

ми 15,5–38", а также с шинами, имеющими увеличенную высоту почвозацепов.

Анализируя результаты экспериментальных исследований, можно сказать, что составляющая $M Q_K$ касательной силы тяги колеса в зависимости (1), получаемая за счет трения опорной поверхности баллона о грунт, составляет 19–21%. Это обусловлено тем, что коэффициент трения имеет величину 0,14–0,16 вследствие повышенной влажности почвы (табл. 1).

Основную долю касательной силы тяги в условиях рисовых чеков, залитых водой, дает взаимодействие почвозацепов, сдвигающих почву, т.е. составляющая $\tau_K F_B$. Поэтому увеличение суммы вертикальных проекций упорных поверхностей зацепов F_B , находящихся в соприкосновении с почвой, ведет к повышению силы тяги колеса. Увеличение площади F_B возможно за счет увеличения высоты грунтозацепов и снижения давления воздуха в шинах.

Л и т е р а т у р а

1. Львов Б.Д. Теория трактора. – Л., 1960.

УДК [629.114.2.001.2:681.3]:628.89

О.А.Мухин, Р.Н.Руденко

РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА КАБИН ПОДВИЖНЫХ МАШИН МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОМОДЕЛИРОВАНИЯ

Одна из актуальных и сложных проблем улучшения условий труда водителей-операторов подвижных машин – создание в кабинах теплового режима, отвечающего физиолого-гигиеническим нормативам. До настоящего времени при его изучении, как правило, используются данные лабораторных и натуральных исследований.

Сложность и длительность проводимых экспериментов во всех вариантах в натуральных условиях приводит к необходимости разработать такой метод расчета, который позволил бы в процессе проектирования и исследования готовых образцов с достаточной степенью достоверности оценивать тепловой режим для любого предлагаемого конструктивного решения кабины.

Рассмотрим возможности и особенности применения метода электро моделирования для расчета теплового режима на примере исследования температурного поля внутри кабины Т-100М в зимний период при помощи аналоговой машины ЭГДА-9/60 [1–3].

Математическая формулировка задачи и необходимые исходные данные для ее решения:

1. Рассматривается двухмерная задача определения температурного поля воздушной прослойки внутри кабины.

2. Используется уравнение переноса тепла для стационарного режима при граничном условии третьего рода [1, 4] вида

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x, y) \frac{\partial t}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(x, y) \frac{\partial t}{\partial y} \right] = 0; \quad (1)$$

$$\lambda \frac{\partial t}{\partial n} + \alpha \Delta t = 0, \quad (2)$$

где t – температура в любой точке кабины с координатами x и y ; λ – коэффициент теплопроводности; n – нормаль к поверхности; α – коэффициент теплоперехода; Δt – разность между температурой поверхности и температурой среды.

3. Наружная температура на границе исследуемой области t^H принималась средней для холодной пятнадцатки в условиях Белоруссии (СНиП II-A-6.72).

Коэффициенты теплопроводности воздуха λ в кабине рассчитывались по средней температуре поверхностей с учетом влияния конвективного и лучистого теплообмена [3]. Принятые для моделирования коэффициенты теплопроводности различных материалов представлены в табл. 1.

Коэффициенты теплообмена поверхностей с окружающей средой приняты: $\alpha = 23,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $\alpha = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Уравнение для электрического тока в модели при стационарном плоскопараллельном движении имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial x^*} \left[\sigma(x^*, y^*) \frac{\partial \varphi}{\partial x^*} \right] + \frac{\partial}{\partial y^*} \left[\sigma(x^*, y^*) \frac{\partial \varphi}{\partial y^*} \right] = 0, \quad (3)$$

Таблица 1. Коэффициенты теплопроводности

Материалы	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$
Листовая сталь	75,6
Воздушная прослойка при толщине 1,3 м	8,14
Воздушная прослойка при толщине 0,15 м (под сиденьем)	0,91
Стекло (сталинит)	0,76
Вата хлопковая	0,06

где σ – коэффициент электропроводности; x^*, y^* – координаты той же точки модели; φ – электрический потенциал.

Сопоставляя уравнения (1), и (3), видим, что температурное поле воздушной среды в кабине можно определить электро-моделированием при соблюдении условий подобия конфигурации, физических параметров ($\lambda \sim \sigma$; $t \sim \varphi$; $\Delta t \sim \Delta \varphi$), граничных условий натуры и модели ($\lambda_1 \sim \sigma_1$; $t_1 \sim \varphi_1$; $\Delta t_1 \sim \Delta \varphi_1$; $\frac{1}{\rho} \sim \rho$).

Моделирование областей, состоящих из сред с различными теплофизическими характеристиками, осуществлялось подбором электропроводной бумаги согласно выражению [3]:

$$\frac{\sigma_y}{\sigma_1} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{\rho_1}{\rho_y}, \quad y = 1, 2, 3, 4, 5,$$

где σ – удельная электропроводность бумаги модели; λ – коэффициент теплопроводности натуры; ρ – удельное электрическое сопротивление бумаги.

Для моделирования наружных граничных условий к линии наружной поверхности добавлялось электрическое сопротивление соответствующее сопротивлению теплопередачи, и подавали потенциал, равный 100%, моделирующий температуру наружного воздуха t_n .

Моделирование внутренних граничных условий осуществлялось аналогично и подавался потенциал, равный 0% и соответствующий средней температуре внутреннего воздуха в кабине t_B .

Граничные условия для моделей и натуры должны быть пропорциональны [3], т.е.:

$$\varphi = at + b, \quad (4)$$

где φ – электрический потенциал на модели; t – температура в натуре.

Коэффициенты a и b определялись по двум заданным значениям величины φ так, чтобы величины температур t_{\min} и t_{\max} в натуре соответствовали приведенным значениям потенциалов $\varphi = 0$ и $\varphi = 1$ на модели.

В качестве t_{\min} и t_{\max} принимали температуру самой холодной и самой теплой поверхностей ограждения ($t_{\min} = -25^\circ\text{C}$ и $t_{\max} = 25^\circ\text{C}$).

По заданным значениям температуры в натуре по формуле (4) были вычислены необходимые граничные значения приведенных потенциалов. Реализацию граничных условий производили установлением на границе модели требуемых потенциалов;

$\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3, \Psi_4, \Psi_5$, что отражало в натуре температуру соответствующих поверхностей кабины на границе с окружающей средой.

Найденные эквипотенциальные точки соответствуют значениям температуры по выражению (4) и представлены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что температурное поле характеризуется резким наложением изотермических линий. Это вызвано, в первую очередь, контрастностью внешних и внутренних воздействий (резкое охлаждение наружным воздухом, нагревание за счет тепловыделения двигателя и т.д.), а также небольшим объемом кабины и отсутствием системы воздухораспределения.

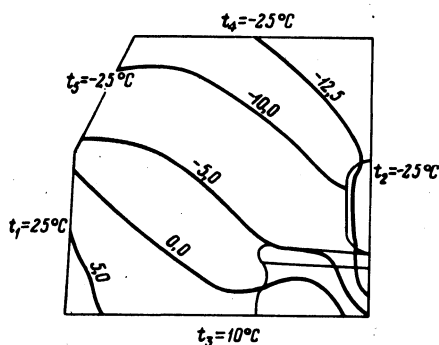


Рис. 1. Температурное поле внутри кабины Т-100М, полученное методом электроанalogии.

Сопоставление теоретических результатов с экспериментальными данными, полученными в ходе полевых испытаний, пока — зало, что применяемый метод имеет достаточную для инженерных расчетов сходимость.

Следует отметить, что процесс переноса тепла в ограниченном воздушном пространстве представляет собой сложную картину и его моделирование затруднительно. Для упрощения расчета перенос в замкнутых воздушных прослойках рассматривался как перенос тепла теплопроводностью, при этом вводился эквивалентный коэффициент теплопроводности λ_{Θ} , равный [4,5]:

$$\lambda_{\Theta} = \lambda_0 + \lambda_k + \alpha_{\text{л}} \delta, \quad (5)$$

где λ — коэффициент теплопроводности неподвижного воздуха, равный $0,024$ Вт/(м·К); λ_k — условный коэффициент передачи тепла конвекцией. Величина его зависит от толщины воздушной прослойки, ее расположения и разности температур на поверхностях прослойки.

Величина λ_k определялась из критериального уравнения

$$\varepsilon_k = \frac{\lambda_k}{\lambda_0} = 0,18 (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{0,25}, \quad (6)$$

где Gr, Pr – критерии Грасгофа и Прандтля для соответствующих толщин прослойки и температур поверхностей.

Величина $\alpha_{\text{л}}$ определялась по формуле

$$\alpha_{\text{л}} = \epsilon^* \cdot 4,9 \frac{F_1}{F_1 + F_2} \left[\frac{\left(\frac{t_1 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_2 + 273}{100}\right)^4}{t_1 - t_2} \right], \quad (7)$$

где ϵ^* – приведенный коэффициент излучения; F_1, F_2 – площади противоположных стенок кабины.

За определяющий размер принималась толщина воздушной прослойки $\delta = 1,3$ м, за определяющую температуру – средняя температура воздуха в кабине $t_{\text{ср}} = 0^\circ\text{C}$.

Для воздушной прослойки кабины учитывалось действие горизонтальных и вертикальных потоков. Вычисленное значение $\lambda_{\text{к}} = 3,12$ Вт/(м·К).

Вычисленное значение коэффициента передачи тепла излучением $\alpha_{\text{л}} = 3,89$ Вт/(м²·К). Определенный с помощью расчета эквивалентный коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{э}} = 8,14$ Вт/(м·К) был применен при оценке теплового режима в кабине трактора методом электро моделирования.

Таким образом, метод электротепловой аналогии позволяет исследовать тепловой режим существующих и перспективных кабин, выявлять факторы, оказывающие на него то или иное воздействие, а также может быть использован для расчетов и сравнительной оценки предлагаемых конструктивных решений на стадии проектирования.

Л и т е р а т у р а

1. Ивашкова В.К. Исследование теплотехнических свойств ограждающих конструкций зданий методом электро моделирования: Научное сообщение НИИСФ.– М., 1960, вып. 1.
2. Ивашкова В.К. Исследование теплового режима холодильника методом электротепловой аналогии. – В сб.: Решение задач строительной физики на цифровых и аналоговых машинах. М., 1968.
3. Филъчаков А.А., Панчишин В.И. Интеграторы ЭГДА: Моделирование потенциальных полей на электропроводной бумаге.– Киев, 1961.
4. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики. – Мн., 1961.
5. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – М., 1973.