

К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В СПЛОШНЫХ СРЕДАХ

© 2014 Т.Д. Каримбаев¹, Н.С. Рапилбекова²

¹Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г.Москва

²Таразский государственный педагогический институт, Республика Казахстан

Поступила в редакцию 11.11.2013

Использование слоистых композиционных материалов открывает широкие возможности управления тепловыми потоками. Характер распределения температур в отдельных слоях удается регулировать путём выбора теплофизических характеристик слоя и условий теплообмена на границе раздела слоёв. На основе анализа результатов решенных частных задач даны рекомендации общего характера.

Ключевые слова: температура, слоистые среды, теплопроводность, идеальный и неидеальный теплообмен, тепловые потоки, источники тепла.

ВВЕДЕНИЕ

Во многих отраслях техники управление направлениями тепловых потоков является задачей, обеспечивающей повышенные эксплуатационные и прочностные характеристики изделия. Таковыми являются, например, теплообменники, теплозащитные покрытия, системы охлаждения и т.д. Можно привести достаточно много примеров, в которых целенаправленно меняется интенсивность тепловых потоков в нужных направлениях. Одним из мощных средств решения такой задачи является применение слоистых конструкций, в которых отдельные слои выполняются из материалов с требуемыми теплофизическими характеристиками [1, 2]. Наряду с этим известно, что в практике создания слоистых конструкций зачастую технологически не удается обеспечить качественное соединение слоёв, что придаёт границе раздела слоёв специфические теплофизические характеристики. В таких случаях налицо естественное нарушение идеальных условий для тепловых потоков. Такие нарушения могут быть обнаружены специальными методами, например, методами томографии, термографии [3]. Особо важным решением проблемы управления тепловыми потоками в сплошных средах становится при разработке конструкций с памятью. В связи со сказанным представляется, что изучение влияния различных факторов на характер распространения тепла в слоистых средах представляется актуальным. Особое значение

эта проблема приобретает с развитием нанотехнологии [4].

Результаты настоящих исследований могут инициировать постановку и решение задач управления направлениями тепловых потоков при решении многих технических задач. В настоящей работе поставлены и решены задачи об идеальном и неидеальном теплообмене между слоями, которые могут внести определенный вклад в решение проблемы управления тепловыми потоками.

Впервые задача с неидеальным теплообменом в слоистых структурах рассмотрена в [5]. В работе было показано, что условие неидеального теплообмена приводит на границе раздела слоёв к разрыву (скачкам) не только тепловых потоков, но и значений температур в сплошной среде. Актуальность проблемы подтверждается тем, что в литературе появляются исследования в аналогичном направлении. Например, в [6] получено аналитическое решение нестационарной одномерной теплопроводности для двух полупространств при неидеальном тепловом контакте на поверхности их сопряжения. В настоящей работе задача рассматривается в более общей постановке - в постановке, позволяющей управлять направлениями тепловых потоков, в том числе, за счет обеспечения условий неидеального теплообмена.

При изучении теплообмена в телах слоистой структуры при переходе от k -ого к $(k+1)$ -ому слою обычно выполняются условия совершенного теплообмена, когда на границе раздела слоёв принимают условия равенства не только температур, но и тепловых потоков [7]

$$T^k = T^{k+1}, \quad \lambda^k \frac{\partial T^k}{\partial \nu} = -\lambda^{k+1} \frac{\partial T^{k+1}}{\partial \nu},$$

$$k = 1, 2, \dots, M. \quad (0.1)$$

Здесь λ^k – коэффициент теплопроводности в материале k -ого слоя, ν – направление нормали к поверхности раздела. При выполнении ус-

Каримбаев Тельман Джамалдинович, доктор технических наук, профессор, начальник отдела.

E-mail: karimbayev@ciam.ru; bahit@ciam.ru

Рапилбекова Нагима Сейсенбаевна, кандидат физико-математических наук, доцент.

E-mail: seisennag@list.ru; sherim@list.ru;

aynura8921@mail.ru; san-du.rapilbekova@mail.ru

ловий (0.1) температура изменяется непрерывно при переходе от слоя к слою, в то время как градиенты температур в слоях отличаются в отношении теплопроводности смежных слоёв.

$$(\partial T^k / \partial \nu) / (\partial T^{k+1} / \partial \nu) = - \lambda^{k+1} / \lambda^k \quad (0.2)$$

Если условия (0.1) нарушены, то, в отличие от условий совершенного теплообмена, на границе раздела слоёв должны быть приняты условия другого типа. В частности, одним из таких возможных условий может быть условие конвективного теплообмена между слоями, использованное в [5, 7]

$$\lambda^k \partial T^k / \partial \nu = - \alpha^k (T^k - T^{k+1}),$$

$$\lambda^{k+1} \partial T^{k+1} / \partial \nu = \alpha^{k+1} (T^{k+1} - T^k). \quad (0.3)$$

Здесь α^k характеризует теплообмен между $k+1$ -ым и k -ым слоем, а α^{k+1} - регулирует количество тепла, которое переходит от k -ого слоя в $k+1$ -ый.

Градиенты температур на границе раздела слоёв при не идеальном тепловом контакте слоёв согласно условиям (0.3) отличаются в отношении теплопроводности смежных слоёв.

$$(\partial T^k / \partial \nu) / (\partial T^{k+1} / \partial \nu) = (\lambda^{k+1} \alpha^k) / (\lambda^k \alpha^{k+1}). \quad (0.4)$$

Из сравнения соотношений (0.2) и (0.4) следует, что тепловые потоки будут одинаковыми только в случае равенства коэффициентов теплообмена ($\alpha^k = \alpha^{k+1}$). Таким образом, условия совершенного теплообмена (0.2) при переходе от слоя к слою вытекают из (0.3) только тогда, когда $\alpha^k = \alpha^{k+1}$.

В соответствии с условиями (0.3) температуры в точках контакта смежных слоёв отличаются на величины

$$T^k = T^{k+1} - (\lambda^k / \alpha^k) \partial T^k / \partial \nu,$$

$$T^{k+1} = T^k + (\lambda^{k+1} / \alpha^{k+1}) \partial T^{k+1} / \partial \nu. \quad (0.5)$$

Из равенства (0.5) следует, что непрерывность температур при переходе от слоя к слою обеспечивается только тогда, когда отношения (λ^k / α^k) и $(\lambda^{k+1} / \alpha^{k+1})$ одновременно весьма малы. Очевидно, такая ситуация возможна, если коэффициенты теплопроводности λ^{k+1} и λ^k и тепловые потоки $\partial T^k / \partial \nu$ и $\partial T^{k+1} / \partial \nu$ чрезвычайно низки. Наконец, такая ситуация может встретиться также при чрезвычайно больших значениях коэффициентов теплообмена, когда $\alpha^k \rightarrow \infty$ и $\alpha^{k+1} \rightarrow \infty$. При этом степень приближения α^k и α^{k+1} к бесконечности должна быть одинаковой.

Ниже приведены результаты решения нестационарной задачи теплопроводности в цилиндрических телах слоистой структуры, в которых показаны существенные различия в характере распределения тепла при идеальном (0.1) и при неидеальном (0.3) теплообмене на границе контакта двух смежных слоёв.

1. ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В СЛОИСТОЙ СРЕДЕ

Ниже приведена постановка и решение задач нестационарной теплопроводности в цилиндрических телах слоистой структуры. Уравнения теплопроводности в k -ом слое цилиндрического тела [7, 8]

$$\rho^k c_{\epsilon}^k \partial T^k / \partial t = \partial (\lambda^k \partial T^k / \partial r) / \partial r + (\lambda^k / r) \partial T^k / \partial r + Q^k(r;t). \quad (1.1)$$

Здесь t - время, r - радиальная координата, ρ^k - плотность, c_{ϵ}^k - удельная изобарическая теплоёмкость материала k -ого слоя, Q^k - внутренние источники тепла в нём.

Решения уравнений нестационарной теплопроводности (1.1) реализованы (см. [7]) в безразмерной системе координат (ξ, τ) относительно безразмерной температуры θ^k

$$\xi = (r - r^1) / R, \quad \tau = t / t^*,$$

$$\theta^k = (T^k(x,t) - T_0) / T^*. \quad (1.2)$$

Здесь R - наружный радиус цилиндра, r^1 - радиус внутренней поверхности первого слоя, t^* и T^* - характерные время и температура, T_0 - начальное значение температуры.

В рамках поставленных здесь задач достаточно рассмотреть уравнения теплопроводности (1.1) с постоянными коэффициентами

$$\theta_{,t}^k = \mu_1^k \theta^k, \quad \xi_{,\xi}^k + (\mu_1^k / \xi) \theta^k, \quad \xi + \omega^k, \quad (1.3)$$

в которых введены обозначения

$$\mu_1^k = Fo^k \lambda^k / \lambda^*, \quad Fo^k = \lambda^* t^* / (R)^2 \rho^k c_{\epsilon}^k,$$

$$\omega^k = Fo^k W^k t^* / T^* \rho^k c_{\epsilon}^k \quad (1.4)$$

Здесь λ^* - характерная теплопроводность, Fo^k - параметр Фурье материала k -ого слоя.

Уравнения теплопроводности (1.3) должны быть решены при начальных условиях

$$\theta^k(\xi, 0) = 0. \quad (1.5)$$

и граничных условиях, заданных как на наружных поверхностях цилиндра, так и при переходе от слоя к слою. Граничные условия на наружных поверхностях принимаются в виде конвективно-го теплообмена

$$\theta_{,x}^1 = - Bi_0^1 [\theta^1 - \varphi_0^1(\tau)], \quad x = 0 \quad (1.6.a)$$

$$\theta_{,x}^K = - Bi_L^K [\theta^K - \varphi_L^M(\tau)] \quad x = 1 \quad (1.6.b)$$

В проведённых ниже вычислениях принимается

$$\varphi_0^1(\tau) = \begin{cases} A \tau & \text{при } 0 \leq \tau \leq \tau_1 \\ A \tau_1 & \text{при } \tau_1 \leq \tau \leq \tau_2 \\ A(\tau_2 - \tau) & \text{при } \tau_2 \leq \tau \leq \tau_3 \\ 0 & \text{при } \tau_3 \leq \tau \end{cases} \quad (1.7.a)$$

$$\varphi_L^M(\tau) = 0 \quad (1.7.b)$$

В течение времени τ_1 тепловое воздействие окружающей среды возрастает и в момент време-

ни $\tau = \tau_1$ оно достигает максимальной величины А. В промежутке времени $\tau_1 \leq \tau \leq \tau_2$ тепловое воздействие является стационарным. Начиная с момента $\tau = \tau_2$, температура окружающей среды начинает снижаться. При $\tau = \tau_3$ она достигает начальной температуры окружающей среды и таким сохраняется до конца расчета.

Граничные условия (0.1) и (0.3) на контактных поверхностях записываются в различном виде при идеальном и неидеальном теплообмене. В случае идеального теплообмена для слоёв $2 \leq k \leq M$

$$\theta^{k-1, \xi} = (\mu_{11}^k / \mu_{11}^{k-1}) \theta^{k, \xi}; \quad \theta^{k-1} = \theta^k \text{ при } \xi = r^k / R. \quad (1.8)$$

При неидеальном теплообмене должны быть выполнены условия

$$\theta^{k, \xi} = -Bi_L^k (\theta^k - \theta^{k+1}), \quad \text{при } \xi = r^k / R \quad 1 \leq k \leq M-1 \quad (1.9.a)$$

$$\theta^{k+1, \xi} = Bi_0^{k+1} (\theta^{k+1} - \theta^k), \quad \text{при } \xi = r^k / R \quad 1 \leq k \leq M-1 \quad (1.9.b)$$

Параметры Био Bi_L^k и Bi_0^{k+1} определяются из равенств

$$Bi_L^k = \alpha^k t^* / \lambda^k, \quad Bi_0^{k+1} = \alpha^{k+1} t^* / \lambda^{k+1}. \quad (1.10)$$

Поставленная задача (1.3)–(1.10) для уравнений параболического типа решается численно разработанным методом прямой и обратной прогонки [7, 9].

2. РЕЗУЛЬТАТЫ РЕШЕНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для решения задачи следует задаться исходными данными в соответствии с разработанной расчетной программой. Исходные данные, при

которых были проведены начальные вычисления, приведены в табл. 1.

Вначале расчеты были проведены для однослойного цилиндра ($120 \leq r \leq 210$). На рис. 1.а. приведено распределение относительной температуры по радиусу r для однослойного цилиндра. Температура отнесена к максимальному его значению (см. At в табл. 1).

На втором этапе проведены исследования распределения температуры в трехслойном цилиндре при идеальном тепловом контакте (1.8) между слоями. Здесь сначала был проведен контрольный расчет, в котором предполагалось, что все слои цилиндра выполнены из одного материала с одинаковыми теплофизическими характеристиками. На рис. 1.б. приведены результаты специально выполненных вычислений. Сравнивая приведенные на рис. 1 а. и 1.б. результаты, можно видеть, что они идентичны, что и ожидалось при идеальном теплообмене между слоями из одного и того же материала. Проведенные сравнения свидетельствуют о достоверности полученных результатов и работности разработанного алгоритма для расчета теплового состояния многослойной неоднородной среды.

Далее рассматривались слои с различными теплофизическими характеристиками в условиях идеального теплообмена между слоями. Рассмотренные варианты теплофизических характеристик приведены в табл. 2. В таблицах приведены лишь изменяемые параметры. Остальные параметры, использованные в вычислениях, заимствуются из табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные

Параметры, размерность; обозначение	Слой, nlayer					
	1		2		3	
Система координат; pсоог	1, цилиндрическая					
Координаты начала $x_1(kx)$, конца $x_2(kx)$ слоя, мм;	120	150	150	180	180	210
Число отрезков в слое; $NXL(kx)$	20		20		20	
Общее время счета, сек; $t_i \max$	3600					
Этапы температурного воздействия, сек; t_1, t_2, t_3	900, 2250, 3150					
Число шагов по времени, nt	25000					
Характерная температура, К; T_{\max}	2000					
Начальная температура, К;	293					
Максимальная температура, К; At	483					
Коэффициенты теплопроводности, $вт/ммК$;	0.1385		0.1385		0.1385	
Удельная теплоёмкость, $Дж/кг К$; $cvC(kx, nGtem)$	406		406		406	
Удельный вес, $кг/мм^3$; $dens(kx)$	0.00000782		0.00000782		0.00000782	
Коэффициент теплообмена в начале слоя , $вт/мм^2К$; $BiX0(kx, nGtem)$	50.37		50.37		50.37	
Коэффициент теплообмена в конце слоя , $вт/мм^2К$; $BiXL(kx, nGtem)$	50.37		50.37		50.37	

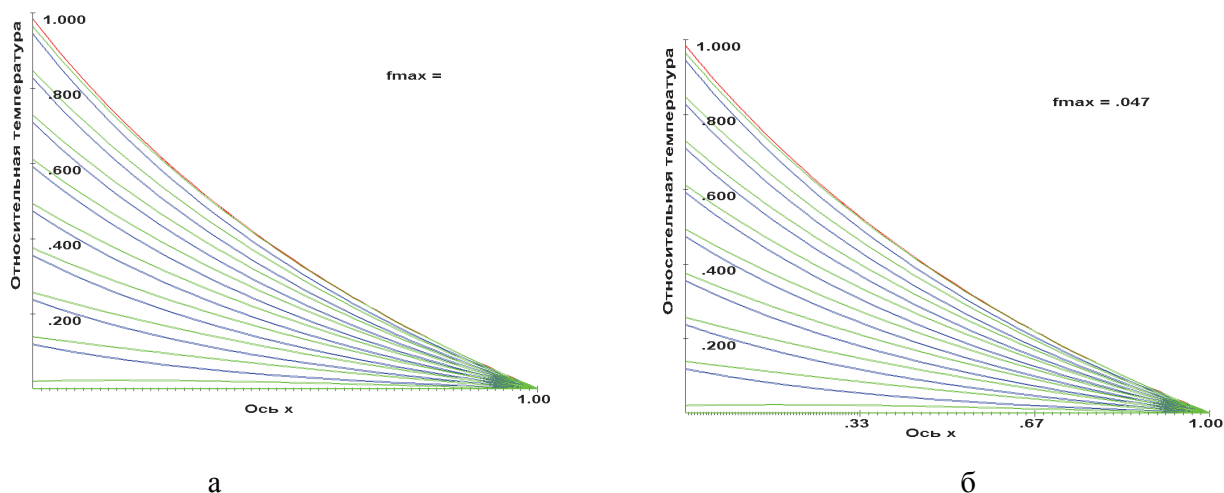


Рис. 1. Распределение температуры в цилиндрах (а – однослойный, б – трехслойный) в различные моменты времени на этапе:

- роста температуры (синие линии, через 750 шагов по времени),
- выдержки температуры (красные линии, через 1000 шагов по времени),
- снижения температуры (зеленые линии, через 750 шагов по времени)

Таблица 2. Варианты теплофизических характеристик

Вариант	Параметры, размерность.	Слой		
		1	2	3
1	Коэффициенты теплопроводности, Вт/ммК	1.3850	0.1385	0.1385
2	Коэффициенты теплопроводности, Вт/ммК	0.1385	1.3850	0.1385
3	Коэффициенты теплопроводности, Вт/ммК	13.850	1.3850	0.1385

Результаты расчетов первых трех вариантов (см. рис. 2) свидетельствуют о качественном изменении характера распределения температуры в зависимости от значений коэффициентов теплопроводности в отдельных слоях. В соответствии с условиями (1.8) можно видеть, что при переходе от слоя к слою градиент поля температур меняется пропорционально отношению коэффициентов теплопроводности. При этом температура меняется непрерывно. Кроме того, рост коэффициента теплопроводности приводит к повышению равномерности распределения температуры в слое. Следует заметить, что при реализации решения методом конечных разностей и при переходе от слоя к слою условие (1.8) содержит не только отношение коэффициентов теплопроводности соседних слоёв, но и отношение длины ячеек Δ^{k-1} / Δ^k . При оценке реальной величины изменения тепловых потоков необходимо учитывать это обстоятельство. В нашем случае $\Delta^{k-1} = \Delta^k$ и на рис. 2 изменения тепловых потоков при переходе от слоя к слою обусловлены только отношением коэффициентов теплопроводности ($\mu_{11}^k / \mu_{11}^{k-1}$) ($k = 2, 3$).

Приведенные результаты свидетельствуют о возможности управления уровнями температур соответствующим выбором материала с требуемыми значениями коэффициентов теплопроводности.

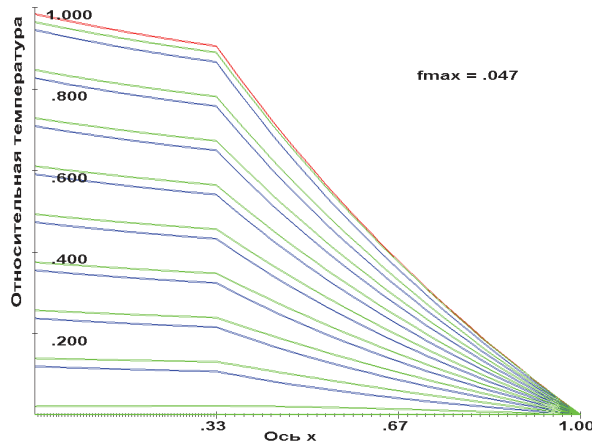
Были проведены вычисления температурных

полей при изменении теплоёмкости и удельного веса материалов. Влияние указанных параметров на распределение температуры в слоистом теле противоположно эффекту коэффициентов теплопроводности. При уменьшении величины произведения удельного веса и теплоёмкости тепло распространяется быстрее.

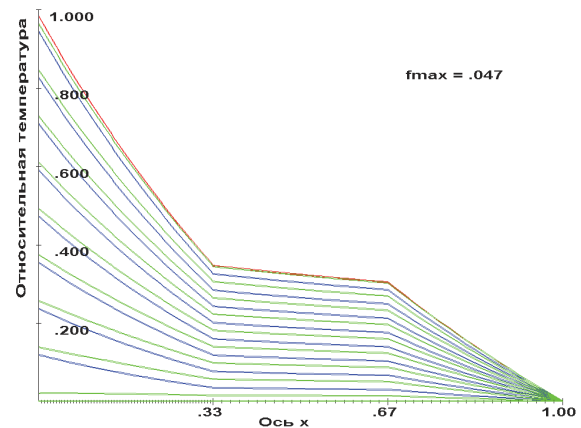
На третьем этапе расчетных исследований изучалось распределение температуры в трехслойном цилиндре при неидеальном тепловом контакте (1.9) между слоями. Если при идеальном контакте условия теплообмена зависят только от одного параметра – коэффициентов теплопроводности слоёв, то при неидеальном контакте два параметра – коэффициент теплопроводности и коэффициент теплообмена – определяют температурные условия на поверхностях контакта. Поэтому вначале исследовалось влияние коэффициентов теплообмена а на распределение температуры в трехслойном цилиндре. В этом случае теплофизические характеристики слоёв совпадали с начальными их значениями (см. табл. 1).

Из проведенных вычислений следует, что при одинаковом теплообмене между слоями $\alpha_0^k = \alpha_L^k = 50.37$ Вт/мм²К распределение температуры в слоях не отличается от распределения температуры при идеальном теплообмене (см. рис. 1), что также видно из сравнения соотношений (0.4) и (0.2).

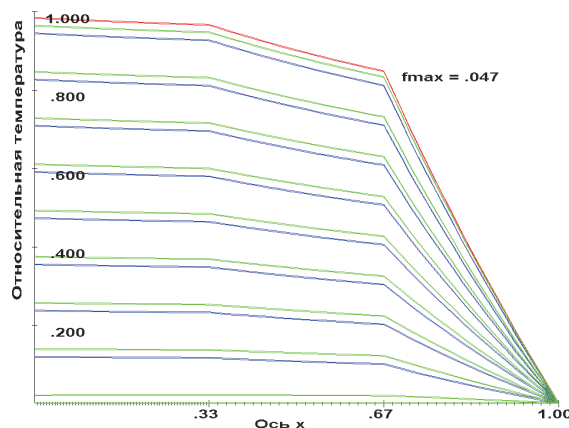
В проведенных исследованиях обнаружено,



вариант 1.



вариант 2



вариант 3.

Рис. 2. Распределение температуры в трехслойных цилиндрах в различные моменты времени на этапе:

- роста температуры (синие линии, через 750 шагов по времени),
- выдержки температуры (красные линии, через 1000 шагов по времени),
- снижения температуры (зеленые линии, через 750 шагов по времени)

Таблица 3. Комбинации коэффициентов теплообмена

Вариант	Параметры, размерность	Слой		
		1	2	3
4	Коэффициент теплообмена в начале слоя α_0 , Вт/мм ² К	50.37	50.37	0.05037
	Коэффициент теплообмена в конце слоя α_L , Вт/мм ² К	0.1504	0.05037	50.37
5	Коэффициент теплообмена в начале слоя α_0 , Вт/мм ² К	50.37	50.37	0.05037
	Коэффициент теплообмена в конце слоя α_L , Вт/мм ² К	0.05037	0.05037	50.37
6	Коэффициенты теплопроводности, Вт/ммК	0.001385	13.85	0.01385
	Коэффициент теплообмена в начале слоя α_0 , Вт/мм ² К	50.37	50.37	50.37
	Коэффициент теплообмена в конце слоя α_L , Вт/мм ² К	0.05037	0.5037	50.37

что с уменьшением параметра α^k_L температурное поле в k-ом слое выравнивается, теплообмен с последующим слоем уменьшается – он, как бы, запрещается. Это заключение согласуется с соотношением (0.3).

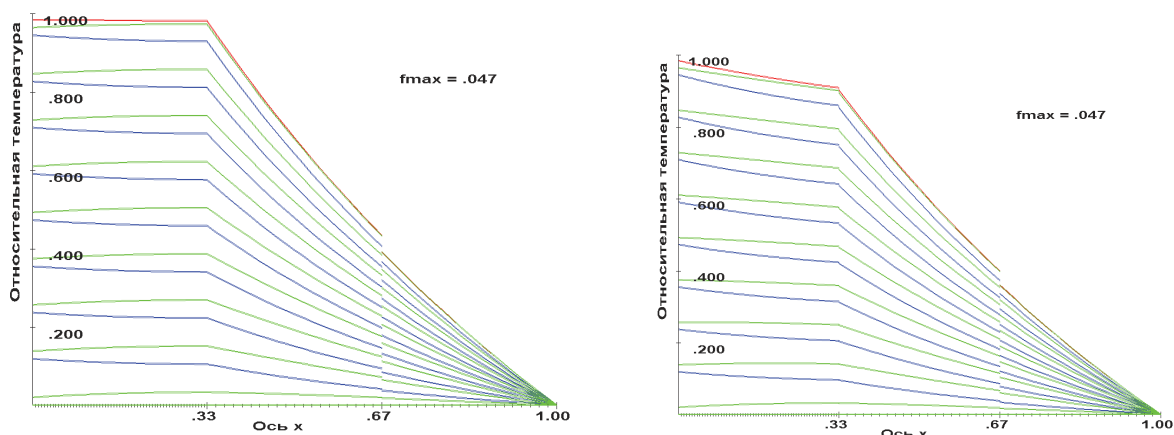
В таблице 3 приведены комбинации коэффициентов теплообмена, результаты расчетов при которых обсуждаются ниже.

На рис. 3 приведены результаты вычислений по варианту 4. В первом слое распределение температуры в любой момент времени достаточно равномерное. Оно, в частности, обусловлено низким значением коэффициента теплообмена в конце первого слоя $\alpha^1_L = 0.1504$ Вт/мм²К. На гра-

нице раздела 1-ого и 2-ого слоёв сильно меняется градиент температуры, несмотря на то, что теплофизические характеристики материала слоёв одинаковы. Этот заметный излом в распределении температуры обусловлен отличием коэффициентов теплообмена α^1_L и α^2_0 .

На границе раздела 2-ого и 3-его слоёв можно видеть скачок, разрыв в значениях температур. Гладкость распределения температуры по обе стороны от точки разрыва одинакова. Это обусловлено не только одинаковыми значениями характеристик теплопроводности слоёв, но и равенством коэффициентов теплообмена $\alpha^2_L = \alpha^3_0$.

В 5-ом варианте на границе раздела 1-ого и



вариант 4

вариант 5

Рис. 3. Распределение температуры в трехслойных цилиндрах в различные моменты времени на этапе

- роста температуры (синие линии, через 750 шагов по времени),
- выдержки температуры (красные линии, через 1000 шагов по времени),
- снижения температуры (зеленые линии, через 750 шагов по времени)

2-ого слоёв сильно меняется градиент температуры и заметен разрыв в значениях температуры (см. рис. 3).

Таким образом, расчетами подтверждена возможность разрыва в значениях температуры при переходе от слоя к слою при неидеальном тепло-

обмене. Полученные и обсужденные здесь результаты обусловлены эффектом коэффициентов теплообмена на границе раздела слоёв.

Многочисленные вычисления, проведенные при различных значениях коэффициентов теплопроводности, показали следующее:

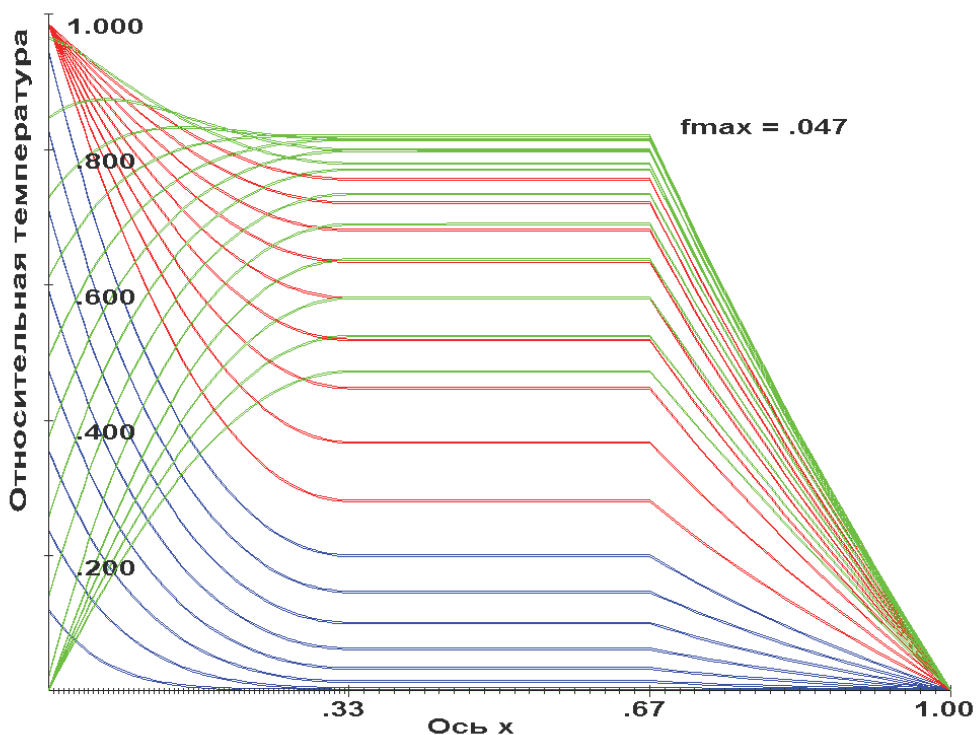


Рис. 4. Распределение температуры в трехслойном цилиндре (вариант 6) в различные моменты времени на этапе

- роста температуры (синие линии, через 750 шагов по времени),
- выдержки температуры (красные линии, через 1000 шагов по времени),
- снижения температуры (зеленые линии, через 750 шагов по времени)

- при малых значениях коэффициентов теплопроводности температура сильно уменьшается в слое,

- при больших значениях коэффициентов теплопроводности распределение температуры в слое становится более однородным и стационарный режим наступает быстрее,

- при переходе от слоя к слою сильно может меняться градиент температуры, разрыв в значениях температуры незначителен.

Приведенный на рис. 4 результат позволяет оценить совместное влияние, как коэффициента теплообмена, так и коэффициента теплопроводности на характер распределения температуры в слоях трехслойного цилиндра. Из-за малости коэффициента теплопроводности первого слоя наружная температура медленно внедряется в тело цилиндра. Из-за повышенного значения коэффициента теплопроводности второго слоя во втором слое быстро (мгновенно) достигается однородное (равномерное) поле температуры. Прогрев цилиндра интенсивно продолжается в моменты времени, когда на границе уровень температуры остается постоянным. Несмотря на то, что внутренняя поверхность цилиндра начинает охлаждаться из-за низкого значения коэффициента теплообмена температура продолжает перераспределяться во внутренних слоях (зеленые линии на рис. 4). Тем же обстоятельством объясняется тот факт, что цилиндр не успел охладиться в течение исследованного промежутка времени ($nt = 25000$) $t = 3600$ сек.

Проведенные исследования позволяют утверждать, что выбором материала в слоистых конструкциях можно в широких пределах управлять характером распределения температуры в многослойных конструкциях.

Проведенные исследования позволяют решать уравнения параболического типа для неоднородных сред с более сложным характером изменения параметров среды. Результаты исследований позволили глубже понять влияние отдельных параметров на характер распределения температуры в отдельных слоях многослойной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зинченко В.Ф.* Диагностика пористости стеклопластиков по их теплопроводности // Механика полимеров. 1971, №3. С.193-196.
2. *Юдин В.М.* Распространение тепла в стеклопластиках // Труды ЦАГИ, 1970. Вып. 1267. 28 стр.
3. Методы неразрушающего контроля изделий и деталей авиадвигателей из ПКМ / *Д.В. Афанасьев, Т.Д. Каримбаев, Д.В. Матюхин, Д.С. Пальчиков* // Тезисы докладов "XXXIII Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий", г. Миасс, 4-6 июня 2013 г., С. 10
4. *Пул Ч., Оуэнс Ф.* Мир материалов и технологий. Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2006. 334 с.
5. *Karimbaev T.D., Rapizbekova N.S., Salina N.V.* The Heat Propagation in a Laminated Medium with Ideal and Non-Ideal Heat Exchange between Layers- 2-nd International Conference Advanced Computational Methods in Heat Transfer: 7-9 July, 1992, Milan, Italy.
6. *Сазонов В.С.* Точное решение задачи нестационарной теплопроводности для двух полупространств при неидеальном контакте // Инженерно-физический журнал. 2006. Т. 79. №5, сент.-окт. С. 86-87.
7. *Рapiлбекова Н.С.* Термонапряженное состояние слоистых тел. Дисс. ... канд. физ.-мат наук. Алма-Ата, 1993. 290 стр.
8. *Юдаев Б.Н.* Теплопередача. М.: Высшая школа, 1973. 359 с.
9. *Каримбаев Т.Д., Рapiлбекова Н.С.* Метод прогонки в пространственных задачах нестационарной теплопроводности // Конструкции из композиционных материалов. Москва, 2009. Вып.4. С. 3-17.

TO PROBLEM SOLVING OF MANAGING BY THERMAL STREAMS IN SOLID STRUCTURES

© 2014 T.D. Karimbaev¹, N.C. Rapizbekova²

¹ Central Institute of Aviation Motors named after P.I. Baranov, Moscow

² Taraz State Pedagogical Institute, Republic Kazakhstan

The using of layer composite materials opens wide possibility of controlling by thermal streams. The temperature distribution character in separate layers succeeds to regulate by means of selection of layer thermal properties and/or heat exchange conditions on layer interface. On the basis of solved private problem results common recommendations are giving.

Keywords: temperature, layered environments, heat conductivity, perfect, imperfect heat exchange, a thermal stream, heat sources.

Telman Karimbaev, Doctor of Technics, Professor, Head at the Department. E-mail: karimbayev@ciam.ru; bahit@ciam.ru
Nagima Rapizbekova, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor.

E-mail: seisennag@list.ru; sherim@list.ru;
aynura8921@mail.ru; san-du.rapizbekova@mail.ru