

УДК 004.94

Моделирование физиологических процессов терморегуляции

Чередников Родион Фархадович¹

rodion-cherednikov@mail.ru

Матюшев Тимофей Викторович¹

mtv4465@yandex.ru

Мохаммад Самир Карими

samirmokhammad04@gmail.com

Жеребцова Ксения Сергеевна¹

zherebtsova.kseniya2003@yandex.ru

Шейна Маргарита Алексеевна²

sheina.marg0.a@gmail.com

¹ *Московский авиационный институт, Москва, Россия*² *НИЯУ МИФИ, Москва, Россия*

Аннотация. Работа посвящена разработке математической модели физиологической терморегуляции, предназначенной для создания автоматизированной системы контроля теплового состояния пилотов летательных аппаратов, работающих в условиях жаркого климата. Рассмотрены пассивные и активные механизмы терморегуляции, включая теплообразование, теплопередачу и теплоотдачу. Модель основана на концепции «установочного значения» (set-point) и включает в себя два основных узла: головной отдел и туловище, каждый из которых подразделяется на ядро и оболочку. Также учитывается кровообращение и его влияние на теплообмен. Проведенный вычислительный эксперимент подтвердил адекватность модели и показал, что оптимизация теплового режима снижает физиологическое напряжение пилотов.

Ключевые слова: терморегуляция, set-point, математическая модель, жаркий климат, авиация

Введение. Анализ существующих систем индивидуальной защиты показал их неэффективность в ручном регулировании теплового состояния пилотов, что может привести к перегреву, снижению работоспособности и даже гибели. Для точной оценки теплового состояния необходимы два показателя: средневзвешенная температура кожи (СВТК) и ректальная температура [1]. Однако традиционные методы измерения ректальной температуры инвазивны и не подходят для непрерывного мониторинга [2]. В связи с этим, целью работы является разработка алгоритмического обеспечения для автоматизированного комплекса анализа терморегуляции летчиков с использованием среды программирования MATLAB.

Методы и материалы; результаты. Для построения математической модели терморегуляции используется базовая модель, основанная на концепции «установочного значения» (set-point), согласно которой температура тела поддерживается на определенном уровне путем сложных механизмов регуляции. Структура модели включает два основных узла: головной отдел в форме сферы и туловище в виде цилиндра. Каждый узел дополнительно подразделяется на ядро и оболочку, что позволяет учитывать распределение температуры внутри организма. Кроме того, в отдельный сегмент выделяется кровообращение [2, 3].

Пассивная модель описывает передачу тепла внутри тела и к окружающей среде через кондукцию, конвекцию, радиацию и испарение. Уравнение теплового баланса учитывает приток и отток тепла, а также респираторные потери. Активная модель представляет систему уравнений, описывающих физиологические процессы терморегуляции, включая двухуровневое регулирование кровообращения и потоотделения. Теплоотдача испарением зависит от скорости испарения влаги, коэффициента массообмена и разности концентраций пара.

В рамках исследования был проведен вычислительный эксперимент, имитирующий теплообмен человека в защитном снаряжении при температуре окружающей среды $+35^{\circ}\text{C}$ и различной температуре вентилируемого воздуха: $+25$, $+30$, $+35^{\circ}\text{C}$.

Полученные результаты показали, что при увеличении температуры теплоносителя общее тепловое состояние улучшается: ректальная температура повышалась, при этом не возникало перенапряжения механизмов терморегуляции.

Заключение. Полученные данные подтверждают, что разработанная имитационная модель качественно отражает влияние повышенных температур на компенсаторные реакции человека. На основе модели была разработана независимая от прямого участия пилота алгоритмическая автоматизированная система мониторинга теплового состояния.

Список источников

- [1] Кошечев В.С., Кузнец Е.И. Физиология и гигиена индивидуальной защиты человека в условиях высоких температур. Москва, Медицина, 1986, 254 с.
- [2] Матюшев Т.В. Имитационная модель терморегуляции организма человека при проектировании индивидуальных систем жизнеобеспечения. Дис. ... канд. техн. наук, Москва, 1997, 171 с.
- [3] Матюшев Т.В., Шеина М.А., Чередников Р.Ф., Жеребцова К.С. Разработка экспертно-консультативной системы аналитического определения параметров микроклимата. Авиация и космонавтика. XXIII Междунар. конф.: сб. тез. Москва, Перо, 2024, с. 206–207.