
УДК 621.373.826(075.8)

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОРТРЕТОВ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ ТЕХНИКИ

Calculating methodics of temperature portraits of land technics objects

Сосновский Д.Н.
Sosnovskiy D.N.

Военная академия Республики Беларусь

В статье рассмотрена методика расчёта температурных портретов объектов наземной техники (НТ), основанная на разбиении наружной поверхности моделируемого объекта на характерные площадки с последующим составлением уравнений теплового баланса для каждой из площадок.

In article the design procedure of temperature portraits of objects of land technics, grounded on dissection of an outside surface of modelled object into the characteristic polygons with the subsequent drawing up of the equations of thermal balance for each of polygons is viewed.

Введение

На сегодняшний день тепловизионные системы широко применяются в различных сферах, в частности: поисковые операции, мониторинг районов, обеспечение безопасного движения в условиях ограниченной видимости. При этом стали актуальны такие задачи как проверка разрабатываемых алгоритмов распознавания в ИК-диапазоне объектов НТ, а также обучения персонала приемам обнаружения и распознавания НТ при помощи тепловизионных систем в возможных условиях наблюдения.

Решение вышеизложенных задач значительно упрощается посредством использования методики, позволяющей рассчитывать температурные портреты объектов НТ в различных условиях наблюдения.

Постановка задачи

Методика расчёта температурных портретов может быть основана на решении уравнения теплового баланса для участков наружных поверхностей (*характерных площадок*) объекта НТ с заданными условиями однозначности.

В рамках данной статьи под характерной площадкой понимается участок наружной поверхности объекта НТ с одинаковыми условиями теплообмена, а также теплофизическими и оптическими свойствами материалов, составляющих конструкцию. К этим параметрам относятся: λ – теплопроводность; $\varepsilon_{дл}$ – излучательная способность наружной поверхности в длинноволновой области ИК-спектра; $\varepsilon_{к}$ – коэффициент излучения наружной поверхности в коротковолновой области ИК-спектра ($\varepsilon_{к}=\alpha_{к}$ в условиях равновесия); $\alpha_{к}$ – коэффициент поглощения наружной поверхности в коротковолновой области ИК-спектра; E_c – падающий на наружную поверхность лучистый тепловой поток, обусловленный излучением Солнца; $\alpha_{нар}$ и $\alpha_{вн}$ – коэффициенты конвективной теплоотдачи на наружной и внутренней поверхностях характерной площадки; T_v и T_o – температуры окружающей среды и воздуха под поверхностью характерной площадки.

В пределах характерной площадки объект принимается однородным и изотропным, его физические свойства считаются постоянными.

Методика расчёта температурных портретов объектов НТ

Разработанная методика включает в себя следующую последовательность действий:

1. Построение геометрической модели объекта НТ.
2. Выделение характерных площадок (вносящих наибольший вклад в интенсивность теплового излучения объекта) в выбранных проекциях (фронтальная, правая, кормовая, левая и сверху) на основании тепловизионных снимков, и исходя из анализа конструкции объекта.
3. Определение процессов теплообмена, оказывающих наибольшее влияние на температуру наружных поверхностей каждой из выбранных площадок.
4. Задание граничных условий для выбранных характерных площадок.
5. Определение температур наружных поверхностей характерных площадок.
6. Расчет энергетической яркости характерных площадок.
7. Моделирование тепловизионных изображений выбранных проекций объекта, соответствующих полученным энергетическим яркостям характерных площадок.

Такой подход позволяет реализовать моделирование поля энергетической яркости объектов НТ в среде MatLab без разработки спе-

циального программного обеспечения и использования суперкомпьютеров.

Поверхности исследуемого объекта НТ разбиваются на характерные площадки с учетом следующих факторов:

1. Ориентация относительно горизонта.
2. Освещенность прямым солнечным излучением: освещенная и неосвещенная.
3. Тепловое сопротивление конструкции площадки и излучательная способность наружной поверхности площадки в тепловом диапазоне длин ЭМВ.
4. Из-за особенностей теплообмена отдельно определяется температура следующих характерных площадок для объектов НТ:

- окна выпуска отработавших газов;
- выпускные решетки систем охлаждения;
- воздухозаборные решетки;
- колесные шины и диски или бандажи катков и траки гусениц.

В общем случае при необходимости большей детализации моделируемого теплового портрета объекта НТ возможно разбиение его поверхностей на большее количество типов характерных площадок. Однако это приведет к значительному увеличению затрат времени на подготовку исходных данных для проведения расчётов.

Каждая характерная площадка N_i ($i = 1...n$) имеет площадь S_i . Температура и энергетическая яркость данной площадки соответственно T_i и L_i .

Пересчет температуры в энергетическую яркость производится по уравнению Планка для требуемого диапазона длин волн. При этом задается коэффициент излучения каждой характерной площади ϵ_i .

Для определения температуры каждая характерная площадка конструкции объекта НТ представляется неограниченной пластиной (в общем случае многослойной). При этом расчет температуры наружной поверхности производится в одномерной постановке на основании уравнения теплового баланса.

Каждый i -й слой данной пластины характеризуется толщиной δ_i и теплопроводностью λ_{Ti} материала, из которого он изготовлен. Общая толщина пластины от наружной до внутренней поверхности, согласно принятой схемы (рис. 1), составляет от 0 до $-\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i$.

Схема удельных тепловых потоков, принятая для расчета температуры наружной поверхности многослойной (количество слоев n) неограниченной пластины, представлена на рисунке 1.

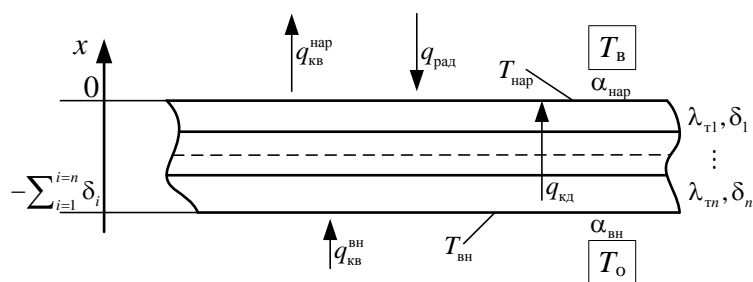


Рис. 1. Схема удельных тепловых потоков многослойной неограниченной пластины

При составлении уравнения теплового баланса учитывались следующие удельные тепловые потоки на наружной поверхности ($x = 0$):

- суммарный удельный тепловой поток, обусловленный радиационным теплообменом наружной поверхности пластины с окружающей средой $q_{рад}$;
- удельный тепловой поток, обусловленный конвективным теплообменом наружной поверхности пластины с окружающей средой $q_{кв}^{нар}$;
- удельный тепловой поток, обусловленный кондуктивным переносом теплоты от внутренней поверхности $q_{кд}$ (или от наружной поверхности к внутренней).

В расчетах удельные тепловые потоки, направленные от наружной поверхности пластины приняты отрицательными, а к поверхности – положительными. На схеме (рис. 1) показаны направления удельных тепловых потоков для случая, когда температура наружной поверхности выше температуры окружающего воздуха $T_в$, а также присутствует интенсивное солнечное излучение.

Таким образом, уравнение теплового баланса на наружной поверхности пластины в квазистационарных условиях имеет вид:

$$\vec{q}_{рад}(0) + \vec{q}_{кд}(0) + \vec{q}_{кв}(0) = 0. \tag{1}$$

Учет лучистого теплообмена производился с допущением, что основной вклад в формирование температурного поля наружных поверхностей объектов НТ оказывают излучения Солнца и атмосферы, а также собственное излучение пластины в мировое пространство. Для

определения радиационного теплового потока было принято следующее выражение:

$$q_{\text{рад}}(0) = E_a + E_c - \varepsilon_{\text{дл}} \sigma T_{\text{нар}}^4, \quad (2)$$

где тепловые потоки на наружную поверхность пластины, обусловленные излучением атмосферы и Солнца, определяются из уравнений [1]:

$$E_a = \varepsilon_{\text{дл}} S_a; E_c = \varepsilon_{\text{к}} S_c, \quad (3)$$

где S_a и S_c – облученность наружной поверхности пластины тепловым излучением атмосферы и Солнца соответственно.

При расчете радиационного теплообмена на наружной поверхности пластины отдельно учитывались основные составляющие в областях спектра излучения 0,3–1,1 мкм и 3–14 мкм. Это позволяет дополнительно учитывать влияние оптических характеристик наружной поверхности площадки.

С учетом (3) выражение (2) примет вид:

$$q_{\text{рад}}(0) = \varepsilon_{\text{дл}} S_a + \varepsilon_{\text{к}} S_c - \varepsilon_{\text{дл}} \sigma T_{\text{нар}}^4. \quad (4)$$

При расчете теплового баланса на наружной поверхности, исходя из соображений сохранения величины удельных тепловых потоков, было принято:

$$q_{\text{кв}} \left(-\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i \right) = q_{\text{кд}}(0), \quad (5)$$

где $q_{\text{кв}} \left(-\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i \right)$ – удельный конвективный тепловой поток к внутренней поверхности пластины (или от нее).

Удельный конвективный тепловой поток на внутренней поверхности можно представить уравнением вида [2]:

$$q_{\text{кв}} \left(-\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i \right) = \alpha_{\text{вн}} (T_0 - T_{\text{вн}}), \quad (6)$$

где T_0 – температура воздуха в пространстве под пластиной;

$T_{\text{вн}}$ – температура внутренней поверхности пластины;
 $\alpha_{\text{вн}}$ – коэффициент конвективной теплоотдачи на внутренней поверхности пластины.

Величина удельного кондуктивного теплового потока определялась из выражения [2]:

$$q_{\text{кд}}(0) = \left(\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_{\text{Ti}}} \right)^{-1} (T_{\text{вн}} - T_{\text{нар}}). \quad (7)$$

На основании уравнения (5), приравнявая правые части (6) и (7) было получено выражение для определения температуры внутренней поверхности пластины:

$$T_{\text{вн}} = \frac{\alpha_{\text{вн}} T_o + k T_{\text{нар}}}{k + \alpha_{\text{вн}}}, \quad (8)$$

где $k = \left(\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_{\text{Ti}}} \right)^{-1}$ – тепловое сопротивление пластины [3].

С учетом (8) выражение (7) имеет вид:

$$q_{\text{кд}}(0) = k \alpha_{\text{вн}} \frac{T_o - T_{\text{нар}}}{k + \alpha_{\text{вн}}}. \quad (9)$$

Удельный тепловой поток, обусловленный конвективным теплообменом площадки с окружающей средой, определяется из выражения [4]:

$$q_{\text{кв}}(0) = \alpha_{\text{нар}} (T_{\text{нар}} - T_{\text{в}}). \quad (10)$$

Таким образом, с учетом (4), (9), (10) уравнение теплового баланса (1) на наружной поверхности пластины преобразуется к следующему виду:

$$\varepsilon_{\text{дл}} S_a + \varepsilon_{\text{к}} S_c - \varepsilon_{\text{дл}} \sigma T_{\text{нар}}^4 + k \alpha_{\text{вн}} \frac{T_o - T_{\text{нар}}}{k + \alpha_{\text{вн}}} - \alpha_{\text{нар}} (T_{\text{нар}} - T_{\text{в}}) = 0. \quad (11)$$

Выражение, описывающее величину удельного теплового потока с поверхности пластины, обусловленного собственным излучением (в длинноволновой области) в окружающую среду, было линеаризовано относительно определяемой температуры $T_{нар}$ посредством разложения в ряд Тейлора:

$$\varepsilon_{дл} \sigma T_{нар}^4 \approx \varepsilon_{дл} \sigma \left(T_{оп}^4 + 4T_{оп}^3 (T_{нар} - T_{оп}) \right) = \varepsilon_{дл} \sigma T_{оп}^3 (4T_{нар} - 3T_{оп}), \quad (12)$$

где $T_{оп}$ – опорная температура.

В качестве опорной температуры принята температура наружной поверхности площадки, получаемая из уравнения теплового баланса, составленного без учета удельного теплового потока излучения в окружающую среду:

$$\varepsilon_{дл} S_a + \varepsilon_{к} S_c + k\alpha_{вн} \frac{T_o - T_{оп}}{k + \alpha_{вн}} - \alpha_{нар} (T_{оп} - T_v) = 0,$$

откуда

$$T_{оп} = \frac{\frac{\alpha_{вн} T_o k}{k + \alpha_{вн}} + \varepsilon_{дл} S_a + \varepsilon_{к} S_c + \alpha_{нар} T_v}{\alpha_{нар} + \frac{\alpha_{вн} k}{k + \alpha_{вн}}}. \quad (13)$$

После преобразований из (11) с учетом (12) и (13) было получено выражение для определения температуры наружной поверхности пластины

$$T_{нар} = \frac{3\varepsilon_{дл} \sigma T_{оп}^4 + \frac{\alpha_{вн} T_o k}{k + \alpha_{вн}} + \varepsilon_{дл} S_a + \varepsilon_{к} S_c + \alpha_{нар} T_v}{4\varepsilon_{дл} \sigma T_{оп}^3 + \alpha_{нар} + \frac{\alpha_{вн} k}{k + \alpha_{вн}}}. \quad (14)$$

При моделировании тепловых портретов объектов НТ в качестве исходных данных должны быть заданы параметры окружающей среды. Они могут быть получены из моделей климата или из регистрируемых данных.

Заключение

Таким образом, получено аналитическое выражение (14) для расчета температуры наружной поверхности характерной площадки. Использование данного выражения в изложенной методике позволит определять значения температур для каждой из выбранных характерных площадок и производить расчёт температурных портретов объектов НТ при различных условиях наблюдения.

Литература

1. Васильев, А.В. Коротковолновое солнечное излучение в атмосфере Земли. Расчеты. Измерения. Интерпретация / А.В. Васильев, И.Н. Мельникова. – СПб.: НИИХХ СПбГУ, 2002. – 388 с.
2. Цветков, Ф.Ф. Тепломассообмен: учебник для вузов / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 562 с.
3. Кутателадзе, С.С. Справочник по теплопередаче / С.С. Кутателадзе, В.М. Боришанский. – М.: Гос. энергетич. изд-во, 1958. – 414 с.
4. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – 3-е изд. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.

Статья поступила в редакцию 20.11.14