

УДК 519.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОКОМФОРТА ЧЕЛОВЕКА СРЕДСТВАМИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА "ЛОГОС"

Н. Г. Галанов, Р. Н. Жучков
(ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ", г. Саров Нижегородской области)

Приведены основные определения и уравнения модели теплокомфорта человека, а также особенности ее реализации в программном комплексе ЛОГОС. Рассмотрен пример решения характерной задачи. Результаты сравниваются с экспериментальными данными.

Ключевые слова: программный комплекс ЛОГОС, модель теплокомфорта, индекс субъективных ощущений, процент дискомфорта.

Введение

В настоящее время задачи моделирования теплового комфорта человека, находящегося в салоне автомобиля или летательного аппарата, становятся все более актуальными. Корректное предсказание теплового состояния человеческого тела и его ощущений позволяет определять безопасные режимы эксплуатации изделий и проектировать эффективные средства кондиционирования.

Для моделирования теплового комфорта используются уравнения сохранения энергетического баланса тел, изначально предложенные в работе [1]. Данные уравнения включают в себя различные процессы — конвекцию, излучение, испарение, возникающие при соприкосновении тела человека с воздушной средой. В зависимости от характеристик воздушной среды, тело автоматически подстраивается под внешние условия, уменьшая или увеличивая отвод тепла. На основе данной работы, а также статей других авторов [2–4] в программном комплексе (ПК) ЛОГОС [5] реализован метод теплокомфорта TCM (Termal Comfort Method), позволяющий определять температуру каждой поверхности (для краткости — кожи), коэффициент теплоотдачи и уровень комфорта человека в зависимости от уровня метаболизма, теплоизоляции одежды и параметров внешней среды.

Основные факторы теплообмена тела человека

В организме человека протекают процессы, обеспечивающие выполнение следующих условий [2]:

- 1) соблюдение термального нейтралитета между температурой кожи и температурой внутри тела (термокомфорта);
- 2) равенство тепла, производимого при метаболизме, и суммы потерь тепла телом.

Можно выделить факторы, влияющие на теплоотдачу тела человека (табл. 1).

Окружающие факторы имеют большое влияние на отдачу телом тепла, но слабо зависят от человека. Индивидуальные факторы позволяют самому человеку регулировать теплоотдачу в большую или меньшую сторону. Способствующие факторы также являются важными, но в случае численного моделирования теплокомфорта не учитываются.

Рассматривая индивидуальные факторы, можно установить, что обмен веществ в человеческом теле напрямую зависит от активности мышц [2, 3, 6]. Традиционно обмен веществ измеряется в единицах метаболизма ($1 \text{ мет} = 58,15 \text{ Вт/м}^2$). Взрослый человек среднего роста и телосложения имеет

Таблица 1

Факторы, влияющие на теплоотдачу тела человека

| Окружающие факторы | Индивидуальные факторы | Способствующие факторы |
|---|-----------------------------------|------------------------|
| Температура воздуха внешней среды (t_a) | Метаболический обмен (M) | Еда и питье |
| Скорость движения воздуха (v) | Теплоизоляция одежды (I_{cl}) | Акклиматизация |
| Радиационная температура (t_r) | | Форма тела |
| Влажность воздуха (RH) | | Подкожный жир |
| | | Возраст и пол |
| | | Закалка (здоровье) |

площадь кожной поверхности $1,7\text{ м}^2$ и вес 70 кг . В табл. 2 представлена зависимость метаболизма от состояний активности человека.

Нужно отметить, что внутренняя температура тела не зависит от метаболизма и остается равной 37°C , в то время как температура кожи может варьироваться от 31 до 34°C .

Следующим фактором, влияющим на теплообмен с внешней средой, является теплоизоляция одежды. Она сокращает потерю тепла телом. Единицей измерения теплоизоляции одежды является $1\text{ Clo} = 0,155\text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, для которой принимается следующая шкала: нулевое значение соответствует отсутствию одежды на теле человека; при значении 1 Clo считается, что человек одет в обычный деловой костюм.

В табл. 3 указана теплоизоляция разных видов одежды [2, 3, 6, 7]. При наличии на участке тела нескольких видов одежды приведенные значения суммируются.

Таблица 2

Метаболизм в зависимости от состояния активности человека

| Состояние активности | Метаболизм | |
|---|------------|-------------------|
| | мет | Вт/м ² |
| Во сне | 0,7 | 40 |
| Полулежа | 0,8 | 46 |
| Спокойно сидя | 1,0 | 58,15 |
| Стоя | 1,2 | 70 |
| При очень легкой работе (поход по магазинам, приготовление еды) | 1,6 | 93 |
| При средней работе (вождение машины) | 2,0 | 116 |
| При продолжительной средней работе (танцы) | 3,0 | 175 |
| При тяжелой работе (игра в теннис, футбол, занятия гиревым спортом) | 7,0 | 350 |

Таблица 3

Теплоизоляция одежды

| Одежда для мужчин | | Теплоизоляция, Clo | Одежда для женщин | | Теплоизоляция, Clo |
|----------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|--------|--------------------|
| Рубашка или футболка | легкая, короткие рукава | 0,14 | Блузка | легкая | 0,20 |
| Жилет | теплый | 0,29 | Юбка | теплая | 0,22 |
| Брюки | легкие | 0,26 | Брюки | легкие | 0,26 |
| Свитер | легкий | 0,20 | Свитер | легкий | 0,17 |
| | теплый | 0,37 | | теплый | 0,37 |
| Куртка | легкая | 0,22 | Куртка | легкая | 0,17 |
| | теплая | 0,49 | | теплая | 0,37 |
| Носки | до лодыжки | 0,04 | Колготки | тонкие | 0,01 |
| Обувь | ботинки | 0,10 | Обувь | туфли | 0,10 |

Рассмотренные факторы влияют на теплообмен тела человека и используются при решении уравнения теплокомфорта.

Уравнение теплокомфорта

Фундаментальные термодинамические процессы при теплообмене между телом человека и окружающей средой описываются уравнением теплокомфорта, предложенным в работе [1]:

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} + K_{cl}, \quad (1)$$

где M [Вт/м²] — продукт метаболического тепла; W [Вт/м²] — совершенная механическая работа; Q_{sk} [Вт/м²] — потери тепла от кожи; Q_{res} [Вт/м²] — потери тепла при дыхании; K_{cl} [Вт/м²] — отдача тепла одежде от кожи.

Потери тепла от кожи Q_{sk} определяются как сумма ощутимой теплоотдачи Q_t и теплоотдачи при испарении пота с кожи E_{sk} . Ощутимая теплоотдача раскладывается на радиационную Q_r и конвективную Q_c составляющие. Потеря тепла при дыхании Q_{res} состоит из конвективной части C_{res} и испаряющейся части E_{res} . С учетом сказанного уравнение (1) приобретает вид

$$M = Q_m = Q_c + Q_r + E_{sk} + E_{res} + C_{res} + K_{cl}, \quad (2)$$

где Q_m [Вт/м²] — полная потеря тепла телом человека. В соответствии с работами [3, 4, 6, 7] совершенная механическая работа W из уравнения (1) не учитывается. Продукт теплообмена M равен потерям тепла человеческого тела Q_m .

Конвективная и радиационная теплоотдачи могут быть записаны следующим образом:

$$Q_c = f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a); \quad Q_r = f_{cl} h_r [(t_{cl} + 273) - (\bar{t}_r + 273)]. \quad (3)$$

Здесь t_{cl} [°C] — температура одежды на теле; t_a [°C] — температура окружающей среды; \bar{t}_r [°C] — средняя радиационная температура; h_c [Вт/м² · °C] — коэффициент конвективной теплоотдачи; h_r [Вт/м² · °C] — коэффициент радиационной теплоотдачи, $h_r = 4\epsilon\sigma f_{eff} [273,15 + (t_{cl} + \bar{t}_r)/2]^3$, где $f_{eff} = 0,725$; $\epsilon = 0,95$; $\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8}$ Вт/м² × К⁴; f_{cl} — фактор закрытой поверхности тела, $f_{cl} = A_{cl}/A_{Du}$, где A_{cl} [м²] — площадь закрытой одеждой поверхности тела, $A_{Du} = 0,202m^{0,425}L^{0,725}$ [м²] — площадь всей поверхности тела, m [кг] — масса тела, L [м] — высота тела.

Коэффициент конвективной теплоотдачи зависит от типа течения и может быть выражен через осредненные безразмерные величины. Авторы работ [6, 8, 9] приводят следующее выражение:

$$h_c = 2,381 (t_{cl} - t_a)^{0,25} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}.$$

Измерение температуры всех поверхностей в комнате и определение ее воздействия на человека — очень трудоемкая задача, так как данное воздействие не поддается точной оценке. Обычно для вычисления средней радиационной температуры применяют упрощение модели: \bar{t}_r полагают равной осредненной температуре внешних стенок расчетной области [2, 10, 11].

Теплоотдача от кожи E_{sk} может быть разделена на диффузию через кожу E_d и потоотделение E_{sw} :

$$E_{sk} = E_d + E_{sw}.$$

В работе [1] приведено соотношение между потоотделением E_{sw} и метаболизмом M :

$$E_{sw} = 0,42 (M - 58,15).$$

Диффузия через кожу определяется выражением

$$E_d = h_{fg} m_{p,sk} (p_{sk} - p_a), \quad (4)$$

где $h_{fg} = 2,43 \cdot 10^6$ Дж/кг — теплота парообразования воды; $m_{p,sk} = 1,271 \cdot 10^{-9}$ кг/м² · с · Па — коэффициент проводимости кожи; p_a [Па] — давление паров воды вдали от тела человека; p_{sk} [Па] — давление насыщенных паров воды рядом с кожей/одеждой.

Давление паров воды вдали от тела человека зависит от влажности воздуха RH [%]. Вычисление давления p_a в ПК ЛОГОС реализовано с использованием уравнения, предложенного в работе [12]:

$$p_a = \frac{RH}{100\%} e^{23,5613 - \frac{4030,183}{t_a + 235}}. \quad (5)$$

Согласно [1] давление насыщенных паров воды рядом с кожей/одеждой p_{sk} и температуру кожи без одежды t_{sk} можно выразить через следующие выражения:

$$p_{sk} = 256t_{sk} - 3\,373, \quad t_{sk} = 35,7 + 0,028M. \quad (6)$$

Подставляя известные константы и выражения (5), (6) в уравнение (4) и проводя некоторые преобразования, можем записать

$$E_d = 3,08853 \cdot 10^{-3} \cdot (5766,2 - 7,168M - p_a).$$

Согласно работам [1, 13] величины C_{res} и E_{res} из (2) можно записать следующим образом:

$$C_{res} = \dot{m}_{res} c_p \frac{t_{ex} - t_a}{A_{Du}}; \quad E_{res} = \dot{m}_{res} h_{fg} \frac{W_{ex} - W_a}{A_{Du}}. \quad (7)$$

Здесь t_a, t_{ex} [°C] — температура вдыхаемого (окружающего) и выдыхаемого воздуха; W_a, W_{ex} — влажность вдыхаемого (окружающего) и выдыхаемого воздуха; c_p [Дж/кг · °C] — удельная теплоемкость окружающего воздуха; A_{Du} [м²] — площадь поверхности тела; $\dot{m}_{res} = K_{res}M$ [кг/с] — величина легочной вентиляции, где $K_{res} = 2,58 \cdot 10^{-6}$ кг · м²/Дж — константа.

Температура вдыхаемого воздуха может быть описана как функция температуры окружающей среды и влажности вдыхаемого воздуха [2, 14]. Если температуру вдыхаемого воздуха t_a оценивать при стандартных условиях (температура окружающего воздуха 20 °C, влажность 50 %, давление на уровне моря), то температура выдыхаемого воздуха t_{ex} составит 34 °C. Влажность вдыхаемого воздуха W_a и влажность выдыхаемого воздуха W_{ex} могут быть найдены как функции давления паров воды окружающего воздуха p_a и барометрического давления. Подставив соответствующие значения в уравнения (7), получим следующие выражения [8]:

$$C_{res} = 1,43 \cdot 10^{-3} M (34 - t_a); \quad E_{res} = 1,73 \cdot 10^{-5} M (5\,834 - p_a),$$

где p_a [Па] — давление водяных паров в окружающем воздухе.

Последнее слагаемое в уравнении (2) — отдача тепла одежде от кожи K_{cl} — определяется следующим выражением [4]:

$$K_{cl} = \frac{t_{sk} - t_{cl}}{R_{cl}},$$

где R_{cl} — теплосопротивление одежды. Теплотеря K_{cl} в дальнейшем переходит во внешнюю среду от одежды посредством конвективной Q_c и радиационной Q_r теплоотдач. Соответственно с учетом (3) величину K_{cl} можно выразить следующим образом:

$$\frac{t_{sk} - t_{cl}}{R_{cl}} = f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) + f_{cl} h_r \left[(t_{cl} + 273) - (\bar{t}_r + 273) \right].$$

Отсюда

$$t_{cl} = t_{sk} - R_{cl} f_{cl} \left[h_c (t_{cl} - t_a) + h_r \left[(t_{cl} + 273) - (\bar{t}_r + 273) \right] \right]. \quad (8)$$

Для вычисления выражения (8) требуется определить следующие значения:

– теплосопротивление одежды [8]

$$R_{cl} = 0,155 I_{cl},$$

где I_{cl} — теплоизоляция одежды;

– фактор закрытой площади тела [6]

$$f_{cl} = \begin{cases} 1 + 0,2I_{cl}, & I_{cl} < 0,5 \text{ Clo}; \\ 1,05 + 0,1I_{cl}, & I_{cl} > 0,5 \text{ Clo}; \end{cases}$$

– коэффициент конвективной теплоотдачи в зависимости от набегающего воздушного потока [6]

$$h_c = \begin{cases} 2,38 (t_{cl} - t_a)^{0,25}, & 2,38 (t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1\sqrt{v}; \\ 12,1\sqrt{v}, & 2,38 (t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1\sqrt{v}, \end{cases}$$

где v — средняя скорость воздуха относительно тела человека.

Подставляя в уравнение (8) найденные значения величин, можно получить следующее выражение для температуры одежды на теле человека:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028M - I_{cl} \left\{ 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \left[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 \right] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \right\}.$$

В ПК ЛОГОС данная величина вычисляется методом схождения.

С учетом того, что $Q_c + Q_r = Q_t$ (ощутимая теплоотдача), из уравнения (2) получим

$$Q_t = M - E_{sk} - C_{res} - E_{res} - K_{cl}.$$

Полученные значения ощутимой теплоотдачи Q_t и температуры одежды на теле человека t_{cl} используются в ПК ЛОГОС.

Индекс субъективных ощущений и процент дискомфорта

Для технических и экономических обоснований условий внешней среды, которые обеспечат оптимальный теплокомфорт людей, в работе [1] были предложены индекс субъективных ощущений (PMV) и процент дискомфорта (PPD). Данные величины основаны на экспериментальных результатах и приняты как стандарт ISO 7730 [6].

Индекс субъективных ощущений комфорта измеряется по семиуровневой шкале:

$$PMV = \begin{cases} +3, & \text{жарко;} \\ +2, & \text{тепло;} \\ +1, & \text{слегка тепло;} \\ 0, & \text{нейтрально (комфортная температура);} \\ -1, & \text{слегка прохладно;} \\ -2, & \text{прохладно;} \\ -3, & \text{холодно.} \end{cases}$$

Для вычисления индекса субъективных ощущений комфорта применяется следующее уравнение:

$$PMV = \left(0,303 \exp(-0,036M) + 0,028 \right) \times \\ \times \left\{ M - 3,08853 \cdot 10^{-3} (256t_{cl} - 3373 - p_a) - 0,42 (M - 58,15) - 1,73 \cdot 10^{-5} M (5867 - p_a) - \right. \\ \left. - 0,0014M (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \left[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 \right] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \right\}.$$

Процент дискомфорта определяется в зависимости от индекса субъективных ощущений следующим выражением:

$$PPD = 100 - 95 \exp(-0,03353PMV^4 - 0,2179PMV^2).$$

Границы уровня комфорта, принятые в стандарте ISO 7730, находятся в следующих пределах:

$$-0,5 < PMV < 0,5; \quad PPD < 10\%.$$

Вычисление данных величин реализовано в комплексе ЛОГОС на тех границах счетной области, где используется модель теплокомфорта.

Алгоритм метода ТСМ с учетом параметров одежды

При решении задачи теплообмена между телом человека и окружающей средой использовался метод теплокомфорта ТСМ, реализованный в ПК ЛОГОС. В методе ТСМ выполняется следующий алгоритм (рис. 1).

Для инициализации значений принимается равенство $Q_m = M$. На каждом участке тела инициализируются переменные метаболического обмена M и теплоизоляции одежды I_{cl} . В области расчета инициализируются радиационная \bar{t}_r и атмосферная t_a температуры, а также относительная влажность воздуха RH .

Проводится первоначальное вычисление температуры поверхности расчетной модели t_{cl} , коэффициента конвективной теплоотдачи h_c , значения ощутимой теплоотдачи Q_t и индексов PMV и PPD .

Далее с заданными параметрами решателя с использованием алгоритмов ПК ЛОГОС [5] проводится расчет системы уравнений Навье—Стокса и определяются новые значения величин в расчетной области. После их определения выполняется очередной итерационный шаг, в начале которого, используя метод ТСМ, определяются новые значения параметров на поверхности модели человека. Остановка расчета выполняется пользователем при определении схождения по невязкам или установления постоянного распределения полей во всей области расчета.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма метода ТСМ

Результаты численных исследований

С целью верификации реализованного алгоритма рассматривалась задача теплокомфорта человека, находившегося в замкнутом помещении. Для апробации была взята модель манекена Felix (рис. 2) [15], которая размещалась в прямоугольной области с размерами 2,44 м × 2,46 м × 1,2 м (рис. 3).

Расчетная сетка содержала 1,9 млн ячеек (рис. 4, 5). Толщина пограничного слоя составляла 10 ячеек. Расчеты данной задачи в ПК ЛОГОС проводились с использованием модели TSM и с заданием фиксированной температуры на поверхности манекена (без TSM). Проводились сравнения полученных распределений скорости и температуры воздушного потока над моделью человека с экспериментальными данными [16].

Для расчета данной задачи без использования модели TSM на поверхности тела принимались следующие значения: температура на поверхности манекена $t_{cl} = 309,75 \text{ K} = 36,6^\circ\text{C}$; коэффициент

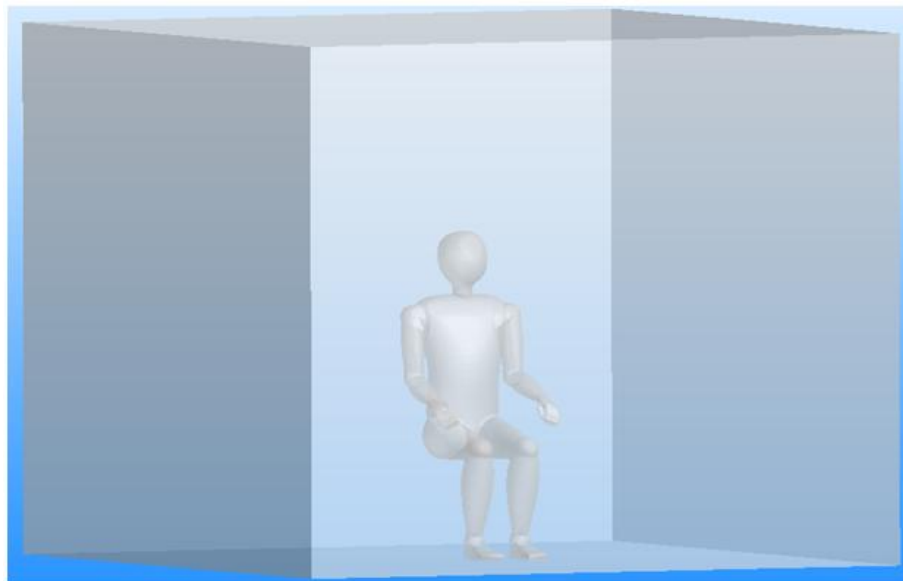
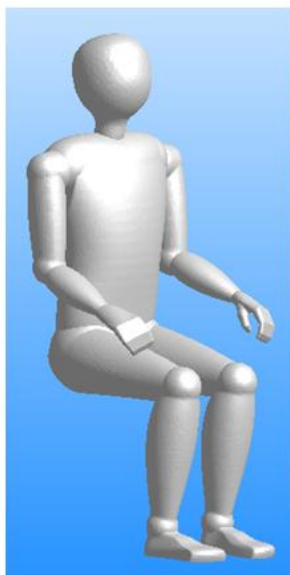


Рис. 2. Модель манекена Felix

Рис. 3. Общий вид расчетной области

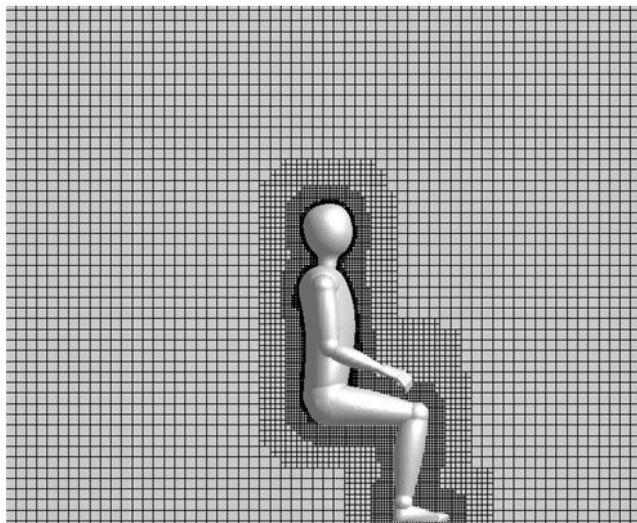


Рис. 4. Сечение области расчета модели человека

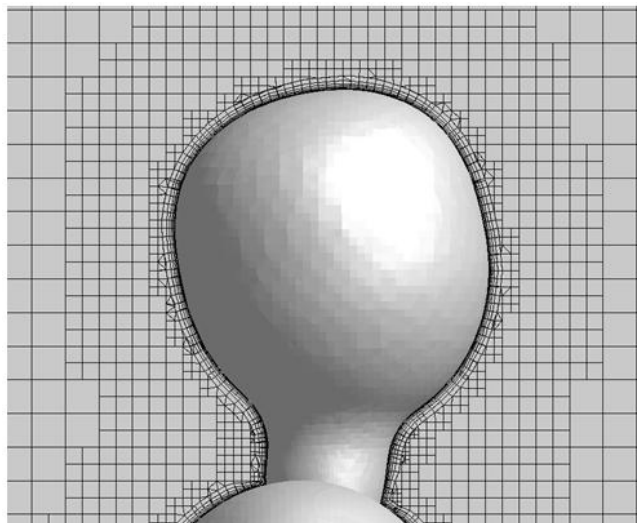


Рис. 5. Сечение расчетной сетки в области головы модели

конвективной теплоотдачи $h_c = 4,3$. Для расчета задачи с применением метода ТСМ на поверхности модели задавалось значение метаболизма $M = 1,2$ мет, а также влажность окружающего воздуха $RH = 50\%$. На поверхности стенок комнаты задавалось граничное условие третьего рода с температурой 18°C .

На рис. 6 (см. также цветную вкладку) показано распределение температуры в окрестности моделируемого тела человека, полученное в ПК ЛОГОС.

Для сравнения с экспериментальными данными проводилось построение двух прямых. Первая расположена в горизонтальной плоскости в 3 см над головой, вторая, вертикальная, — над центром плеча. На рис. 7 представлены распределения температуры воздуха, полученные на вертикальной прямой над плечом, на рис. 8 — распределения скорости потока воздуха на горизонтальной прямой над головой.

Из рисунков видно, что результаты, полученные в ЛОГОС, с использованием метода ТСМ и с заданием фиксированной температуры на поверхности манекена хорошо согласуются между собой и с экспериментальными данными, что свидетельствует о правильности реализации метода ТСМ в ПК ЛОГОС.

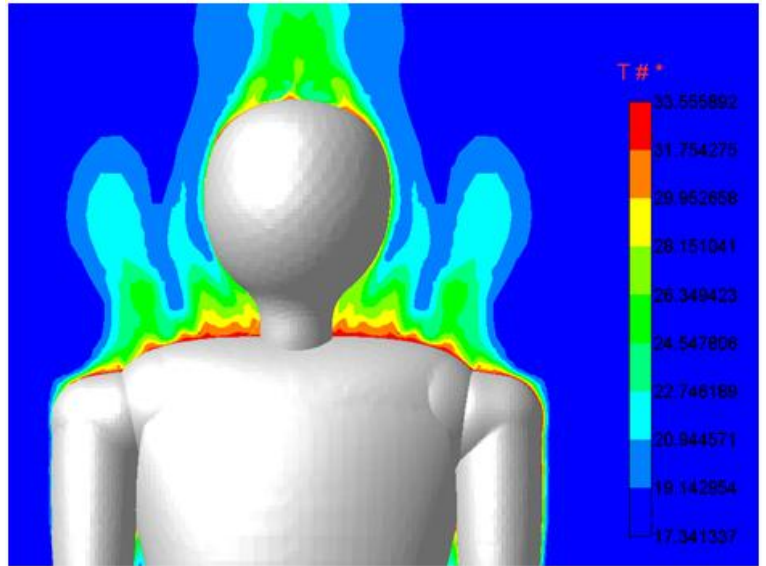


Рис. 6. Распределение температуры в окрестности модели человека

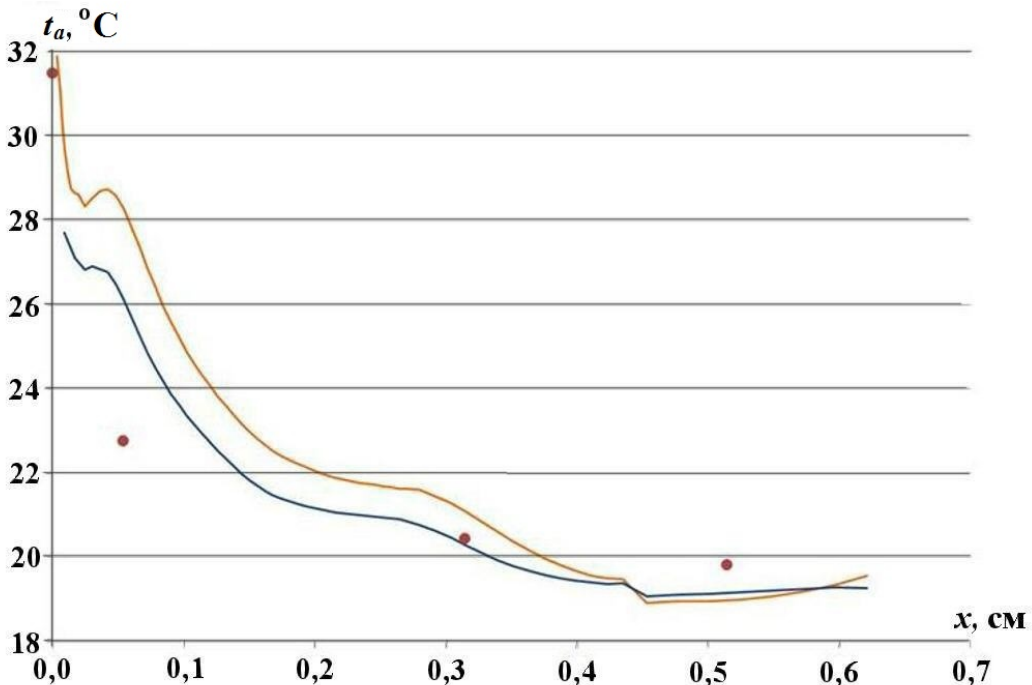


Рис. 7. Распределение температуры окружающего воздуха на вертикальной прямой, проходящей над плечом: ● — эксперимент; — — ЛОГОС без использования ТСМ; — — ЛОГОС с использованием ТСМ

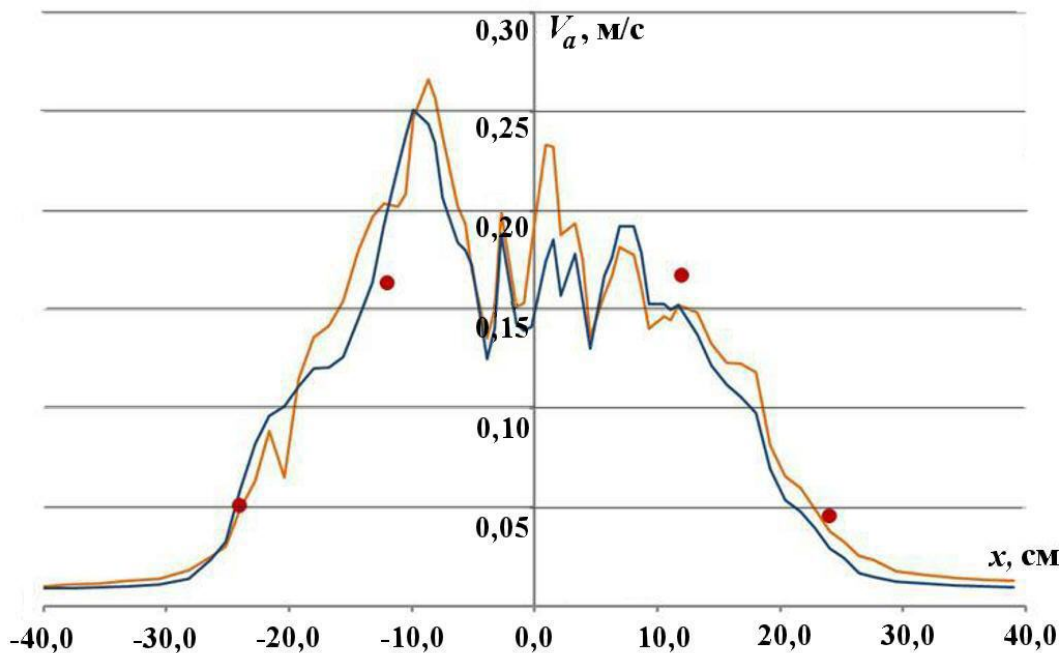


Рис. 8. Распределение скорости потока воздуха на горизонтальной прямой в 3 см над головой: ● — эксперимент; — ЛОГОС без использования TCM; — ЛОГОС с использованием TCM

Заключение

Дано описание модели теплокомфорта (TCM), реализованной в ПК ЛОГОС, приведены основные уравнения и вычислительный алгоритм.

Выполненные численные эксперименты показали, что реализованная модель позволяет получать результаты, близкие к полученным в эксперименте. Кроме того, она позволяет определять уровень теплокомфорта человека в зависимости от параметров окружающей среды, уровня активности человека и его одежды. Определение уровня теплокомфорта производится через индекс субъективных ощущений и уровень дискомфорта, что особенно важно при проектировании систем кондиционирования помещений с находящимися внутри людьми.

Список литературы

1. *Fanger P. O.* Thermal Comfort-Analysis and Applications in Environmental Engineering. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.
2. ASHRAE 2004. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2004.
3. *Auliciems A., Szokolay S. V.* Thermal Comfort. PLEA: in Association with Department of Architecture. Brisbane: The University of Queensland, 1997.
4. *Olesen B. W.* Thermal comfort // Technical Review in Acoustical Electrical and Mechanical Measurement. 1982. No 2. P. 3–37.
5. *Козелков А. С., Дерюгин Ю. Н., Зеленский Д. К., Полищук С. Н., Лашкин С. В., Жучков Р. Н., Глазунов В. А., Яцевич С. В., Курулин В. В.* Многофункциональный пакет программ ЛОГОС: физико-математические модели расчета задач аэро-, гидродинамики и тепло-массопереноса: Препринт № 111. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2013.
6. International Standard. ISO 7730. Moderate Thermal Environments — Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort. 1994.

7. *Fariborz H.* Thermal comfort in housing and thermal environments. <http://www.eolss.net/Sample-charters/C15/E1-32-04-02.pdf>.
8. *Brohus H.* Personal Exposure to Contaminant Sources in Ventilated Rooms. Denmark: Kolding Trykcenter, 1997.
9. *Holopainen R.* A Human Thermal Model for Improved Thermal Comfort. VTT Technical Research Centre of Finland, 2012.
10. *Dubois D., Dubois F.* A formula to estimate approximate surface area if weight and height is known // Arch. Int. Med. 1916. C. 863–871.
11. *Nilsson H. O., Brohus H., Nielsen P. V.* CFD modeling of thermal manikin heat loss in a comfort evaluation benchmark test // Proc. 10th Int. Conf. on Air Distribution in Building. Finland, Helsinki, 2007.
12. *Stanton N., Hedge A., Brookhuis K., Salas E., Hedrick H.* The Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods. N.-Y., Boca Raton: CRC Press LLC, 2005. P. 270–485.
13. *Gao N.* Numerical and Experimental Study of Personalized Ventilation. Department of Building Services Engineering. The Hong Kong Polytechnic University, 2006.
14. *Zuo H. G.* Experimentak Study of Personalized Air System for the Reduction of Pollutant Exposure. Master Thesis. Department of Building Services Engineering. The Hong Kong Polytechnic University, 2003.
15. *Ružić D. A., Bikić S. M.* An Approach to the modelling of a virtual thermal manikin // Thermal Science. 2014. Vol. 18, No 4. P. 1 413–1 423.
16. *Voelker C., Kornadt O.* Human body's micro-climate: measurement and simulation for the coupling of cfd with a human thermoregulation model // Proc. 12th Int. Conf. Building Performance Simulation Association. Sydney, 14–16 November 2011. P. 2 048–2 054.

Статья поступила в редакцию 29.09.17.

SIMULATION OF THE HUMAN THERMAL COMFORT BY MEANS OF LOGOS SOFTWARE COMPLEX / N. G. Galanov, R. N. Zhuchkov (FSUE "RFNC-VNIIEF", Sarov, N. Novgorod region).

The paper gives the main definitions and equations of the human thermal comfort model, as well as the specific features of its implementation in LOGOS software complex. An example of solving a typical problem is considered. Simulation results are compared with data of experiments.

Keywords: LOGOS software complex, thermal comfort model, index of subjective sensations, discomfort ratio.
