

Р.Ф. Афанасьева, О.В. Бурмистрова, А.Ф. Бобров

ХОЛОД, КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКА ОХЛАЖДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

ГУНИИ медицины труда РАМН (Москва)

В статье приведены критерии холодового стресса, взаимосвязь их с напряжением реакций терморегуляции, работоспособностью и некоторыми показателями состояния здоровья. Представлены классы условий труда, характеризующие различную степень выраженности холодовой нагрузки. Приведено уравнение множественной регрессии, позволяющее оценить риск охлаждения человека в зависимости от комплекса факторов, обуславливающих теплообмен (температура воздуха, скорость ветра, теплоизоляция комплекта СИЗ, энергозатраты).

Ключевые слова: охлаждение, риск, критерии, прогнозирование

GOLD, ASSESSMENT CRITERIA AND FORECASTING THE HUMAN COOLING RISK

R.F. Afanassyeva, O.V. Burmistrova, A.F. Bobrov

Research Institute of Labour Medicine, RAMS, Moscow

Cold stress criteria, their relationship to thermoregulation response strain, capacity for work and some health status indices are presented in this paper. The working condition classes which characterize the different levels of a cold load manifestation are given. A plural regression which allows to assess human cooling risk in dependence on the factor complex grounding the heat exchange (air temperature, wind rate, heat isolation of a personal protection means complete set, energyconsumption) is given.

Key words: cooling, risk, criteria, forecasting

Микроклимат, представляющий собой комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека с окружающей средой (температура, влажность воздуха, скорость его движения, тепловое излучение), определяющих его тепловое состояние, самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда, универсален по своему действию. Он оказывает влияние практически на все процессы, происходящие в организме, воздействуя на их интенсивность и направленность. Процессы, начинающиеся в организме под влиянием температурного воздействия, включают биофизическую и биохимическую фазы изменений и достигают уровня сложных физиологических реакций. При определенном уровне их напряжения в организме могут развиваться патологические процессы.

Охлаждение человека является для него стрессовым раздражителем, приводящим к выделению нейросекретов гипоталамуса, гормонов гипофиза, коры надпочечников, вызывающих в организме типичный симптомокомплекс («реакция напряжения») [2, 5].

В климатических условиях России воздействию холода человек подвергается, в основном, на открытой территории в холодный период года (работающие в газовой и нефтяной промышленности, строительстве, на транспорте и др.). Поскольку возможности физиологической системы терморегуляции противостоять развитию гипотермии весьма незначительны, требуются специальные средства защиты, направленные на снижение теплопотерь организма (одежда, жилище, регламента-

ция времени пребывания на рабочем месте и др.). В целях профилактики охлаждения и оценки теплового состояния человека разработаны его критериальные показатели с учетом продолжительности пребывания на холоде (табл. 1–3) [8].

Реакции на холодовое воздействие могут носить как функциональный, так и патологический характер: заболевание, поражение, смерть. Воздействие холода провоцирует возникновение болей и нервно-психических расстройств у 19 % мужчин и 45 % женщин [13]. Охлаждение лица и органов дыхания вызывает сокращение артериальных сосудов не только в циркуляторной системе конечностей, но также в коронарных сосудах, в результате чего повышается кровяное давление [11, 12]. Холод является фактором риска ухудшения здоровья лиц, в том числе страдающих заболеваниями сосудов и хроническими легочными заболеваниями, фактором риска понижения порога стенокардии и стенокардии напряжения [7].

Выявлено, что при дефиците тепла в организме в диапазоне 2,72–2,82 кДж/кг, образующемся в результате снижения температуры «оболочки» на 2,7 °С, наблюдается умеренное напряжение реакций терморегуляции и снижение физической работоспособности от 6,4 % до 18 % (табл. 4–5). При этом результаты оценки состояния здоровья не выявили его нарушения, что дало основание отнести эти условия охлаждения к классам условий труда 3.1–3.2, характеризующим умеренное охлаждение организма. Охлаждение, характеризующееся дефицитом тепла в организме в диапазоне 4,2–6,2 кДж/кг, яв-

Таблица 1

Критерии оптимального теплового состояния человека (**)

Показатель теплового состояния человека	Энерготраты, Вт/м ²				
	69	87	113	145	177
1. Температура тела ректальная, T _p , °C	37,1–37,2	37,2–37,3	37,3–37,5	37,4–37,6	37,5–37,7
2. Средневзвешенная температура кожи (*), T _к , °C	32,5–33,5	32,1–32,8	31,6–32,5	30,9–32,0	30,2–31,4
3. Средняя температура тела (*), T _т , °C	35,3–35,8	35,3–35,8	35,3–35,8	35,3–35,8	35,3–35,8
4. Изменение теплосодержания (*), ΔQ _{тс} , кДж/кг	± 0,87				
5. Увеличение частоты сердечных сокращений (*), ΔЧСС, уд/мин	до 6	7–10	11–18	19–25	26–32
6. Влажпотери ΔP, г/ч	до 80	до 100	до 120	до 150	до 180
7. Теплоощущения (*), To, баллы	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
8. Разность между температурой кожи груди и стопы (T _{кг} – T _{кс}), °C	2–4	2–4	не характерна		

Примечание: * – наиболее значимые показатели; ** – по отношению к другим уровням энерготрат критерии теплового состояния могут быть определены интерполяцией.

Таблица 2

Критерии допустимого теплового состояния человека (нижняя граница)**

Показатель теплового состояния человека	Энерготраты, Вт/м ²				
	69	87	113	145	177
1. Температура тела ректальная, T _p , °C	37,0	37,2	37,3	37,5	37,7
2. Средневзвешенная температура кожи (*), T _к , °C	32,0	31,5	31,1	30,0	29,0
3. Средняя температура тела (*), T _т , °C	34,9	34,9	34,9	34,9	34,9
4. Изменение теплосодержания (*), ΔQ _{тс} , кДж/кг	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72
5. Увеличение частоты сердечных сокращений (*), ΔЧСС, уд/мин	5	6	10	15	25
6. Влажпотери ΔP, г/ч	не характерны				
7. Теплоощущения (*), To, баллы	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
8. Разность между температурой кожи груди и стопы (T _{кг} – T _{кс}), °C	6,0	6,0	не характерна		
9. Температура тыла кисти (*), T _{тк} , °C	25,0	24,5	24,0	23,5	23,0
10. Температура тыла стопы (*), T _{тс} , °C	28,0	27,5	27,0	26,5	26,0

Примечание: * – наиболее значимые показатели; ** – снижение работоспособности: возможно снижение показателя координации движений до 10 %.

Таблица 3

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

Показатель теплового состояния человека	Энерготраты, Вт/м ²				
	69	87	113	145	177
1. Температура тела ректальная, T _p , °C	36,9	37,1	37,2	37,5	37,7
2. Средневзвешенная температура кожи (*), T _к , °C	31,0	30,5	29,5	28,5	27,5
3. Средняя температура тела (*), T _т , °C	34,4	34,4	34,4	34,4	34,4
4. Изменение теплосодержания (*), ΔQ _{тс} , кДж/кг	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82
5. Увеличение частоты сердечных сокращений (*), ΔЧСС, уд/мин	4	5	8	12	22
6. Влажпотери ΔP, г/ч	не характерны				
7. Теплоощущения (*), To, баллы	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
8. Разность между температурой кожи груди и стопы (T _{кг} – T _{кс}), °C	не характерна				
9. Температура тыла кисти (*), T _{тк} , °C	24,0	23,5	23,0	22,5	22,0
10. Температура тыла стопы (*), T _{тс} , °C	27,0	26,5	26,0	25,5	25,0

Примечание: * – наиболее значимые показатели; ** – снижение работоспособности: возможно снижение показателя координации движений до 20 %.

Таблица 4

Риск общего охлаждения и его характеристики по показателям теплового состояния человека

Риск охлаждения и его обозначение ()	Класс условий труда	Характеристика риска по показателям теплового состояния человека				
		Интегральный показатель условий охлаждения, баллы**	Дефицит тепла в организме, ДТ, кДж/кг	Напряжение реакций терморегуляции	Снижение* средневзвешенной температуры кожи, °С	Теплоощущения, балл
Игнорируемый (пренебрежимо малый) (+)	1–2	20–32	≤ 2,72	слабое	до 1,1	слегка прохладно
Умеренный (++)	3.1–3.2	32–46	2,72 < ДТ ≤ 4,82	умеренное	до 2,7	прохладно
Существенный (+++)	3.3–3.4	46–57	4,82 < ДТ ≤ 6,2	сильное	до 4,3	холодно
Критический (++++)	4	> 57	> 6,2	очень сильное	> 4,3	очень холодно

Примечание: * – от оптимального уровня, ** – с вероятностью ≥ 0,5.

Таблица 5

Риск общего охлаждения и его характеристики по показателям функционального состояния здоровья

Риск охлаждения и его обозначение ()	Класс условий труда	Характеристика риска по показателям функционального состояния и состояния здоровья				
		Снижение работоспособности, %		Рекомендуемая продолжительность пребывания на холоде, ч	Нарушение здоровья при хроническом воздействии холода	
		общей физической	мануальной			
			кистью	пальцами		
Игнорируемый (+)	1–2	до 3	до 6	до 10	8	не выражено
Умеренный (++)	3.1–3.2	до 6,4	до 10	до 18	4	не выражено
Существенный (+++)	3.3–3.4	до 12,8	до 15	до 27	2	Нейроциркулярная дистония. Жалобы на онемение (20 %) и ноющие боли в руках. Вегето-сосудистые нарушения (у 38 % обследованных). Сокращение срока развития вибрационной болезни (на 4–5лет) при сочетанном воздействии холода и локальной вибрации. Профессиональные невровакулиты: при стаже ≤ 10 лет – субъективные нарушения; > 10лет – выраженные формы заболевания.
Критический (++++)	4	> 12,8	> 15	> 27	< 1	

ляется существенным, поскольку приводит к сильному напряжению реакций терморегуляции, выраженному снижению работоспособности и нарушению здоровья при хроническом воздействии холода (нейроциркулярная дистония, сокращение сроков развития вибрационной болезни и др.) [9]. Так, при дефиците тепла в организме горнорабочих, равном 5,3 кДж/кг, и уровне вибрации 110 – 113 дБ вибрационная болезнь развивается в более короткие сроки (через 8,5 лет), чем при меньшем охлаждении (дефицит тепла 3,7 кДж/кг), но более высоком уровне (111 – 128 дБ) вибрации (через 12,5 лет).

Оценка риска охлаждения организма при работе на холоде осложняется наличием комплекса факторов, воздействующих на теплообмен (одежда, энерготраты, продолжительность работы на холоде), а также характером физиологических реакций женщин и мужчин. В частности, женщины на одну и ту же внешнюю термическую нагрузку реагируют несколько большим снижением температуры кожи, чем мужчины, меньшим увеличением уровня метаболизма в ответ на охлаждение организма.

Имеет значение с позиций прогноза и оценки риска охлаждения организма и степень его адаптации к холоду. Однако, согласно данным, полученным нами ранее и имеющимся в литературе, значимость адаптации в сохранении термостабильного состояния человека не однозначна. Адаптация к холодовой нагрузке сопровождается снижением температурной чувствительности, в результате чего охлаждение организма протекает без заметных жалоб, и, следовательно, необходимо принятие соответствующих мер по снижению теплопотерь.

На основании экспериментальных данных и их математико-статистического анализа получено уравнение множественной регрессии (1), позволяющее определить интегральный показатель условий охлаждения (ИПУО, балл), учитывающий влияние на теплообмен комплекса факторов: температуры воздуха ($t_{в}$, °С), скорости ветра (V , м/с), теплоизоляции комплекта одежды ($I_{к}$, кло; 1 кло = 0,155 °С·м²/Вт), уровня энерготрат ($q_{м}$, Вт/м²):

$$\text{ИПУО} = 73,882 - 0,60361 \cdot t_{в} + 1,3096 \cdot V - 9,1985 \cdot I_{к} - 0,15527 \cdot q_{м} \quad (1)$$

Разработка интегральных показателей риска охлаждения человека проводилась с использованием канонического корреляционного анализа. Он является обобщением регрессионного анализа. Отличие заключается в том, что его применение позволяет в качестве зависимых и независимых показателей брать не один, а группы характеристик условий охлаждения и функционального ответа организма. Сила связи между зависимыми и независимыми переменными оценивается коэффициентом канонической корреляции, являющегося обобщением традиционного коэффициента множественной корреляции [3, 6, 11].

На основании взаимосвязи ИПУО с показателями теплового состояния человека (дефицит тепла в организме, средневзвешенная температура кожи, теплоощущение, напряжение реакций терморегуляции) уровни риска охлаждения в балах приведены применительно к различным классам условий труда (табл. 4). При известных значениях ИПУО, используя разработанную номограмму (рис. 1), можно прогнозировать вероятность риска той или иной степени охлаждения организма.

Наиболее сложной задачей является корректный учет теплоизоляции комплекта спецодеж-

ды. Ее величина во многом определяется теплофизическими свойствами пакета материалов и скоростью ветра. Учет скорости ветра на рабочем месте без учета его влияния на теплоизоляцию одежды может быть причиной неадекватной оценки микроклимата с точки зрения влияния его на охлаждение организма. Последнее также не представляется возможным оценить, если не учитывается продолжительность непрерывного пребывания на холоде, а также уровень энергозатрат, который может компенсировать теплотеря в окружающую среду.

В таблице 6 приведены требования к теплоизоляции спецодежды, которой должны обеспечиваться работающие на холоде в различных климатических регионах. При этом предполагается, что время непрерывного пребывания на холоде не превышает двух часов [1, 4].

В качестве примера (табл. 7) приведена степень риска охлаждения человека, работающего на открытой территории в IB климатическом регионе (IV климатический пояс, Восточная Сибирь) [4] при различной скорости ветра и температуре воздуха. Приведенные данные позволяют принять соответствующее решение о регла-

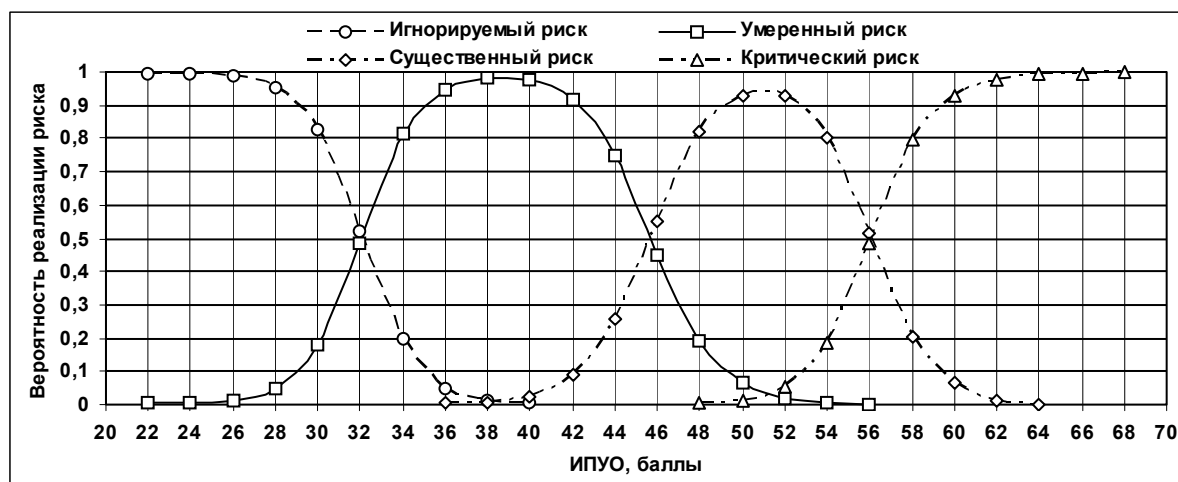


Рис. 1. Вероятность риска охлаждения человека при различных значениях интегрального показателя условий охлаждения (ИПУО, балл).

Таблица 6
Требования к теплоизоляции комплекта одежды для защиты от холода [13]

Климатический регион (пояс)	Средняя температура воздуха зимних месяцев, °С	Наиболее вероятная скорость ветра в зимний период, м/с	Должная величина теплоизоляции комплекта в реальных условиях эксплуатации, I _к , °С·м ² /Вт	Должная величина теплоизоляции комплекта в относительно спокойном воздухе, I _{к.в.} , °С·м ² /Вт			
				Воздухопроницаемость внешнего слоя одежды, дм ³ /м ² ·с*			
1	2	3	4	10	20	30	40
I А (особый)	-25	6,8	0,513	0,669	0,714	0,764	0,823
I Б (IV)	-41	1,3	0,681	0,744	0,752	0,759	0,767
II (III)	-18	3,6	0,442	0,518	0,534	0,551	0,569
III (II)	-9,7	5,6	0,360	0,451	0,474	0,500	0,528

Примечание: * – определяется по ГОСТ Р 12.4.185-99.

Таблица 7

Риск охлаждения человека, работающего на открытой территории IБ климатического региона*
($I_k = 4,8$ кло, $q_m = 130$ Вт/м²)

Температура воздуха, °С	Скорость ветра, м/с									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-15	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-20	+	+	+	+	+	+	+	++	++	++
-25	+	+	+	+	+	++	++	++	++	++
-30	+	+	+	++	++	++	++	++	++	++
-35	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
-40	++	++	++	++	++	++	++	++	+++	+++
-45	++	++	++	++	++	++	+++	+++	+++	+++
-50	++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
-55	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++++

Примечание: * – продолжительность непрерывного пребывания на холоде 2 часа; + – игнорируемый риск; ++ – умеренный риск; +++ – существенный риск; ++++ – критический риск.

Таблица 8

Риск обморожения и соответствующая ему величина интегрального показателя ИПУОО

Уровень риска обморожения	Интегральный показатель, балл
игнорируемый (отсутствие обморожения)	≤ 34
умеренный (обморожение в течение 1 часа)	34 < ИПУОО ≤ 47
критический (обморожение в течение 1 минуты)	47 < ИПУОО ≤ 57
катастрофический (обморожение в течение 30 сек)	> 57

ментации работ при воздействии тех или иных сочетаний температуры воздуха и скорости ветра. В случае использования спецодежды с иной теплоизоляцией или при выполнении работ с другим уровнем энергозатрат риск охлаждения может быть определен на основании прогноза степени охлаждения человека.

Принимая во внимание опасность обморожения при работе в условиях пониженной температуры воздуха, в целях оценки риска повреждения (обморожения) открытых участков тела человека предложено уравнение множественной регрессии (2), отражающее значимость температуры воздуха и скорости ветра. Уравнение имеет вид:

$$\text{ИПУОО} = 34,654 - 0,4664 \cdot t_{\text{в}} + 0,6337 \cdot V, (2)$$

где ИПУОО – интегральный показатель условий охлаждения открытых участков тела человека, балл; $t_{\text{в}}$ – температура воздуха, °С; V – скорость ветра, м/с.

В таблице 8 представлены уровни риска обморожения и соответствующие ему величины интегрального показателя условий охлаждения открытых участков тела человека.

Таким образом, приведенные данные дают возможность оценить риск охлаждения человека в зависимости от комплекса факторов, воздействующих на его теплообмен с окружающей сре-

дой, а также прогнозировать уровень охлаждения в соответствии со степенью функционального напряжения системы терморегуляции и состояния здоровья человека. Представленные уравнения множественной регрессии дают возможность практически решить задачу прогнозирования риска охлаждения и принять соответствующие меры по его снижению, в частности, путем обеспечения комплектом спецодежды с должной теплоизоляцией и разработки режима работ в охлаждающей среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по расчету теплоизоляции комплекта индивидуальных средств защиты работающих от охлаждения и времени допустимого пребывания на холоде. МР № 11-0/279-09, утв. МЗ РФ 25.10.2001 г.
2. Афанасьева Р.Ф. Холодовой стресс и его профилактика / Р.Ф. Афанасьева, О.В. Бурмистров // Мед. труда и пром. экология. – 2001. – № 8. – С. 7–9.
3. Бобров А.Ф. Нормирование функциональных состояний человека, работающего в экстремальных условиях (новые принципы и методы разработки критериев) / А.Ф. Бобров // Автореферат дис. ... док-ра биол. наук. – М., 1993. – 38 с.
4. Вадровская Ю.В. Вопросы прикладной климатологии / Ю.В. Вадровская, К.А. Рапопорт,

Л.А. Чубуков. — Л.: Гидрометеиздат, 1960. — С. 120—137.

5. Майстрах Е.В. Патологическая физиология охлаждения человека / Е.В. Майстрах. — Л.: Медицина, 1975. — 215 с.

6. Миронкина Ю.Н. Информационная технология статистического синтеза критериев и алгоритмов оценки функционального состояния человека в прикладных медико-биологических исследованиях / Ю.Н. Миронкин, А.Ф. Бобров / Информационные технологии. — М.: Машиностроение, 1998. — № 3. — С. 41—47.

7. Орлов Г.А. Клиника острого и хронического поражения холодом / Острые и хронические поражения холодом. Тромбоэмболия легочной артерии / Г.А. Орлов. — М., 1982. — С. 3—6.

8. Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания: Методические указания МУК 4.31895-04 — М., 2004. — 20 с.

9. Сидоренков О.К. Клинические проявления хронической холодовой травмы / О.К. Сидоренков, А.А. Лусь, Г.М. Медведев / Вопр. мед. географии Севера. — Мурманск, 1986. — С. 36—40.

10. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др. / Под. ред. И.С. Енюкова. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 215 с.

11. Collins K.J. Cold stress and cardiovascular reactions / Problems with cold work / K.J. Collins / Ed. by I. Holmer, K. Kuklane. — Arbetslivsinstitutet. — 1998. — № 18. — P. 166—171.

12. Gavhed D. Face temperature and cardiorespiratory responses to wind in thermoneutral and cool subjects exposed to -10°C / D. Gavhed, T. Makinen, I. Holmer // European Journal of Applied Physiology. — 2000. — Т. 83. — P. 449—456.

13. Hassi J. Cold related diseases and cryopathies / J. Hassi / Ed. by I. Holmer. — Work in cold environments. — Invest. report. — 1994. — P. 33—40.