Порфирия (наследственное заболевание)
Зелёный или голубой	Красители, добавляемые в продукты	Амитриптилин Индометацин (Индоцин) Пропофол (Диприван) Лекарства, содержащие метиленовый синий	
Коричневый	Бобовые Ревень Алоэ Заболевания печени или почек (цирроз)	Антималарийные препараты (хлорохин , примахин) Антибиотики (метронидазол , нитрофурантоин) Слабительные средства , содержащие каскару или сенна	Инфекционные заболевания мочевыводящих путей

Источник: [Mayo Clinic 2011](#); [Medline Plus 2011](#); [Watson 2011](#).

Приложение С. Показатель температуры.

Heat Index

Национальное управление океанических и атмосферных исследований (NOAA) опубликовало свои данные о степени риска и требованиях к защитным мероприятиям при разных значениях показателя температуры ([таблица С-0](#), см. ниже; есть калькулятор [онлайн](#)). Показатель температуры (*Heat Index*) – это комплексный показатель, учитывающий и температуру воздуха, и относительную влажность так, чтобы получить значение, отражающее субъективное ощущение жары человеком. Значения показателя температуры разрабатывались для следующих условий: в тени, при слабом ветре. Поэтому при прямом воздействии солнечных лучей это значение может возрасти, например, на величину до 8 градусов (Цельсия, и до 15 градусов Фаренгейта).

Также метеослужба США может выпускать (публиковать) прогнозы тепловой обстановки:

- Сохранение повышенной температуры: показатель температуры от 41 до 43 °C (105–110°F) в течение следующих 3-7 дней.
- Ожидаемая высокая температура (возможно появление чрезмерно высокой температуры в течение следующих 24-72 часов).
- Опасное повышение температуры. В течение следующих 24 часов, с большой вероятностью, повышение температуры будет настолько большим, что будет представлять опасность для жизни.
- Повышение температуры. Значения показателя температуры такие, что жара приносит дискомфорт, но не представляет опасности для жизни при соблюдении мер безопасности.

Таблица С-0. Уровни опасности при разных значениях температуры и влажности. Источник: [NOAA \[2012\]](#).

		Температура, °C (°F)															
		27	28	29	30	31	32	33	34	36	37	38	39	40	41	43	47
		(80)	(82)	(84)	(86)	(88)	(90)	(92)	(94)	(96)	(98)	(100)	(102)	(104)	(106)	(108)	(110)
Относительная влажность, %	40	27 (80)	27 (81)	28 (83)	29 (85)	31 (88)	33 (91)	34 (94)	36 (97)	38 (101)	41 (105)	43 (109)	46 (114)	48 (119)	51 (124)	54 (130)	58 (136)
	45	27 (80)	28 (82)	29 (84)	31 (87)	32 (89)	34 (93)	36 (96)	38 (100)	40 (104)	43 (109)	46 (114)	48 (119)	51 (124)	54 (130)	58 (137)	
	50	27 (80)	28 (83)	29 (85)	31 (88)	33 (91)	35 (95)	37 (99)	39 (103)	42 (108)	45 (113)	48 (118)	51 (124)	55 (131)	58 (137)		
	55	27 (80)	29 (84)	30 (86)	32 (89)	34 (93)	36 (97)	38 (101)	41 (106)	44 (112)	47 (117)	51 (124)	54 (130)	58 (137)			
	60	28 (82)	29 (89)	31 (88)	33 (81)	35 (95)	38 (100)	41 (105)	43 (110)	47 (116)	51 (123)	54 (129)	58 (137)				
	65	28 (82)	29 (85)	32 (89)	34 (93)	37 (98)	39 (103)	43 (108)	46 (114)	49 (121)	53 (128)	58 (136)					
	70	28 (82)	30 (86)	32 (90)	35 (95)	38 (100)	41 (105)	46 (112)	48 (119)	52 (126)	57 (134)						
	75	29 (84)	31 (88)	33 (92)	36 (97)	39 (103)	43 (109)	47 (116)	51 (124)	56 (132)							
	80	29 (84)	32 (89)	34 (94)	38 (100)	41 (106)	45 (113)	49 (121)	54 (129)								
	85	29 (84)	32 (90)	36 (96)	39 (102)	43 (110)	47 (117)	52 (126)	57 (135)								
	90	30 (86)	33 (91)	37 (98)	41 (105)	45 (113)	50 (122)	55 (131)									
	95	30 (86)	34 (93)	38 (100)	42 (108)	47 (117)	53 (127)										
100	31 (87)	35 (95)	39 (103)	44 (112)	49 (121)	56 (132)											

Риск развития заболеваний из-за воздействия нагревающего микроклимата, или выполнения физической работы:

Внимание	Повышенное внимание	Опасность	Очень сильная опасность
----------	---------------------	-----------	-------------------------

Метеослужба (NOAA) использует 4 уровня риска для оценки опасности для здоровья и требования к мерам по защите. Управление по охране труда (OSHA) модифицировало [таблицу С-1](#) для использования на своём сайте.

Таблица С-1. Требования к мерам по защите работников при разном показателе температуры.

Показатель температуры (<i>heat index</i>)	Уровень риска	Меры по защите работников
До 33°C (<i>до 91°F</i>)	Низкий (наблюдение)	Общие мероприятия по планированию работ по охране труда
От 33 до 39°C (<i>91 - 103°F</i>)	Умеренный	Принятие мер предосторожности, и повышение информированности об опасности
От 39 до 46°C (<i>103 - 115°F</i>)	Высокий	Принятие дополнительных мер предосторожности
Свыше 46°C (<i>свыше 115°F</i>)	Очень высокий, экстремальный	Принятие самых эффективных мер по защите работников

Источник: [OSHA \[2012c\]](#).

Дополнительную информацию о мерах предосторожности и для защиты работников можно найти на сайте OSHA.

Примечание: если теплопередача за счёт излучения вносит значительный вклад в поступление тепла в организм, то может снизить точность и полезность приведённого выше показателя температуры.

Вклад Института охраны труда (NIOSH) в развитие страны:

обеспечение безопасных и гигиеничных условий труда для всех работников
за счёт исследований и профилактики.

Для получения документов, опубликованных NIOSH, или ной информации, свяжитесь с нами:
телефон 1-800-CDC-INFO (1-800-232-4636); ТТУ: 1-888-232-6348 ; E-mail: cdcinfo@cdc.gov
или посетите наш сайт: www.cdc.gov/niosh.

Для получения ежемесячных новостных сообщений,
Вы можете подписаться на NIOSH eNews по ссылке www.cdc.gov/niosh/eNews.

DHHS (NIOSH) Publication No. 2016-106

Публикации о заболеваемости и СИЗ от перегрева

¹ При попытке найти какие-нибудь данные о несчастных случаях и/или профзаболеваниях в РФ, вызванных перегревом работников оказалось, что в докладе Роспотребнадзора такие случаи отдельно не упомянуты вообще; а общее число профзаболеваний (*вопреки большой доле рабочих мест с вредными условиями труда*) в 2017 г. стало менее 5 тыс., что с учётом численности населения – в десятки раз меньше, чем в развитых странах с лучшими условиями труда. Источник:

Раздел «Анализ профессиональной заболеваемости» // [О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад](#). — Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2018. — С. 94-104. — 268 с. — 300 экз. — ISBN 978-5-7508-1626-2.

² *Величковский Б.Т., Власова В.Н.* Силикоз и его профилактика у рабочих, занятых на электроплавке кремния // Вопросы гигиены труда, профпатологии и промышленной токсикологии: [рус.] / Михайлов В.А. — Свердловск : Свердловский НИИ гигиены труда и профпатологии, 1958. — Том III, Часть 1. — С. 155-166. — 202 с. - 1100 экз.

³ *Шантала В.А.* Состояние терморегуляции, водно-солевого С-витаминного обмена у горнорабочих глубоких шахт при различных питьевых режимах // Вопросы гигиены труда и профессиональной патологии в угольной, горнорудной и металлургической промышленности: [рус.] / Оношко Б.И. — Киев : Издательство "Здоров'я", 1968. — С. 45-57. — 174 с. - 2000 экз. — (материалы научной сессии Донецкого НИИ гигиены труда и профзаболеваний).

⁴ В некоторых странах с жарким климатом имеется обычай: делать в середине дня, когда жара наиболее сильная, перерыв в работе (*сиеста*) - что смещает время работы на утро и вечер, когда температура воздуха и солнечное излучение слабее

⁵ *Максимович В.А.* Противотепловые средства индивидуальной защиты для сварщиков // Гигиена труда / Кундиев Ю.И. — Выпуск 19. — Киев: Издательство "Здоров'я", 1983. — С. 34-36. — 112 с. — (Республиканский междуведомственный сборник). — 1000 экз. - ISSN 0376-253X.

⁶ *Гамцемлидзе Т.Ш., Чинчаладзе Г.Г., Бучукури Н.Н., Якобидзе Н.Н.* К вопросу физиолого-гигиенической оценки нового СИЗ для рабочих, занятых горячим ремонтом стекловаренных печей // Улучшение условий и охраны труда / Цуцков М.Е. — Москва: Профиздат, 1982. — С. 115-117. — 136 с. — (Сборник научных работ институтов охраны труда ВЦСПС). — 5000 экз.

⁷ *Каневская С.М., Миронов Л.А.* Пневматическое приспособление для работы в горячих цехах (рус.) // НИИ медицины труда АН СССР. Гигиена труда и профессиональные заболевания. — Москва, 1958. — № 6. — С. 64-68. — ISSN 0016-9919.

⁸ *Лях Г.Д.* Особенности терморегуляции организма рабочих горячих цехов в климатических условиях пустынь // Гигиена труда и профессиональные заболевания: Второй объединённый съезд гигиенистов, эпидемиологов, микробиологов, и инфекционистов Казахстана: [рус.] / Атчабаров Б.А. — Алма-Ата, 1975. — Т. 2. — С. 140-141. — 316 с. — 500 экз.

⁹ *Саливов С.Г.* О зависимости охлаждающего эффекта от влажёмкости и конструкции экрана (рус.) // Гигиена и санитария. — Москва, 1970. — № 6. — С. 22-26. — ISSN 0016-9900.

¹⁰ *Чинчаладзе Г.Г., Гамцемлидзе Т.Ш., Гегелов М.С., Якобидзе Н.Н.* Индивидуальная защита работающих в условиях высокого теплового воздействия // Безопасность труда на производстве: [рус.] / Цуцков М.Е. — Москва: Профиздат, 1981. — С. 110-113. — 140 с. — (Сборник научных работ институтов охраны труда ВЦСПС). — 5000 экз.

¹¹ *Акимов В.И., Малкиман И.И., Селиванов В.В.* Применение автономной криогенной системы обеспечения жизнедеятельности человека // Медико-технические проблемы индивидуальной защиты человека. : Физиологические, гигиенические и психофизиологические вопросы индивидуальной защиты человека. : [рус.] / Кощеев В.С. — Москва: Институт биофизики Минздрава СССР, 1988. — С. 10-18. — 199 с. — (Сборник научных трудов). — 500 экз.

¹² *Райхман С.П., Бубнов В.В.* Тепловые нагрузки и физическая работоспособность человека при использовании средств индивидуальной защиты (рус.) // Гигиена и санитария. — Москва, 1976. — № 3. — С. 41-45. — ISSN 0016-9900.