

УДК 612.5:629.7.066

Разработка динамической модели теплового комфорта для систем климат-контроля вертолетов

Матюшев Тимофей Викторович¹

mtv4465@yandex.ru

Шейна Маргарита Алексеевна^{2(*)}

sheina.marg0.a@gmail.com

Жеребцова Ксения Сергеевна¹

Zherebtsova.Kseniya2003@yandex.ru

Чередников Родион Фархадович¹

rodion-cherednikov@mail.ru

Охапкина Ольга Николаевна¹

oxapki@gmail.com

¹ Московский авиационный институт, Москва, Россия² НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

Аннотация. Представлена модифицированная динамическая модель, интегрирующая математическую модель физиологической терморегуляции в статическую модель теплового комфорта. Показано, что модификация расширяет диапазон теплового комфорта за счет учета адаптационных механизмов. Сделан вывод, что разработанную модель можно применять для создания систем климат-контроля кабин вертолетов для повышения комфорта экипажа в заведомо некомфортных условиях.

Ключевые слова: тепловой комфорт, модифицированная модель Фангера, физиологическая терморегуляция, система контроля микроклимата, вертолет

Введение. Обеспечение теплового комфорта экипажа воздушного судна является важной задачей и непосредственно влияет на работоспособность и безопасность полета [1]. Несмотря на широкое применение в международных стандартах, классическая модель теплового комфорта П. Оле Фангер (PMV/PPD) обладает существенным недостатком — статичностью и переоценивает воздействие тепловых и холодовых факторов [2]. Целью данного исследования являлась разработка модифицированной динамической модели теплового комфорта, учитывающей адаптационные механизмы человеческого организма, для последующего использования в системе климат-контроля кабины вертолета. Актуальность работы обусловлена необходимостью создания высокоточных систем поддержания микроклимата, а научная новизна — введением компонента физиологической терморегуляции в классическую модель П. Оле Фангер.

Методы и материалы; результаты. Для модификации модели П. Оле Фангер [3] была применена динамическая математическая модель физиологической терморегуляции, разработанная научным коллективом ЦНИИ ВВС МО РФ. Данная модель включает пассивную часть, описываемую системой обыкновенных дифференциальных уравнений для сегментов тела, и активную часть, представленную алгебраическими уравнениями вазомоторных реакций, потоотделения и холодовой дрожи. Модификация заключалась в замене постоянной величины метаболизма на динамическую теплопродук-

цию, статического расчета средневзвешенной температуры кожи — на динамическое определение по температуре сегментов тела. Изменения привели к пересчету компонентов теплового баланса и, как следствие, индексов PMV и PPD.

Реализация и сравнение моделей проводились в среде MATLAB. В нагревающем климате базовая модель П. Оле Фангер предсказывала выход из зоны комфорта (перегрев) уже при температуре 24,8 °С, тогда как модифицированная модель учитывала механизмы терморегуляции и сохраняла комфортное состояние до 26,5 °С. Аналогично в охлаждающем климате порог комфорта по П. Фангеру составлял 13 °С, в то время как модифицированная модель расширяла его до 11 °С. На основе модифицированной модели была разработана система обратной связи для контроля теплового режима. Алгоритм системы анализирует рассчитанный PMV и в случае выхода за комфортные пределы вычисляет требуемую температуру окружающей среды для возврата к нейтральному состоянию. Моделирование двухчасового полета показало высокую эффективность системы: в холодной среде (–15 °С) процент недовольных снизился с 60 до 25 %, а в жаркой (35 °С) — с 87 до 26 %.

Заключение. По результатам исследования разработана модифицированная модель теплового комфорта, преодолевающая статичность классического подхода П. Оле Фангер. Эксперименты подтвердили, что учет физиологической терморегуляции позволяет точнее прогнозировать тепловое состояние человека в изменяющихся условиях. Разработанная модель и система контроля на ее основе имеют высокий потенциал для практического применения в авиационной промышленности, в частности для модернизации систем кондиционирования воздуха вертолетов без их конструктивной переделки. Это позволит существенно повысить комфорт и работоспособность экипажа в широком диапазоне внешних условий.

Список источников

- [1] 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.
- [2] Croome D.J., Gan G., Awbi H.B. Thermal comfort and air quality in offices. *Proceedings of Indoor*, 1993, vol. 6, pp. 37–42.
- [3] Fanger P.O. *Thermal comfort — analysis and applications in environmental engineering*. Toronto, McGraw-Hill, 1970, 244 p.