

УДК 57.045

Оценка риска переохлаждения и эффективности средств защиты на основе математической модели

Жеребцова Ксения Сергеевна^(*)

zherebtsova.kseniya2003@yandex.ru

Матюшев Тимофей Викторович

mtv4465@yandex.ru

Шейна Маргарита Алексеевна

sheina.marg0.a@gmail.com

Чередников Родион Фархадович

rodion-cherednikov@mail.ru

Козлов Максим Леонидович

kozlovml1405@gmail.com

Московский авиационный институт, Москва, Россия

Аннотация. Статья посвящена решению актуальной задачи — разработке математической модели терморегуляции человека в условиях охлаждающего микроклимата, позволяющей прогнозировать тепловое состояние организма, оптимизировать параметры средств индивидуальной защиты (СИЗ) и режимы общего и локального обогрева, что является эффективной альтернативой дорогостоящим и трудоемким натурным экспериментам [1].

Ключевые слова: математическое моделирование, холодовая травма, теплообмен, механизмы терморегуляции, кислородно-гелиевая смесь

Введение. Холодовая травма — это патологическое состояние, вызываемое продолжительным пребыванием в условиях низких температур, зачастую осложненных высокой влажностью и сильным ветром [2]. Базовую защиту от переохлаждения обеспечивают СИЗ, создание которых требует углубленного изучения термодинамических процессов в системе «человек – одежда – внешняя среда» [3].

Цель исследования состояла в оценке риска возникновения холодовой травмы и обосновании оптимальных режимов обогрева организма в условиях низкотемпературного воздействия на основе математической модели физиологической терморегуляции.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- разработать формализованное описание термодинамических процессов, процессов массопереноса газов и физиологических реакций на холодовое воздействие;
- разработать и программно реализовать математическую модель терморегуляции;
- провести вычислительные эксперименты по имитации общего переохлаждения;
- разработать алгоритм для определения теплофизических характеристик кислородно-гелиевой смеси (КГС) с целью оценки ее воздействия на респираторный теплообмен.

Материалы и методы; результаты. Для составления формализованного описания тело человека подразделялось на пять сегментов: голова (мозг и оболочка), туловище (внутренние органы и оболочка), центральный резервуар

крови и дополнительный сегмент — одежда. Пассивная система учитывает три ключевых аспекта: метаболическое теплообразование, перенос тепла внутри тела и его отдачу в окружающую среду, а также теплоизоляционные свойства одежды. Модель активных механизмов включала модели процессов вазоконстрикции и холодовой дрожи на основе концепции J. Stolwijk.

Результаты численного моделирования воздействия температур 12 и 17 °C свидетельствовали о том, что при длительном воздействии холода наступает общее переохлаждение несмотря на работу механизмов терморегуляции. У лиц старшего возраста (60÷70 лет) падение температуры кожи было более выраженным ($\Delta T = 6,0$ °C), чем у молодых ($\Delta T = 5,5$ °C).

Исследование теплообмена в легких показало существенное влияние температуры и состава дыхательной смеси на тепловой баланс организма:

- при дыхании газовой смесью при 45 °C тепловой поток был отрицательным по причине преобладания испарительной составляющей;

- при температуре 80 °C поток был положительным, причем для КГС он в 3,5 раза выше, чем для воздуха, что объясняется теплофизическими свойствами гелия.

Заключение. Разработанная комплексная математическая модель физиологической терморегуляции человека адекватно отражает основные законы теплообменных процессов и воспроизводит характер физиологических реакций в условиях общего переохлаждения. Полученные данные продемонстрировали, что КГС предпочтительны при высокотемпературных режимах обогрева.

Список источников

- [1] Жеребцова К.С., Шеина М.А., Матюшев Т.В. Моделирование терморегуляторных реакций человека на воздействие холода. *Гагаринские чтения-2025. Междунар. молодеж. науч. конф.: сб. тез.* Москва, Перо, 2025, с. 437–438.
- [2] *Клинические рекомендации — отморожение. Гипотермия. Другие эффекты воздействия низкой температуры.* URL: <https://diseases.medelement.com/disease/отморожение-гипотермия-другие-эффекты-воздействия-низкой-температуры-кп-рф-2024/18166> (дата обращения 10.01.2025).
- [3] Кошечев В.С. *Физиология и гигиена индивидуальной защиты человека от холода.* Москва, Медицина, 1981, 288 с.