

Этот доклад отражает согласованные взгляды международной группы экспертов и не обязательно представляет решения и официальную политику Всемирной организации здравоохранения

**ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ  
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКЛАДОВ  
№ 412**

**ФАКТОРЫ,  
ВЛИЯЮЩИЕ НА ЗДОРОВЬЕ  
В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ  
ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

**Доклад Научной группы ВОЗ**

Выпущено издательством «Медицина» по поручению Министерства здравоохранения Союза Советских Социалистических Республик, которому ВОЗ вверила выпуск данного издания на русском языке.

**ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ  
ЖЕНЕВА**

1970

Всемирная организация здравоохранения, 1970

На публикации Всемирной организации здравоохранения распространяются положения протокола № 2 Всемирной конвенции об охране авторских прав. Тем не менее правительственные органы, научные или профессиональные общества могут перепечатывать данные, делать выдержки или воспроизводить иллюстрации из них без специального на то разрешения Всемирной организации здравоохранения.

Заявления о разрешении на перепечатку или перевод публикаций ВОЗ *in toto* следует направлять в Отдел публикаций и справочных служб Всемирной организации здравоохранения, Женева, Швейцария. Всемирная организация здравоохранения охотно удовлетворяет такие просьбы.

Ответственность за взгляды, выраженные в Тетрадях общественного здравоохранения ВОЗ, несут только авторы.

Обозначения, используемые в настоящем издании, и приводимые в нем материалы ни в коем случае не выражают мнение Генерального директора Всемирной организации здравоохранения о юридическом статусе какой-либо страны или территории, ее правительстве или о ее государственных границах.

Упоминание некоторых компаний или продукции отдельных изготовителей не означает, что Всемирная организация здравоохранения отдает им предпочтение по сравнению с другими, не упомянутыми в тексте, или рекомендует их к использованию. Как правило, патентованные наименования выделяются начальными прописными буквами.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение . . . . .	5
2. Реакции человека на высокие температуры . . . . .	7
2.1 Общие соображения . . . . .	7
2.2 Индивидуальные факторы . . . . .	10
2.3 Частота пульса . . . . .	15
2.4 Внутренняя температура тела . . . . .	20
2.5 Потоотделение . . . . .	23
3. Показатели тепловой нагрузки . . . . .	25
3.1 Введение . . . . .	25
3.2 Шкалы откорректированных эффективных температур . . . . .	29
3.3 Вычисленная интенсивность потоотделения в течение 4 часов . . . . .	31
3.4 Показатели теплового баланса . . . . .	33
4. Рекомендации для исследований . . . . .	36
Приложение. Конвенции и рекомендации секций Международного бюро труда; разделы, касающиеся работы в условиях повышенных температур . . . . .	39

**НАУЧНАЯ ГРУППА ВОЗ ПО ИЗУЧЕНИЮ ФАКТОРОВ,  
ВЛИЯЮЩИХ НА ЗДОРОВЬЕ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ  
ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

*Женева, 29 августа — 4 сентября 1967 г.*

*Члены комитета:*

- Д-р H. S. Belding, профессор физиологии окружающей среды, кафедра профессиональной гигиены, Питтсбургский университет, Пенсильвания, США (*председатель*)
- Д-р B. Givoni, заведующий кафедрой строительной климатологии, Израильский технологический институт, Хайфа, Израиль
- Д-р M. N. Gupta, директор исследовательского отдела Центрального института труда при Министерстве труда, занятости и реабилитации, Бомбей, Индия
- Д-р N. Natag, заведующий кафедрой физиологии, Национальный институт профессиональной гигиены, Будапешт, Венгрия
- Д-р F. Lavenne, профессор медицины, руководитель медицинских исследований Института гигиены горно-рудной промышленности, Хасселт, Бельгия (*заместитель председателя*)
- Д-р A. R. Lind, лаборатория сердечно-легочных исследований, медицинский центр при Индианском университете, военно-воздушная база Райт Петерсон, Огайо, США (*докладчик*)
- Д-р B. Metz, профессор физиологии, центр биоклиматических исследований, Страсбург, Франция
- Д-р C. X. Шахбазьян, профессор профессиональной гигиены, Киевский медицинский институт, Киев, УССР
- Д-р H. G. Wenzel, заведующий второй кафедрой физиологии, Институт профессиональной физиологии имени Макса Планка, Дортмунд, ФРГ

*Представители других организаций:*

*Международная организация труда.*

- Д-р G. Lambert, отделение охраны труда и профессиональной гигиены, МОТ, Женева

*Международный совет научных союзов:*

- Д-р J. R. Allan, врач (исследователь), Институт авиационной медицины, Королевские военно-воздушные силы, Фанборо, Хентс, Англия

*Секретариат:*

- Д-р A. Bell, главный врач, Комитет социальной и профессиональной гигиены, ВОЗ, Женева (*секретарь*)
- Д-р C. S. Leithead, профессор медицины, медицинский факультет, Университет имени Хайля Селлесия I, Адисс-Абеба, Эфиопия (*консультант*)

# **ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЗДОРОВЬЕ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

**Доклад научной группы ВОЗ**

Научная группа ВОЗ по изучению факторов, влияющих на здоровье в условиях работы при высоких температурах, заседала в Женеве с 29 августа по 4 сентября 1967 г. По поручению Генерального директора ВОЗ заседание открыл помощник Генерального директора д-р S. Karetta-Smart. Он указал, что уровень жизни и здоровье населения тесно связаны с производительностью промышленности, которая в свою очередь зависит от эффективности труда и здоровья рабочего. Особенно важное значение профессиональное здравоохранение имеет для развивающихся стран, где квалифицированный труд встречается очень редко и замена его часто является трудноразрешимой проблемой. Д-р Karetta-Smart подчеркнул, что защита рабочего от воздействия потенциально вредных в физическом отношении факторов внешней среды чрезвычайно важна, и в этой связи высокая температура представляет наиболее часто встречающуюся опасность. Очевидно, проблема высоких температур значительно серьезнее для развивающихся стран, так как большинство из них расположено в тропическом или субтропическом поясе.

Д-р H. S. Belding был избран председателем, д-р E. Lavenp — заместителем и д-р A. R. Lind — докладчиком.

## **I. ВВЕДЕНИЕ**

В таких отраслях промышленности как горнодобывающая, сталелитейная, стекольная, а также при строительстве дорог и в сельском хозяйстве рабочие часто подвергаются жестокому воздействию высокой температуры окружающей среды, которая может представлять опасность для их здоровья и даже жизни. Действительно, тяжелая физическая работа или другие виды физической нагрузки в условиях высокой темпе-

ратуры являются главной опасностью, так как фактически общая тепловая нагрузка на организм является суммой тепла окружающей среды и тепла, выделяющегося при обмене веществ. Физиологи, инженеры и врачи уделяют все большее внимание этой проблеме, благодаря чему теперь больше известно об определении и оценке трех важных аспектов: а) компонентов воздействия тепловой нагрузки, из которых основными являются тепло, выделяемое при обмене веществ, температура воздуха, влажность, движение воздуха и температура излучения; б) реакциях человека на работу при повышенной температуре с точки зрения температуры тела, частоты пульса и потоотделения; в) видах горячей среды, которую человек переносит легко, менее легко и только в течение строго ограниченного времени.

Изучение этих факторов описано в произвольно выбранных терминах, где *тепловая нагрузка* (*heat stress*), *тепловое напряжение* (*heat strain*), *пределы переносимости* и *оптимальные условия* являются примерами<sup>1</sup>. Информация, получаемая в результате изучения различных производственных вредностей, обусловленных высокими температурами, очень часто имеет лишь местное значение. В то же время для проведения исследований необходим строгий контроль среды и свойств человеческого организма в условиях высоких температур, и поэтому эти исследования проводятся в течение многих лет в специальных термических лабораториях. К сожалению, существует слишком мало доступных публикаций, в которых делались бы серьезные попытки обеспечить правительства, руководителей производства, инженеров, медицинских работников и гигиенистов имеющейся и доступно изложенной информацией.

Кроме того, имеющаяся информация почти исключительно относится к развитым странам и не может быть использована безоговорочно в тропических странах. В тропических условиях рабочий подвергается одновременно воздействию тепла как на производстве, так и в окружающей среде, и нередко вынужден выполнять тяжелую работу в условиях высоких температур в течение 8-часовой смены и жить много

---

<sup>1</sup> Термины «нагрузка» (*«stress»*) и «напряжение» (*«strain»*) используются в смысле, принятом в инженерной практике. Тепловая нагрузка — это количество тепла, которое должно быть удалено для того, чтобы тело находилось в термическом равновесии, и которое представляет сумму тепла обмена веществ (минус внешняя работа) и дополнительные количества или потери за счет конвекции и излучения. Тепловое напряжение — физиологические или патологические изменения, происходящие под воздействием тепловой нагрузки, т. е. увеличение пульса и температуры тела, потоотделения, тепловые удары, нарушения водного и солевого баланса.

месяцев подряд, не отдохшая от жары даже в ночное время. Дело усложняется еще и тем, что питание рабочего часто недостаточно и не восстанавливает его сил после тяжелого труда. В связи с быстро развивающейся промышленностью в тропических странах необходимо иметь более полную информацию по этому вопросу. На обязанности правительства и руководителей промышленных предприятий, а в некоторых случаях и профсоюзов, лежит стимулирование исследований тех факторов окружающей среды на производстве, которые непосредственно влияют на здоровье рабочего, производительность его труда и возможности для отдыха. В необходимых случаях этим исследованиям должна оказываться финансовая поддержка. Соответствующее внимание должно быть уделено профессиональным аспектам, таким, как конструкция фабрики, кондиционирование воздуха, инженерный контроль за отдельными источниками тепла, наличие прохладных комнат для отдыха, улучшение технологии производства, правильный выбор времени работы, постоянное снабжение питьевой водой, медицинские осмотры и обеспечение защитной одеждой. Следует также считать совершенно необходимым создание соответствующих жилищных условий и организацию правильного питания.

## 2. РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА ВЫСОКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

### 2.1 Общие соображения

Сложная система терморегуляции у человека обеспечивает поддержание термического равновесия внутренних тканей тела в пределах относительно узкого диапазона температур. Если внутренняя температура тела должна поддерживаться в равновесии, то количество тепла, получаемое телом, должно равняться отдаваемому им количеству тепла. Так как количество получаемого тепла изменяется в широких пределах в зависимости от затрачиваемой энергии и условий окружающей среды, то механизмы, контролирующие отдачу тепла, должны быть по необходимости гибкими и эффективными. В конечном счете теплообмен между телом и окружающей его средой зависит от разности температуры и давления паров кожи и среды. Три механизма участвуют в теплообмене:

- 1) Тело получает или отдает тепло путем конвекции, когда температура воздуха относительно выше или ниже температуры кожи; при увеличении скорости движения воздуха увеличивается конвекционный теплообмен.
- 2) Когда температура

окружающей среды выше или ниже температуры кожи, тепло получается или теряется путем излучения. 3) В результате потоотделения тело теряет тепло; количество пота, которое может испариться, и, следовательно, эффективность потоотделения для охлаждения, зависит от разницы давления окружающей среды и кожи и увеличивается с увеличением движения воздуха. Коэффициенты теплообмена, осуществляемые по этим трем путям, были определены экспериментальным путем и могут использоваться в расчетах теплообмена человеческого тела при условии, что температура воздуха, влажность, количество тепла, передаваемого путем излучения, и скорость движения воздуха известны. Зная дополнительно количество тепла, производимого при обмене веществ, тепловой баланс может быть выражен просто арифметически:  $M \pm C \pm \pm R - E = \pm S^1$ , где  $M$  — тепло, производимое за счет обмена веществ;  $C$ ,  $R$  и  $E$  соответственно конвекционный, лучевой и полученный за счет потоотделения теплообмены;  $S$  — количество тепла, полученное или отданное внутренними тканями, влекущее за собой повышение или понижение температуры тела. Если тело поддерживается в состоянии термического равновесия, тогда  $S$  равно нулю.

На эти чисто физические взаимосвязи влияет динамическое действие двух физиологических механизмов, регулирующих сердечно-сосудистые функции и потоотделение. В добавление к изменению скорости передачи тепла от внутренних тканей тела к периферическим оба этих механизма могут изменять и температуру, и давление паров на поверхности кожи и, таким образом, влиять на теплообмен между телом и окружающей средой. Эти динамические изменения нельзя рассматривать без оценки состояния организма в целом, так как существует много связанных с ними физиологических реакций, например, реакций, влияющие на водно-солевой баланс и на гуморальные функции, которые действуют на терморегулирующую систему в жарком климате.

Можно ожидать, что физиологическая нагрузка, испытываемая человеком во время работы в горячей среде, будет связана с общей тепловой нагрузкой, которой он подвергается. Это логическое предположение являлось предметом многих исследований, в которых часто ставилась дополнительная цель составления шкалы тепловой нагрузки, с помощью

---

<sup>1</sup> Эта формула была впервые выведена Уинслоу, Херрингтоном и Гегги в 1936 г. (журнал *Amer. J. Physiol.*, 116, 641, США); с того времени она использовалась многими авторами. Буква  $S$ , представляющая собой изменение количества тепла тела, в настоящее время иногда заменяется буквой  $Q$ .

которой можно было бы оценить условия, производящие эквивалентную физиологическую нагрузку; некоторые из этих шкал описаны ниже. Пытаясь определить различные условия обмена веществ и окружающей среды, которые дают одну и ту же физиологическую нагрузку, необходимо измерять уровень или изменения нескольких функций организма, причем следует измерять те, которые являются продуктом терморегуляции или тесно связаны с ней. Очевидно, что температура внутренних тканей тела и должна дать некоторые данные о степени нагрузки, которой подвергается терморегулирующая система. Кроме того, частота пульса может рассматриваться как простой и постоянно доступный контролю индикатор требований, которые предъявляются к сердечно-сосудистой системе работой и тепловой нагрузкой, и количество выделяемого пота, очевидно, отражает тепловое напряжение, так как потоотделение является главной защитой тела от перегрева. Фактически сейчас возможно сделать общий анализ факторов, вызывающих изменения этих функций в ответ на различные уровни обмена веществ и воздействий окружающей среды и определить, какие измерения являются наиболее подходящими для тех или иных целей. Способы, с помощью которых это может быть сделано, описаны в главе об индексах тепловой нагрузки. Большинство исследователей пытаются измерить две или более физиологических функций и соединить их в один индекс теплового напряжения при любых заданных условиях. Это правильный путь, так как терморегуляция представляет собой очень сложный механизм и его компоненты подвержены различным влияниям в зависимости от климатической тепловой нагрузки и активности обмена веществ. Тем не менее на рабочем месте не всегда возможно сделать достоверные измерения необходимых факторов одновременно. Однако нередко бывает необходимо исследовать тот или другой из этих факторов как в отдельности, так и совместно. Стоит обсудить значимость каждого измерения в отдельности и решить вопрос, дают ли они практические достоверные сведения о том, подвергается или нет человеческий организм перенапряжению при данной тепловой нагрузке.

Естественно, большая часть имеющейся информации была получена экспериментально в исследовательских лабораториях. Незначительное количество информации получено в промышленных условиях. Крайне желательно, чтобы это положение изменилось в лучшую сторону, так как многие практические детали, характерные для промышленных условий, возможно, повлияют на результаты терморегуляционных про-

цессов, наблюдаемых при экспериментальном изучении. Например, совершенно нет сведений об интенсивности обмена веществ у промышленных рабочих тропических стран, где вес человеческого тела значительно меньше, чем в Европе и США; очень мало известно о том, как состояние питания и здоровья, изменения в экономических, технических и жилищных условиях могут влиять на физиологическую реакцию в условиях индустриальных тепловых нагрузок. Существует целый ряд индивидуальных факторов, причем известно, что некоторые из них влияют на систему терморегуляции. Необходимо рассмотреть некоторые из этих факторов, прежде чем приступить к рассмотрению специфических физиологических измерений.

## 2.2 Индивидуальные факторы

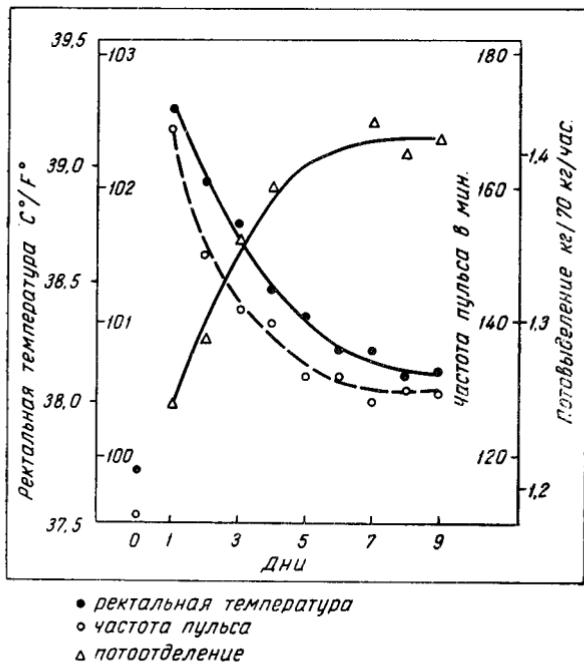
Существует ряд факторов, которые усложняют определение эффекта теплового воздействия; одни из них легко определяются и измеряются, другие — нет. В отношении некоторых из них получена обширная информация, в отношении других — почти ничего не известно. При проведении исследований на группе людей, подверженных воздействию тепла, часто обнаруживается, что реакция одного или нескольких человек совершенно отличается от реакции их товарищей. Эти различия, вероятно, просто отражают различия в физиологических состояниях, обусловленные акклиматизацией, возрастом и физическими возможностями, или являются результатом полового различия, комплекции и этнического происхождения. Важным фактором является одежда, так как она находится в непосредственной близости с кожей и, следовательно, влияет на взаимоотношения между телом и окружающей средой. Ниже обсуждаются различные факторы, влияющие на реакцию при тепловом воздействии.

### Акклиматизация

Под тепловой акклиматизацией понимается серия физиологических изменений, происходящих в тех случаях, когда человек, привыкший жить в прохладном климате, неожиданно попадает в жаркий климат. Подобные изменения имеют место у лиц, которые живут в теплых странах во время сезонных колебаний температуры, особенно когда эти повышения температуры неожиданны или когда сидячая работа сменяется деятельностью, требующей физической активности. Эти изменения окружающей среды вызывают физиологиче-

ские напряжения, которые смягчаются акклиматизацией. Фактически тепловая акклиматизация — один из наиболее драматических примеров физиологической приспособляемости к изменившейся внешней среде. В задачи этого доклада не входит описание всех этапов этого процесса, так как они

РИС. 1. ИЗМЕНЕНИЕ РЕКТАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, ЧАСТОТЫ ПУЛЬСА И ПОТООТДЕЛЕНИЯ ВО ВРЕМЯ АККЛИМАТИЗАЦИИ



В день 0 рабочие работали в течение 100 минут, затрачивая 300 ккал/час в прохладном климате. С 1-го дня они выполняли ту же работу, но в условиях жаркого климата с температурой по сухому термометру  $48,9^{\circ}\text{C}$  и влажному —  $26,7^{\circ}\text{C}$ .

отражены в других изданиях. Во время первой тепловой нагрузки у неакклиматизированного человека наблюдается высокая ректальная температура, частый пульс и низкое потоотделение (рис. 1); он испытывает чувство дискомфорта и даже физическое недомогание, которое при определенных условиях может быть настолько тяжелым, что дальнейшее пребывание в условиях повышенной температуры следует считать недопустимым.

Результатом акклиматизации является уменьшение чувства дискомфорта и физического недомогания — падение внутренней температуры, снижение частоты пульса и увеличение потоотделения. С достаточным основанием можно сказать, что главное преимущество акклиматизации заключается в усилении выделения пота и понижении температуры кожи. Процесс акклиматизации происходит в течение первых 4—6 дней при условии повторяемых или непрерывно продолжающихся тепловых нагрузок и завершается, или почти завершается, в течение двух недель. Акклиматизация является понятием относительным в том смысле, что люди, полностью акклиматизированные в их условиях работы, не являются полностью акклиматизированными в условиях, где тепловая нагрузка выше. Так как общая тепловая нагрузка включает в себя и тепло, образуемое в результате обмена веществ, очевидно, что работник, занимающийся «сидячим» трудом в жарком климате, не акклиматизирован для выполнения тяжелой физической работы в том же климате, и при попытках выполнять такую работу почувствует дискомфорт и физическое недомогание. На первый взгляд кажется, что преимущества акклиматизации быстро исчезают, хотя на самом деле они могут сохраняться полностью в течение 3—4 недель. Очевидно, что чрезмерные тепловые напряжения имеют место значительно чаще в организме человека, полностью неакклиматизированного для работы в жарком климате; нарушения нормального функционирования организма можно ожидать у вновь прибывших в течение первой недели пребывания в жарком климате, и тех, кто вернулся к месту работы после двухдневного и более продолжительного отсутствия.

### *Возраст*

Сведений о влиянии возраста на физиологические реакции, вызванные повышенной температурой, имеется недостаточно. Имеющиеся данные позволяют сделать вывод, что пожилые люди переносят акклиматизацию хорошо, хотя физиологическое напряжение, вызванное средними и высокими тепловыми нагрузками, увеличивается с возрастом, вероятно, вследствие ухудшения деятельности сердечно-сосудистой системы. Хорошо известно, что максимальная частота пульса и максимальная работоспособность постепенно уменьшаются с возрастом. Выделение тепла в результате обмена веществ для данного количества внешней работы почти не увеличивается с возрастом. Данных, свидетельствующих об уменьшении с возрастом максимальной величины внутренней температуры

не имеется. Реакция потовых желез на изменение температуры с возрастом становится более медленной, таким образом, потоотделение становится менее эффективным механизмом регулирования температуры тела. Учитывая большую возрастную разницу у людей, занятых в промышленности, срочно необходимо получить более полные данные для того, чтобы количественно определить степень увеличения теплового напряжения с возрастом.

Необходимо помнить, что в определенных отраслях промышленности несовершеннолетние вынуждены работать в «горячих» условиях; администрация и медицинские работники, занимающиеся проблемами профессиональных заболеваний, вероятно, должны разработать специальные условия приема на работу и медицинского обслуживания этой группы рабочих.

### Пол

Ввиду значительного числа женщин, занятых в ряде отраслей промышленности, следует точнее изучить различия в системах терморегуляции в зависимости от пола. В соответствии с имеющимися сведениями существует незначительная разница в способности у акклиматизированных мужчин и женщин к потоотделению в жарком климате, но получены данные, показывающие, что женщины не так хорошо переносят акклиматизацию, как мужчины, что, вероятно, связано с присущей женщинам меньшей пропускной способностью сердечно-сосудистой системы. Беременность сопровождается интенсивными изменениями во многих физиологических системах, из которых особенно важной в этой связи является сердечно-сосудистая система и, следовательно, возможно ожидать увеличения физиологического напряжения от пребывания в условии повышенной температуры.

Во многих странах существует законодательство, ограничивающее использование женщин на работе, особенно в период беременности. Помимо этого, существуют международные рекомендации по этому вопросу (см. приложение).

### Этнические различия

Реакции на тепловые нагрузки различных этнических групп изучались на сравнительной экспериментальной базе. Как ни странно, различия между группами были меньше, чем различия, обусловленные телосложением. Требуются дополнительные данные по этому вопросу, как экспериментальные, так и в результате наблюдений в естественных условиях.

### *Комплекция*

Теоретически можно было бы ожидать, что комплекция имеет заметное влияние на терморегулирующую систему. Конечно, было неоднократно продемонстрировано, что полные люди подвержены тепловым ударам в большей степени, чем худощавые. Возможно, этот факт является следствием того, что полные люди имеют меньшее соотношение наружной поверхности (рассеивание тепла) к весу тела (генерация тепла) и частично менее удовлетворительное функционирование сердечно-сосудистой системы. Худощавые люди могут испытывать несколько более высокую тепловую нагрузку при выполнении определенного задания, так как предполагается, что максимум их физической работоспособности ниже и, следовательно, они используют большую часть своих максимальных возможностей для выполнения того или иного задания. Помимо этих рассуждений, по-видимому, нет оснований считать, что различное телосложение оказывает влияние на физиологическую реакцию при тепловой нагрузке.

### *Физическая подготовленность*

Хотя физическую подготовленность трудно определить, она является широко признанным понятием. Несомненно, люди акклиматизируются значительно легче к работе в горячих условиях, если они физически приспособлены к этому. В основном это происходит за счет большей производительности сердечно-сосудистой системы. О влиянии других факторов ничего определенного сказать нельзя.

### *Одежда*

На многих промышленных производствах значительное количество одежды требуется для защиты кожи от порезов, загрязнений и вредных веществ. Непосредственный контакт между одеждой и телом может сильно влиять на теплообмен и, следовательно, на тепловую нагрузку в любом случае. Влияние одежды очень большое, так как она уменьшает потери тепла через испарение пота, конвекцию и лучевой теплообмен; степень уменьшения всех трех величин может изменяться в зависимости от толщины используемого материала, его цвета, а также покрова одежды.

Рабочие, подвергающиеся в помещении ультракрасному облучению, и рабочие, подвергающиеся на открытом воздухе солнечному облучению, могут значительно уменьшить тепло-

вую нагрузку с помощью одежды, но в то же время уменьшить охлаждение через испарение. Поэтому, если необходимо определить влияние одежды, желательно анализировать эти факторы в отдельности. Вообще говоря, в условиях жаркого климата, где лучевая тепловая нагрузка мала, рекомендуется носить как можно меньше одежды, насколько это допустимо; если же тепловая нагрузка в результате излучения высока, то для ее уменьшения рекомендуется носить одежду, полностью закрывающую тело, для уменьшения общего количества получаемого тепла<sup>1</sup>. В любом случае одежда должна быть свободного покроя и сделанной из легкого материала.

Необходимо подчеркнуть, что защитная одежда для специальных целей может способствовать повышению общей тепловой нагрузки, особенно если она пропускает водяные пары, таким образом, сильно ограничивая или препятствуя вообще потерям тепла через испарение. Специальная одежда с вентиляцией холодным воздухом от внешнего источника может быть использована для защиты при работе в местах с ограниченным пространством, где тепловая нагрузка велика.

## 2.3 Частота пульса

Для большинства практических целей частоту сокращений сердца можно определить обычным прощупыванием пульса. Существуют и более точные способы. Частота пульса изменяется быстро и пропорционально затратам энергии. К тому же было установлено, что при стабилизированной интенсивности работы и температуре изменение частоты пульса отражает изменение внутренней температуры. Эти заключения говорят в пользу определения частоты пульса как показателя физиологического напряжения рабочего при высоких температурах. Основные недостатки этого метода состоят в том, что используется единственный критерий, в то время как действует несколько механизмов одновременно, и частота пульса реагирует на многие воздействия, в том числе и на психические стрессы.

Существует три различных способа измерения частоты пульса, когда она может быть использована в качестве пока-

<sup>1</sup> См. Hertig, B. A. a. Belding, H. S. (1963). *Evaluation and control of heat hazards*. Hardy, J. D. *Temperature: its measurement and control in science and industry*, т. 3, часть 3, Нью-Йорк, Рейнхолд, стр. 347—355; Givoni, B. a. Berner E. (1967) *Effect of Solar radiation on physiological heat strain in relation to work and clothing*". Хайфа, Текнион (научный доклад № BSS-OH-ISR-2, представленный Службе общественного здравоохранения США).

зателя терморегуляторного напряжения: фактическая частота пульса во время или в конце работы; увеличение частоты пульса за время работы или в течение дня и количество времени, затрачиваемое на возвращение частоты пульса после работы к частоте пульса в состоянии покоя. Эти три способа обсуждаются ниже. Следует заметить, что хотя особому рассмотрению было подвергнуто влияние работы в горячей среде, изменениям частоты пульса сидящего в горячем помещении человека также должно быть уделено внимание.

При продолжительной ежедневной работе в условиях повышенной температуры фактическая частота пульса в конце рабочего дня может иногда быть менее значительной, чем пиковые частоты пульса, достигаемые периодически в течение целого рабочего дня. Пиковые частоты пульса означают максимальные напряжения в работе или тепловой нагрузке, которые могут быть рассмотрены отдельно как периоды чрезмерных или ограниченных по времени воздействий таких условий. Увеличение частоты пульса может быть рассмотрено по отношению к целой смене работы или к периодам чередования работы и отдыха в течение всего дня. Например, Brouha пришел к выводу, что если частота пульса 110 ударов в минуту или меньше при измерении в течение первых 30 секунд после первого рабочего периода и если в течение первых трех минут после работы частота пульса уменьшается по крайней мере на 10 ударов в минуту, то увеличения напряжения работы сердца не произойдет, когда та же работа будет выполняться в течение всего дня при тех же тепловых условиях. Это предположение легко подвергнуть проверке и, если окажется, что оно справедливо, то эта процедура может быть включена в инструкцию по технике безопасности для любой производственной ситуации, связанной с проблемами работы в горячих условиях. В настоящее время нет достаточной информации, которая позволила бы рекомендовать общее применение этой процедуры для предприятий, работающих в условиях повышенных температур, или для работы на открытом воздухе в любом районе мира.

Одним из обещающих методов определения суммированной рабочей и тепловой нагрузки является измерение времени восстановления частоты пульса, т. е. времени, необходимого для возвращения частоты пульса с момента завершения работы к уровню, наблюдавшемуся до начала работы. Эксперимент, недавно проведенный в Институте профессиональной физиологии имени Макса Планка, показал, что время восстановления частоты пульса значительно изменяется при различ-

ных сочетаниях работы и температуры и что восстановительный период может продолжаться несколько часов, если субъект не в состоянии поддерживать термическое равновесие в течение рабочего периода. Этот эксперимент можно повторить в любой промышленной ситуации, где другие методы не применимы. Однако необходимо сделать много наблюдений, прежде чем может быть указана какая-либо количественная величина времени восстановления. Каждый исследователь должен знать, что некоторые субъекты могут показывать ранние и быстрые результаты восстановления частоты пульса после прекращения работы, которые, однако, не являются стабильными.

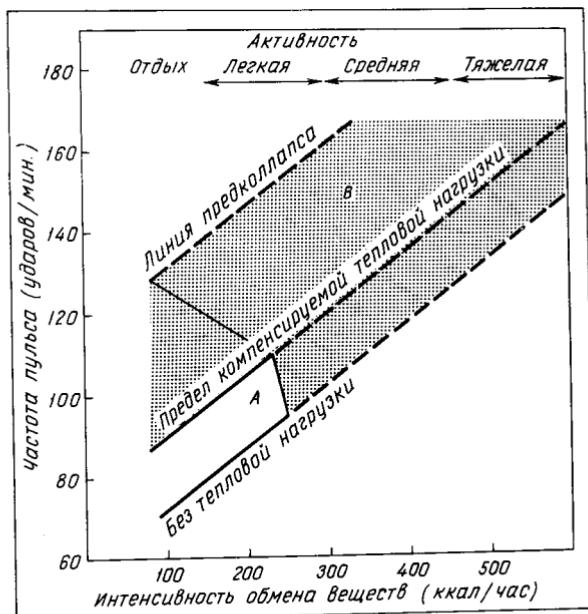
Если будет принято решение использовать фактическую частоту пульса во время работы в качестве показателя физиологического напряжения, то потребуется специальное оборудование, позволяющее производить запись числа ударов пульса без ущерба для производственного процесса. При лабораторных исследованиях с участием молодых хорошо тренированных субъектов частота пульса 160 ударов в минуту в течение короткого периода не оказывала на них вредного влияния. В настоящее время возникли значительные трудности в использовании результатов этих исследований в промышленности. Во-первых, следует помнить, что подвергающиеся испытанию в лаборатории люди при наличии квалифицированных исследователей подвергаются гораздо меньшему риску, чем промышленные рабочие, находящиеся в сходных условиях. Во-вторых, если даже мог быть получен ответ на основной вопрос, что означает фактическая частота пульса с точки зрения безопасности и, следовательно, какая величина этой частоты является оптимальной во время работы, то все равно пришлось бы сделать скидку на различие в состоянии здоровья рабочих в различных районах мира. Очевидно, что необходимы дальнейшие исследования.

Некоторое представление о значении частоты пульса, которая наблюдалась во время работы в промышленных условиях, можно получить путем сравнения их с характерными величинами, записанными при лабораторных исследованиях на молодых тренированных людях. На рис. 2 показаны реакции этой специально подобранный группы людей<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Величины частоты пульса и классификация степеней активности вверху совпадают с данными Christensen, E. H. (1964) *Man Work: Studies on the application of physiology to working conditions in a subtropical country*, Женева, МОТ (*Occupational Safety and Health, Series No. 4*).

Нижняя диагональная линия чертежа показывает зависимость между частотой пульса и уровнем затрачиваемой энергии, когда тепловая нагрузка окружающей среды не принята во внимание. Эта частота пульса в условиях «специфической работы» показывает почти линейное увеличение по мере затраты энергии. После достижения 250 ккал/час

РИС. 2. ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА ЧАСТОТУ ПУЛЬСА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ



На рисунке показаны частоты пульса, наблюдавшиеся у молодых тренированных людей при различных уровнях затрат энергии, как при тепловой нагрузке, так и без нее (Объяснения значения трех диагональных линий даны в тексте).

сплошная линия переходит в пунктирную в соответствии с наблюдениями Института профессиональной физиологии имени Макса Планка, которые указывают на то, что способность к энергозатратам за 8-часовую смену обычно не превышает 2000 ккал.

Средняя диагональ изображает приблизительно частоты пульса, наблюдавшиеся у молодых тренированных людей, когда они достигали верхнего предела успешной компенсации тепловой нагрузки окружающей среды. Критерием успешной

компенсации является способность поддерживать внутреннюю температуру тела на том же уровне, что и при нахождении в нейтральной в тепловом отношении среде. Lind предложил, чтобы требования к продолжительной ежедневной рабочей нагрузке находились в пределах этой зоны «компенсируемой тепловой нагрузки».

Верхний предел «компенсируемой тепловой нагрузки» показан пунктирной линией выше 110 ударов в минуту, так как имеются серьезные опасения, что средняя частота пульса за рабочую смену, превышающая эту величину, ведет к кумулятивному накоплению утомления. Линия «предколлапса» указывает (как это неоднократно наблюдалось), что более высокая частота пульса может иметь место кратковременно, но что допустимое стабильное состояние не достижимо.

Двух примеров будет достаточно, чтобы показать, как рис. 2 может быть использован для оценки частоты пульса отдельного рабочего. В первом случае (позиция А) частота 100 ударов в минуту подсчитана у рабочего, когда он постоянно занимался «легкой» работой. Оценка: такое сочетание рабочей и тепловой нагрузки потребует от рабочего таких усилий, которые не могут явиться чрезмерными или иметь кумулятивный эффект, если состояние здоровья рабочего хорошее.

В другом примере (позиция В) частота 142 удара в минуту была подсчитана у рабочего, занятого работой «умеренной» тяжести при повышенной температуре. Оценка: такое сочетание рабочей и тепловой нагрузки молодой тренированный человек может выдержать по крайней мере в течение нескольких минут, но продолжительная работа в таких условиях потребует от него чрезмерных усилий, так как внутренняя температура тела, и интенсивность работы будут чрезмерными. Физиологически необходимы периоды для восстановления, чтобы предотвратить кумулятивный эффект и переутомление.

Таким образом, можно получить некоторые необходимые данные, соотнося полученные частоты пульса с рис. 2. Однако следует иметь в виду, что положения линий на чертеже будут различными даже для молодых тренированных людей. Кроме того, реальные значения наблюдаемых частот пульса могут меняться в зависимости от возраста, пола и общего состояния здоровья.

Частота пульса не является наилучшим показателем физиологического напряжения для человека сидящего или как-либо иначе отдыхающего в условиях повышенной температуры. В результате лабораторных исследований был сделан

вывод, что максимально допустимой величиной частоты пульса является 110 ударов в минуту, но опять же эта цифра не может быть перенесена в производственные условия без учета всех вышеперечисленных факторов.

Принимая во внимание положения, рассмотренные выше, рекомендуется уделять первоочередное значение исследованиям частоты пульса во время работы и в период восстановления.

## 2.4 Внутренняя температура тела

Система терморегуляции поддерживает температуру всех тканей тела на определенном уровне. Однако, если температура конечностей и других периферических тканей тела изменяется в широких пределах, то во избежание снижения их жизнедеятельности, нарушения их функций и даже смерти температура глубоколежащих тканей головы, шеи и туловища может варьировать лишь в очень узких пределах. Возможность использования ректальной или какой-либо другой внутренней температуры тела в качестве точной меры теплового напряжения усложняется тем, что на эту температуру влияют мускульные напряжения, принятие пищи и болезнь. Тем не менее можно использовать внутреннюю температуру в качестве критерия тепловой нагрузки при тщательно определяемых условиях.

При определении желаемых пределов внутренней температуры тела во время продолжительного рабочего дня на предприятии следует исходить из достаточно полных данных о влиянии ежедневной работы в условиях повышенной температуры за много лет. К сожалению, таких сведений не имеется. Исходя из этого, по-видимому, безопаснее предположить, что с точки зрения общего состояния здоровья любое увеличение внутренней температуры, связанное с тепловой нагрузкой от окружающей среды, является нежелательным.

Nielsen<sup>1</sup> показал, что при холодной, прохладной и нормальной температуре окружающей среды внутренняя температура тела поднимается во время работы до какого-то уровня, который определяется темпом работы и не зависит от окружающей среды; также известно, что работа в жарком климате приводит к увеличению внутренней температуры тела. Было предпринято несколько исследований, во время которых преследовалась цель увеличить тепловую нагрузку среды до такой величины, при которой внутренняя темпера-

<sup>1</sup> Nielsen, M. (1938) *Scand. Arch. Physiol.*, **79**, 193.

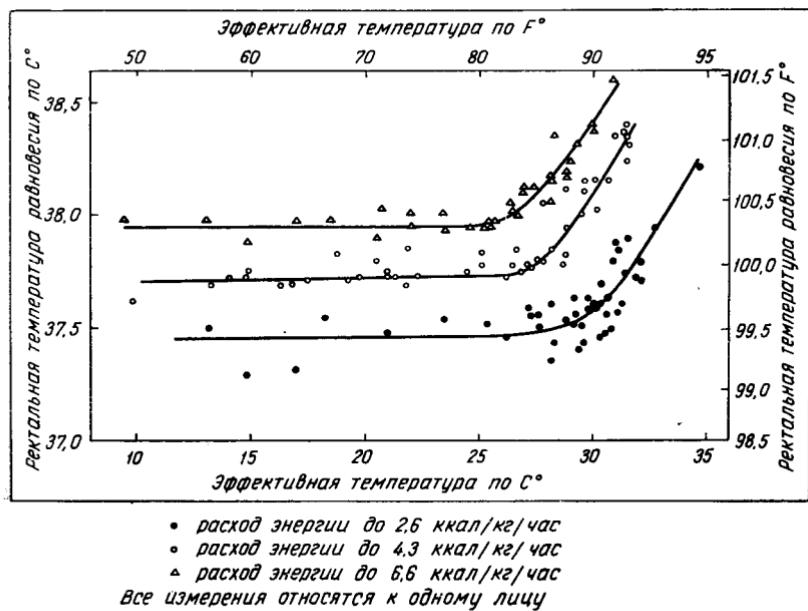
тура тела не могла бы зависеть только от темпа работы, а поднялась бы на более высокий уровень теплового равновесия, чем в условиях прохладной и нормальной среды. Фактически выяснилось, что внутренняя температура тела никогда не была полностью независимой от температуры среды, даже в прохладном и нормальном климате, а возрастала с увеличением температуры среды. Это влияние было наиболее заметным на неработающих людях и становилось менее заметным при увеличении темпа работы. В широких пределах температур прохладного и нормального климата внутренняя температура тела почти не зависела от температуры окружающей среды, но выше определенного уровня небольшое увеличение температуры среды приводило к заметному увеличению равновесного уровня внутренней температуры тела. Частота сердечных ударов в основном изменялась таким же образом, и неясно, действительно ли изменение внутренней температуры тела является следствием функционирования сердечно-сосудистой системы или внутренняя температура тела менее подвержена колебаниям и, следовательно, более заметно отражает влияние изменения температуры среды. Для продолжительного пребывания в условиях повышенной температуры можно установить предельное значение условий окружающей среды, ниже которого внутренняя температура тела будет зависеть от скорости главным образом обмена веществ, а не от тепловой нагрузки, обусловленной климатическими условиями. Это может быть выполнено для различных темпов работы с использованием шкалы корректированной эффективной температуры (КЭТ), описанной ниже в разделе 3.2, и которая дает однозначную оценку различным климатическим факторам окружающей среды (см. рис. 3); для большей ясности результаты одного субъекта показаны как типичные результаты многих. Используя этот метод, получаем, что температурный предел окружающей среды в единицах КЭТ равен 30°C для малоподвижной и легкой работы (2,6 ккал/кг/час), 28°C — при средней рабочей нагрузке (4,3 ккал/кг/час) и 26,5°C — при тяжелой физической работе (6 ккал/кг/час).

Можно было бы ожидать, что различные факторы, существующие в промышленном производстве, так же как индивидуальные особенности, возраст, график дневной работы и др., должны влиять на критические величины окружающей среды, но в действительности этого не происходит. Приведенные выше пределы относятся к лицам, слегка акклиматизировавшимся или вообще неакклиматизировавшимся. Так как акклиматизация влияет на эти пределы, то можно ожи-

дать, что все приведенные значения могут быть увеличены на 2°C КЭТ для акклиматизированного человека. Эти пределы критических тепловых нагрузок среды рекомендуются для рабочих на промышленных предприятиях.

Необходимо иметь в виду, что все вышеупомянутые пределы были получены при исследованиях, где относительная влажность окружающей среды не была ниже 40%. Соответственно, эти цифры не должны использоваться в том случае,

РИС. 3. РЕКТАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА РАВНОВЕСИЯ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ РАБОТЫ В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ



если влажность окружающей среды будет низкой (см. критические замечания по поводу КЭТ шкалы в разделе 3.2). В любом случае нежелательно, чтобы внутренняя температура тела превышала 38°C во время продолжительной тяжелой физической работы; уровни внутренней температуры тела, которые не должны быть превышены при более низких темпах работы, показаны на рис. 3.

В лабораторных условиях по ректальной температуре обычно определяют, когда снять тяжелую тепловую нагрузку. При таких контролируемых условиях, когда внутренняя тем-

пература постоянно проверяется, только высокая ректальная температура обычно не считается достаточной причиной для снятия нагрузки, пока она не достигнет уровня порядка 39°C. При лабораторных исследованиях внимательно следят за тем, чтобы исключить все непредвиденные события, и некоторые обследуемые лица могут прекращать испытания из-за надвигающегося или фактического теплового обморока или теплового истощения, прежде чем их внутренняя температура тела достигнет критической величины. Число лиц с такими явлениями будет колебаться в зависимости от состояния акклиматизации и, возможно, от возраста, физической подготовленности и других факторов. Выбор специфического предела ректальной температуры для людей, выполняющих тяжелую физическую работу в условиях высокой тепловой нагрузки, очень сложен (например, при спасательных работах в горнорудной промышленности), так как серьезные тепловые заболевания, особенно тепловые обмороки, могут иногда случаться при низких ректальных температурах. В тех случаях, когда предполагается пребывание людей в условиях повышенных температур в течение определенного времени и когда ожидается, что внутренняя температура тела достигнет 38°C, следует получить консультацию у специалиста.

## 2.5 Потоотделение

Способность человека выполнять работу, находясь в среде с близкой или выше его тела температурой, обеспечивается его хорошо развитым механизмом потоотделения. Человек в состоянии выделить 1 литр пота в час, а при благоприятных условиях для его испарения теоретически может быть достигнута теплоотдача тепла около 600 ккал/час. В большинстве же случаев эффективность испарения не столь высока.

Потоотделение стоит рассмотреть с двух точек зрения: а) проблемы поддержания водно-солевого баланса тела и действительной производительности потовых желез; б) возможности использования его в качестве критерия общей тепловой нагрузки на терморегуляторную систему.

Что касается пункта *а*), то, по имеющимся данным, один человек в лабораторных испытаниях выделил 2 литра пота в течение получаса, и обычно человек в течение короткого промежутка времени выделяет 1,5—2 литра пота в час. Однако за периоды в 24 часа эта цифра не превышает 12 литров. Наблюдения за промышленными рабочими, выполнившими самую тяжелую работу при повышенной температуре, показывают, что некоторые рабочие выделяют литр и

больше пота в час в течение всей 8-часовой смены. При выполнении обычной работы в условиях повышенной температуры способность выделять пот имеет существенное значение для поддержания теплового баланса. В тяжелых условиях находится именно водно-солевой баланс тела. Лабораторные и практические результаты подтверждают необходимость неограниченного снабжения прохладной питьевой водой рабочих, работающих в горячих условиях, что входит в обязанности администрации. Следует поощрять прием рабочими питьевой воды, так как жажды не всегда достаточно стимулирует возмещение потеряной жидкости. Было показано, что воздержание от приема воды в течение нескольких часов — как иногда практикуется на предприятиях — вредно отражается как на производительности труда, так и на самочувствии рабочего. Кроме того, обезвоживание отрицательно отражается на процессе акклиматизации.

Во многих странах практикуется включение в диету повышенной соли, что, по-видимому, способствует выделению минимум 5 литров пота акклиматизировавшимся рабочим за 8-часовую смену, без нарушения солевого баланса. В случае, когда производственная деятельность требует выделения большего количества пота, рекомендуется дополнительно принимать соль.

При рассмотрении значения потоотделения как критерия тепловой нагрузки оказалось, что в случае, когда внутреннее тепловое равновесие может быть установлено за счет потоотделения, тело будет регулировать темп выделения пота таким образом, чтобы сохранился тепловой баланс. Существуют положения, при которых максимальных возможностей потоотделения недостаточно и окружающая среда не способствует испарению пота. Если механизм потоотделения нарушен, что может случиться с неакклиматизировавшимся человеком, температура тела будет подниматься, в результате чего может появиться реальная опасность для здоровья. Если высокая влажность окружающей среды ограничивает испарение пота, то температура кожи повышается и вызывает повышение внутренней температуры тела, и оба эти явления способствуют увеличению потоотделения, но дополнительное количество пота не помогает терморегуляции, так как пот не испаряется, а стекает с кожи и увлажняет одежду.

В окружающей среде, где давление паров высоко, механизм, предназначенный для сохранения жидкости тела, вступает в действие, что ведет к уменьшению потоотделения. Это явление, иногда называемое гидромейозом, имеет вполне определенное течение: после 1—2 часов пребывания во влаж-

ной среде потоотделение уменьшается до соответствующей влажности окружающей среды, но не настолько, чтобы значительно уменьшить охлаждение путем испарения в данном климате.

Важно отметить, что механизм потоотделения обладает ценной способностью производить пот в больших количествах, часто без большого физиологического напряжения, если давление паров окружающей среды низкое; если же это давление велико, то физиологическое напряжение может быть чрезмерным.

Количество выделяемого пота является хорошим показателем тепловой нагрузки, а при высоком давлении паров — уровня, при котором испарение пота затруднено. Интенсивность потоотделения может указывать (а может и не указывать) на физиологическое напряжение отдельного лица в любых данных условиях. Например, выделение 1 литра пота в час в условиях пустыни может дать внутреннее тепловое равновесие при общей тепловой нагрузке (обмена веществ и среды) в 600 ккал/час (100% эффективность) при небольшом напряжении сердечно-сосудистой системы и без подъема температуры тела. Однако такая же интенсивность потоотделения у человека в одежде во влажной окружающей среде может сопровождаться сильным напряжением, когда только 0,5 литра/час пота эффективно испаряется и часть пота остается на одежде или просто стекает с кожи.

Вычисленная интенсивность потоотделения в течение 4 часов (В4ИП) широко используется в качестве показателя тепловой нагрузки, и McArdle установил, что если В4ИП превышает 4,5, то все большее число акклиматизированных рабочих не будет выдерживать данных условий. Описание шкалы В4ИП и недостатки даны в разделе 3.3.

### 3. ПОКАЗАТЕЛИ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ

#### 3.1 Введение

Было сделано много попыток объединить в одном показателе воздействие двух или более факторов, влияющих на теплообмен между человеком и окружающей его средой. Работы велись в направлении либо *a)* создания приборов, действующих как интегрирующие имитаторы человеческого тела, либо *b)* создания теоретических или эмпирических формул и монограмм для оценки нагрузки, вызванной значительными изменениями климатических условий и условий работы; или

оценки физиологического напряжения, возникающего в связи с этими нагрузками.

Для характеристики горячей окружающей среды нужно знать минимум 4 параметра: температуру воздуха ( $ta$ ), показания температуры по влажному термометру ( $twb$ ), показания температуры по сухому термометру или другой параметр теплоты лучеиспускания ( $tg$ ) и скорость перемещения воздуха ( $V$ ). Зная значения  $ta$  и  $twb$ , парциальное давление водяных паров можно получить с помощью психометрической таблицы. Средняя температура лучеиспускания окружающих предметов определяется по величине  $ta$ ,  $tg$  и  $V$ . Исходя из величин этих параметров и основных данных о размере тела, одежде, уровне обмена веществ и профиле работы, можно определить тепловую нагрузку и теплообмен тела. Вышеперечисленные данные являются минимально необходимыми для определения тепловой нагрузки во время работы. Только в том случае, если имеются все эти данные полностью, условия одного исследования могут сравниваться с условиями другого.

Было предложено много показателей тепловой нагрузки. Однако ни один из них, исследованных в соответствующих условиях, не годится для разнообразных сочетаний интенсивности работы, температуры воздуха, скорости движения воздуха, влажности, температуры излучения и одежды. Однако по мере накопления более подробной информации и знания коэффициентов теплового обмена можно надеяться, что эта проблема будет решена.

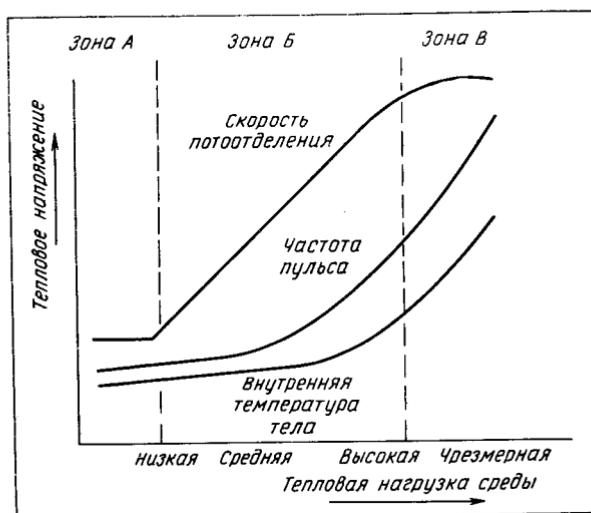
По причинам, изложенным ниже, для использования в промышленности рекомендуются следующие 4 показателя тепловой нагрузки: *шкала корректированной эффективной температуры* (КЭТ), *вычисленная интенсивность потоотделения в течение 4 часов* (В4ИП); *индекс тепловой нагрузки* (ИТН), разработанный Belding и Hatchi, и *показатель термической нагрузки* (ПТН), недавно описанный Givoni. Все эти показатели различного типа. Авторы каждого из этих показателей пытаются создать шкалу, где данному числу могут соответствовать различные комбинации климатических условий, одежды и, в большинстве случаев, работы. Шкала корректированной эффективной температуры и шкала вычисленного потоотделения в течение 4 часов представлены в форме монограмм, полученных эмпирическим путем на основе экспериментальных данных, причем способ получения этих данных не описан. Поэтому более поздние экспериментальные данные не могут быть использованы для расширения пределов этих шкал или повышения их точности. Это является серьезным недостатком, так как шкалы предназначены для использова-

ния в условиях, которые требуют экстраполяции от первоначальных данных. Шкалы индекса тепловой нагрузки и индекса термической нагрузки созданы на базе установленных значений коэффициентов теплообмена, и их пределы и точность зависят от ограничений этих коэффициентов. Преимуществом обоих шкал является то, что по мере получения новой информации о коэффициентах теплообмена возможно постоянно вносить исправления в их пределы и точность.

Целесообразно рассмотреть некоторые значения физиологических реакций при увеличении тепловой нагрузки с точки зрения выбора лучших физиологических параметров для получения показателей тепловой нагрузки. Это иллюстрируется диаграммой на рис. 4, где в общем виде показаны изменения потоотделения, частоты пульса и внутренней температуры тела при увеличении тепловой нагрузки.

Тепловая нагрузка откладывается на оси абсцисс, тепловое напряжение — на оси ординат. В условиях низкой тепловой нагрузки окружающей среды (первая часть зоны В), для данной интенсивности работы, с увеличением нагрузки увеличивается потоотделение, в то время как частота пульса и внутренняя температура тела остаются без изменения. Очевидно, что быстрое увеличение потоотделения представляет собой в этих условиях лучший индекс тепловой нагрузки, чем частота пульса и внутренняя температура тела, как вместе, так и в отдельности. Было установлено, что в этом районе тепловой нагрузки эквивалентное количество тепла, выделяющееся при обмене веществ и из окружающей среды, оказывает различный эффект на частоту пульса и внутреннюю температуру тела. Так, при увеличении тепла, выделяющегося при обмене веществ на 100 ккал, частота пульса увеличивается в два раза больше, чем при том же увеличении тепла в окружающей среде; аналогичное явление наблюдается и в отношении внутренней температуры. В зоне В (см. рис. 4) тепловая нагрузка изменяется от низкой в начале потоотделения до высокой, когда потоотделение достигает своей максимальной величины. Следовательно, зона С может рассматриваться как зона чрезмерной тепловой нагрузки, и так как интенсивность потоотделения меняется незначительно с увеличением тепловой нагрузки, эта функция не может с достаточным основанием считаться удовлетворительной мерой тепловой нагрузки. Именно в этой зоне наибольшие изменения были обнаружены в частоте пульса и внутренней температуре тела за время пребывания под нагрузкой, и если индекс тепловой нагрузки должен основываться на физиологических реакциях, то для чрезмерной тепловой нагрузки

РИС. 4. ИЗМЕНЕНИЯ В ПОТООТДЕЛЕНИИ, ЧАСТОТЕ ПУЛЬСА И ВНУТРЕННЕЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ТЕЛА ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ КЛИМАТИСКОЙ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ



Зона А: Без тепловой нагрузки.

Зона В: Зона увеличения тепловой нагрузки, где потоотделение увеличивается быстро и почти линейно в большей части зоны; воздействие на температуру тела незначительное. Напряжение выражается числом ударов сердца в минуту экспоненциально. Потоотделение является хорошим физиологическим индикатором испытываемого теплового напряжения.

Зона С: Зона увеличения тепловой нагрузки, где потоотделение приближается к максимальной величине и больше не может служить показателем нагрузки или напряжения. Частота пульса и внутренняя температура тела быстро изменяются и являются главными физиологическими показателями испытываемого напряжения.

было бы логично использовать одну или обе эти функции. В противном случае, индекс должен быть комбинацией факторов внешней среды.

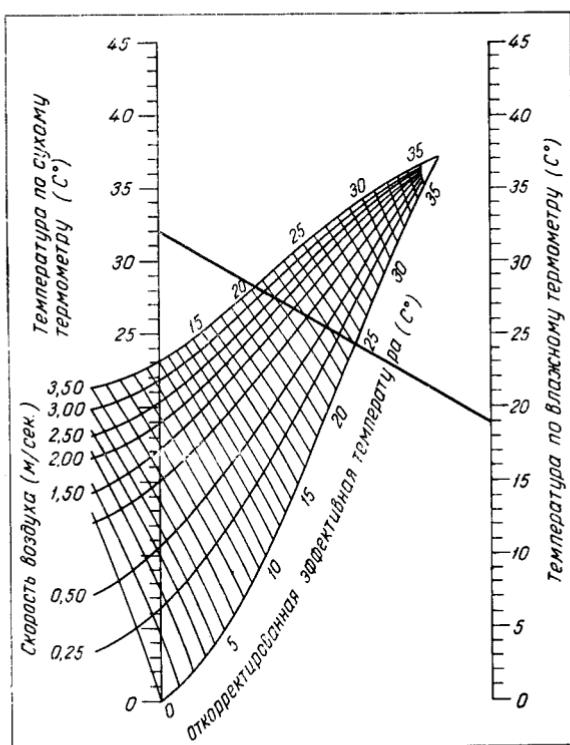
Как будет показано ниже, вычисленное потоотделение в течение 4 часов и индекс тепловой нагрузки являются наиболее достоверными показателями тепловой нагрузки в условиях

низкой, средней и высокой нагрузки, но они не рекомендуются для использования в условиях чрезмерно высокой тепловой нагрузки; эти же соображения относятся и к использованию индекса термической нагрузки, но, учитывая, что эта шкала создается недавно, следует проявлять осторожность при ее использовании до той поры, пока ее достоверность не будет подтверждена. Эти показатели базируются на потоотделении в горячих условиях. Однако шкала откорректированных эффективных температур является лишь удовлетворительным индексом для низкой и средней тепловой нагрузки и, ввиду присущих этой шкале ошибок, результаты будут отличаться незначительными неточностями при чрезмерно высоких тепловых нагрузках.

### 3.2 Шкалы откорректированных эффективных температур

Шкалы эффективных температур и шкалы откорректированных эффективных температур существуют в течение 40 и 20 лет соответственно и широко используются. Их преимуществом является то, что они известны и просты в применении. Первоначально шкалы эффективных температур предназначались для определения тепловой нагрузки человека в состоянии покоя или занятого легкой работой, но позднее было решено, что они могут быть использованы для более широких целей, например для определения тепловой нагрузки в промышленных условиях. Существуют две шкалы, одна применяется к рабочим, раздетым до пояса, другая — к рабочим, одетым для работы в помещении. Вначале предполагалось, что шкалы должны использоваться для определения субъективного комфорта при любой комбинации температур и движения сухого или влажного воздуха (для сравнения берется спокойная, насыщенная влагой окружающая среда, в которой непосредственно испытываемые ощущения тепла были идентичными с ощущениями, испытываемыми в исследуемом климате). Позднее, для того чтобы учесть тепло лучеиспускания, показания воздушного термометра были заменены на показания шарового термометра. Правильность такого учета тепла лучеиспускания была подтверждена экспериментами с лучистой тепловой нагрузкой при увеличении средней температуры излучения на 18°C. Никаких допущений в связи с различными степенями затрат энергии не делалось. «Основная» шкала откорректированной эффективной температуры, которая относится к раздетым до пояса рабочим, показана на рис. 5. «Нормальная» шкала откорректированной темпе-

РИС. 5. «ОСНОВНАЯ» ШКАЛА ОТКОРРЕКТИРОВАННОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ РАЗДЕТЫХ ДО ПОЯСА РАБОЧИХ



ратуры, которая относится к рабочим, полностью одетым для работы в помещении, может быть найдена в другой работе<sup>1</sup>.

Шкала откорректированных эффективных температур получается путем соединения температуры воздуха и температуры по мокрому термометру и отметки точки пересечения этой линии с пучком кривых, идущих снизу вверх по диагонали слева направо, при соответствующей скорости воздуха. Необходимо учитывать неточности, допущенные при создании первых шкал и неизбежно возникающие, если шкалы предполагается использовать в условиях, отличающихся от имевших место при проектировании. Известно, что шкалы

<sup>1</sup> См., например, Smith F. E. (1955) Показатели тепловой нагрузки. *Met-mor. med. Res. Coun. (Lond.)* № 29, Leithead, C. S. & Lind A. R. (1964) *Heat stress and heat disorders*, London, Cassell, p. 276.

преувеличивают эффект высокой температуры по сухому термометру при движении со скоростью 0,0—3,5 м/сек и недооценивают вредное воздействие при медленном движении воздуха в жарких и влажных условиях. В настоящее время ясно, что широко различающиеся климатические условия, к которым применяется одна и та же откорректированная эффективная температура, не вызывают одинаковых физиологических напряжений с точки зрения ректальной температуры, частоты пульса и времени, сроков переносимости нагрузок. Поэтому необходимо проявлять осторожность при использовании шкал эффективной и откорректированной эффективной температуры в качестве основы для законодательных ограничений в промышленности без внесения соответствующих поправок на вышеперечисленные отклонения. Кроме того, величины эффективной и откорректированной эффективной температур практически не имеют смысла без сопоставления с интенсивностью труда рабочих.

Эти шкалы являются удовлетворительными при мягкой тепловой нагрузке, если относительная влажность меняется в ограниченных пределах. Не рекомендуется использовать шкалы для сравнения климатических условий, если хотя бы в одном случае относительная влажность менее 40 %.

### **3.3 Вычисленная интенсивность потоотделения в течение 4 часов**

Вычисленная интенсивность потоотделения (В4ИП) была получена эмпирическим путем<sup>1</sup> в результате серии наблюдений за потоотделением людей, подвергнутых в лабораторных условиях воздействию различных климатических условий при различных уровнях затраты энергии и одетых в шорты или комбинезоны. В широких пределах из монограммы можно получить тепловую нагрузку при любом сочетании температуры по сухому и влажному термометру, температуры излучения, движения воздуха, характера одежды и интенсивности работы. Результат выражается средней величиной ожидаемого потоотделения в пределах ошибки выборки, при сравнении группы молодых акклиматизировавшихся и физически подготовленных рабочих, помещенных в определенные условия на 4 часа. Название «вычисленная интенсивность

---

<sup>1</sup> McArdle et al. (1947) «Предопределение физиологического эффекта тепла и жаркой окружающей среды». Royal Naval Personnel Research Committee, Med. Res. Count. (Lond.) Report № 47/391, London, H. M. Stationery Office.

потоотделения в течение 4 часов» не совсем точно, так как полученная величина выражает не «интенсивность потоотделения», а количество выделенного пота. Очень важно помнить, что эта величина является индексом тепловой нагрузки, а не теплового напряжения и что наблюдаемые субъекты были акклиматизировавшимися молодыми и физически подготовленными европейцами.

Использование номограммы вычисленной интенсивности потоотделения в течение 4 часов для определения величины заданной тепловой нагрузки описано в литературе<sup>1</sup> и поэтому здесь не приводится. Кроме основной цели по определению величины тепловой нагрузки, номограмма позволяет предопределить интенсивность потоотделения и, следовательно, необходимое количество питьевой воды для группы рабочих, помещенных в те или иные изучаемые условия.

Хотя применение шкалы вычисленной интенсивности потоотделения в течение 4 часов представляет наибольшую ценность к условиям, при которых производились первоначальные наблюдения, тем не менее область применения ее довольно значительна. В то же время шкала не допускает каких-либо модификаций и улучшений, что ограничивает пределы ее использования. Имеются и другие более существенные недостатки. Не рекомендуется использовать шкалу при относительной влажности ниже 40%, так как в условиях низкой влажности показания будут неточными. Дефектом шкалы является также выбор потоотделения в качестве эталонной единицы, хотя очевидно, что выделение пота увеличивается при акклиматизации. В жарком сухом климате это увеличение порядка 10—15%, в жарком влажном климате оно может достигнуть 60%. Кроме того, работа в очень жарких условиях и при высокой влажности приводит к нарушению термических функций потоотделения, которые были рассмотрены выше.

Естественно, многие из этих недостатков относятся в равной степени и к другим показателям тепловой нагрузки, так как в действительности трудно использовать шкалу вычисленной интенсивности потоотделения в течение 4 часов в промышленности, где продолжительность смены составляет 8 часов, разделяя таким образом рабочий день на жаркую и прохладную половину. Эта шкала лучше всего может быть использована при тепловых нагрузках в диапазоне от средних до высоких величин и когда окружающие условия стабильны в течение 4 часов.

<sup>1</sup> См., например, сноску 1, приведенную на стр. 30.

### 3.4 Показатели теплового баланса

Концепция раздельной калориметрии, т. е. расчет, основанный на физических принципах теплообмена через различные каналы, была предложена Winslow et al. в 1936 г. Первонаучальные коэффициенты были уточнены примерно через 10 лет, и Belding и Hatch использовали их в новом индексе тепловой нагрузки в 1955 г.<sup>1</sup> Этот индекс был выведен из коэффициентов теплообмена среды путем излучения и конвекции ( $R+C$ ) и тепла, выделившегося в результате обмена веществ ( $M$ ), которые вместе представляли общую тепловую нагрузку, подлежащую отведению путем испарения ( $E_{req}$ ) для поддержания теплового баланса тела. О возможности достижения баланса судили по отношению  $E_{req}$  к подсчитанной максимальной испарительной способности ( $E_{max}$ ), предполагая, что кожа полностью смочена потом.

Однако индекс тепловой нагрузки неудовлетворительно предсказывал точку, где отношение между  $E_{req}$  и  $E_{max}$  равно 1,0 и за которой тепловой баланс не достижим, частично из-за неточности коэффициентов, принятых для  $C$  и  $E_{max}$  (которые были получены на полуобнаженных людях) и частично из-за недооценки факта, что даже легкое платье уменьшает передачу тепла через  $R$ ,  $C$  и  $E$ . Авторы предприняли ряд мер по устранению этих недостатков. Коэффициенты, постоянно используемые для подсчета величин для «стандартных» полуобнаженных людей весом 70 кг, равны:

$$R = 11 (tw - 35) \text{ ккал/час}$$

Средняя температура излучения  $tw$  определяется при помощи абсолютного черного тела,  $tg$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), скорости движения воздуха  $V$  ( $\text{м/сек}$ ) и температуры воздуха,  $ta$ , из соотношения:

$$tw = tg + 14,4 \cdot V^{0,5} (tg - ta)$$

При тех же условиях тепловой нагрузки

$$C = 6 \cdot V^{0,6} (ta - 35) \text{ ккал/час}$$

В обоих случаях «35» — приблизительная температура кожи, которая относится к критическому уровню, где  $E_{req} = E_{max}$ .

$E_{max}$  — функция потенциального градиента давления водяных паров между полностью смоченной кожей при температуре  $35^{\circ}\text{C}$ , которое равно 42 мм Hg, и давлением паров окружающего воздуха ( $P_a$ )

<sup>1</sup> Belding, H. S. a. Hatch, T. F. (1955) *Heat Pip. Air Condit.*, 27, 129.

$$E_{max} = 12 \cdot V^{0.6} (42 - P_a) \text{ ккал/час}$$

Для того чтобы приближенно учесть влияние легкой одежды, рекомендуется уменьшить каждый из этих коэффициентов на одну треть. Это — эмпирическая поправка, сделанная на основе ограниченных данных. Теоретически известно, что поправки коэффициентов зависят от некоторых характеристик окружающей среды, например от цвета одежды при работе на солнцепеке и скорости ветра.

### *Индекс термической нагрузки*

Индекс термической нагрузки, по Givoni, получают из уравнений, которые образуют математическую модель, описывающую биофизический механизм, участвующий в сохранении термического баланса между телом и окружающей средой, и учитывающую различную охлаждающую эффективность потоотделения<sup>1</sup>. Подобно индексу тепловой нагрузки, индекс теплового напряжения определяет количество пота, необходимое для достаточного охлаждения через испарение для поддержания термического баланса тела; можно сделать поправки на влияние различного рода одежды и солнечной радиации, но до настоящего времени не изучено влияние длинноволновой лучистой теплоты. Индекс теплового напряжения дает непрерывное линейное определение термической нагрузки и может быть использован для оценки физиологических напряжений в условиях, где потоотделение отражает термическую нагрузку. Выше этого предела индекс может быть использован только для оценки нагрузки, но не физиологических напряжений. Подобно вычисленной интенсивности потоотделения в течение 4 часов и индексу тепловой нагрузки, индекс теплового напряжения может быть использован для определения необходимых количеств воды для восполнения потери. Расчетная точность шкалы при широком варьирующем внешних условиях такая же, как и шкалы вычисленной интенсивности потоотделения в течение 4 часов, в условиях, в которых последняя может быть применима. Недостатки индекса теплового напряжения обусловлены тем, что он базируется только на интенсивности потоотделения и поэтому не может использоваться для оценки условий, в которых частота пульса и ректальная температура имеют решающее значение.

<sup>1</sup> Givoni, B. (1962) *The influence of work and environmental conditions on the physiological responses and thermal equilibrium of man*. См. *Proceedings of a UNESCO Symposium on Arid Zone Physiology, Lucknow, India*.

Основная формула индекса теплового напряжения следующая:

$$S = (M \pm C \pm R) \times \left( \frac{1}{f} \right) = E \left( \frac{1}{f} \right),$$

где  $S$  — необходимая интенсивность потоотделения,  $M$  — тепло обмена веществ,  $C$  и  $R$  — конвективный и лучистый теплообмен (в ккал/час),  $f$  — эффективность охлаждения потоотделением,  $E$  — необходимое охлаждение испарением или общая тепловая нагрузка.

$C$ ,  $R$  и  $f$  — зависят от одежды и подсчитываются по следующим общим формулам:

$$\begin{aligned} C &= \alpha V^{0.3} (t_a - 35) \\ R &= k_{cl} (k_e \cdot k_p) I_N [1 - \alpha (V^{0.2} - 0,88)] \\ \frac{1}{f} &= e^{0.6} \left( \frac{E}{E_{\max}} - 0,12 \right) \\ E_{\max} &= \beta V^{0.3} (42 - P_a), \end{aligned}$$

где  $\alpha$ ,  $k_{cl}$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  коэффициенты, зависящие от одежды;  $k_e$  — коэффициент, зависящий от обстановки окружающей среды;  $k_p$  — коэффициент, зависящий от положения тела;  $t_a$  — температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ );  $I_N$  — интенсивность солнечной радиации, измеряемая по нормали к солнечному лучу (ккал/час);  $V$  — скорость движения воздуха (м/сек);  $e$  — основание натуральных логарифмов;  $E_{\max}$  — максимальная испарительная способность воздуха (ккал/час) и  $P_a$  — давление паров воздуха (мм Hg).

Объединенные радиационные коэффициенты отражения окружающей среды и различных положений тела даны в таблице ниже.

Окружающая среда	Коэффициент излучения	
	сидя спиной к солнцу	стоя спиной к солнцу
Высокая (пустыня)	0,396	0,324
Низкая (лес)	0,377	0,266

Величины  $a$ ,  $p$ ,  $k_{cl}$  и  $\alpha$  в зависимости от одежды даны в таблице ниже.

<i>Коэффициент одежды</i>	<i>Полуобнаженный</i>	<i>Легкая летняя одежда</i>	<i>Военная форма</i>
$\alpha$	15,8	13,0	11,6
$\beta$	31,6	20,5	13,0
$k_{cl}$	1,0	0,5	0,4
$a$	0,35	0,32	0,52

### *Заключение*

Все показатели тепловой нагрузки, описанные выше, как и ряд других, которые здесь не рассматривались, применимы в определенных пределах. В дальнейшем метод термического баланса, по-видимому, получит более широкое применение, так как он направлен на разработку рационального индекса, в основе которого лежат физические принципы теплопередачи. Однако важная проблема взаимосвязи этих величин с действительными физиологическими напряжениями, такими, как частота пульса и температура тела, во многом еще не решена.

## **4. РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Во время дискуссий Научной группы стало очевидным, что информация по различным аспектам, касающимся профессиональной деятельности в условиях повышенных температур, недостаточна. Ниже перечислены в порядке важности проблемы, требующие дальнейшего исследования.

1. Физиологические механизмы, лежащие в основе изменений в частоте пульса во время и после профессиональной деятельности в условиях тепловой нагрузки, до настоящего момента полностью не выяснены. Поэтому необходимо проведение дальнейших исследований, которые позволили бы лучше понять причины, влияющие на частоту пульса. Для получения данных по восстановлению частоты пульса требуется провести исследования стандартным методом, особенно в отношении времени наблюдения и положения тела обследуемого.

2. Показатели термического баланса, доступные в настоящее время, не позволяют предсказать физиологических напряжений, которых следует ожидать во время пребывания в условиях повышенных температур; имеются данные, указывающие, что их интерпретация частично зависит от скорости обмена веществ. Необходимо изучить корреляцию между величинами индекса, с одной стороны, и частотой пульса и внутренней температурой тела, с другой.

3. Очень мало известно о влиянии продолжительного пребывания (как во время работы, так и во время проживания в жарком климате) в условиях повышенных температур на самочувствие и производительность труда. Предполагается, что если работа в условиях тепловой нагрузки не влияет на внутреннюю температуру тела, то она не принесет вреда организму. Эпидемиологические исследования с использованием статистических данных о состоянии здоровья и производительности труда промышленных рабочих должны помочь подтвердить правильность этого предположения.

4. Относительно мало известно о влиянии прерывистой работы в горячих условиях на нагрузку и напряжение и применимости показателей тепловой нагрузки к этим ситуациям. Необходимо получить информацию по следующим вопросам: влияние теплопроводных свойств одежды на уменьшение отдачи и получения тепла; влияние термического шока, вследствие холодной температуры помещения для отдыха, на инфекционные заболевания дыхательных путей; оптимальные интервалы между работой и отдыхом; общее влияние работы в горячих условиях при проживании рабочих в очень холодной окружающей среде (с низкой влажностью); методы определения напряжения от прерывистого пребывания в условиях повышенной температуры.

5. Результаты некоторых исследований показали, что тепловая нагрузка влияет на такие функции, как способность сосредоточиться, усваивать знания, соблюдать осторожность, на психомоторную деятельность и на количество несчастных случаев, однако количественная информация по этим вопросам недостаточна.

6. Факторы, оказывающие влияние на тепловую нагрузку, многочисленны, но до сих пор ни в одном исследовании все они во внимание не принимались. Необходимо в возможно короткий срок провести интенсивные исследования влияния различных контролируемых сочетаний работ и тепла окружающей среды. Эти исследования следует проводить на лицах, обладающих различными физическими характеристиками, такими, как возраст, пол, комплекция. Обмен информа-

цией по этому вопросу и сопоставления условий о лабораториях и промышленных предприятиях очень важны. Для сбора и обработки этой сложной информации следует использовать современные электронные вычислительные машины.

7. Описание затрат энергии и теплообмена обычно относится к «стандартному» человеку. Для некоторых профессий эти цифры могут быть пересчитаны для других размеров и комплекции тела по простой пропорции на основе веса тела, но при исполнении ряда работ, таких, как поднятие или перенос тяжестей, этот простой пересчет не всегда приемлем. Для учета различий в мускульных усилиях и других физических характеристиках взаимосвязь следует определить экспериментально.

8. Необходимо провести дополнительные исследования для более точного определения влияния одежды на теплообмен по различным каналам.

9. Следует провести изучение с целью определения количественного значения температуры кожи в комбинации с другими факторами для понимания и определения взаимосвязи нагрузки и напряжения.

10. Нужны новые методы, которые позволили бы изучить различные тепловые нагрузки рабочих разных профессий. Вероятно, возможно разработать интегратор термической нагрузки, который рабочий мог бы иметь при себе.

11. Требуется информация по специальным проблемам теплопередачи и термическим травмам тканей в случае, если тело находится в непосредственном контакте с твердыми или жидкими веществами высокой проводимости.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Научная группа выражает благодарность за участие в обсуждениях следующим сотрудникам ВОЗ; д-ру F. Dukes-Dobos, специалисту по физиологии и внешней среды, Отдел социальной и профессиональной гигиены; д-ру Z. Fejfar, руководителю Отдела сердечно-сосудистых заболеваний; и д-ру M. Pfister, врачу психиатру.

## Приложение

### КОНВЕНЦИИ И РЕКОМЕНДАЦИИ СЕКЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОГО БЮРО ТРУДА, ЗАНИМАЮЩИХСЯ ПРОБЛЕМАМИ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР.

Конвенция № 89: «Работа женщин в ночное время в промышленности» (пересмотрена в 1948 г.), статья 7.

Конвенция № 90: «Работа молодых людей в ночное время в промышленности» (пересмотрена в 1948 г.), статья 4.

Конвенция № 120: «Гигиена торговых предприятий и учреждений» (1964), статья 10.

Конвенция № 127: «Максимально разрешаемый вес для переноса одним рабочим» (1967).

Рекомендация № 97: «Защита здоровья рабочих на рабочих местах» (1953), статья 2.

Рекомендация № 120: «Гигиена торговых предприятий и учреждений» (1964).

Часть IV — Вентиляция.

Часть VI — Температура.

Часть VIII — Питьевая вода.

Рекомендация № 128: «Максимально разрешаемый вес для переноса одним рабочим» (1967), статья 13.

*Перевод с английского Е. В. Копытина  
Ответственная за редактирование Е. А. Тихомирова*

---

5

Заказ 1911

---

Типография № 32 Главполиграфпрома