чисті, без мазеподібних відкладень.

5. Фізико-хімічні показники мастила Галол М-4042 ТД залишалися в межах, що забезпечили проведення випробувань двигуна В-46-6 в обсязі гарантійного наробітку без заміни мастила.

6. Результати описаних стендових випробувань можуть бути поширені на весь спектр дизелів АНТ.

Список літератури: 1. Двигатели внутреннего сгорания: Номенклатурный справочник. Ч.1. – М.: ЦНИИТЗИтяжмаш, 1979. – 88 с. **2.** Двигатели внутреннего сгорания: Номенклатурный справочник. Ч.1. – М.: ЦНИИТЗИтяжмаш, 1996. – 81 с. **3**. *Костин А.К.* Способ оценки ресурса дизеля до первой переборки // Двигателестроение, 1981. – № 11. – С. 47-48. **4.** *Іващенко І.І., Приймаков О.Г., Шунайлов А.Г.* Розробка інтегральних показників діагностування технічного стану дизельних двигунів // Двигатели внутреннего сгорания. – Харків: НТУ «ХПІ». – № 1-2. – 2003. – С. 57-61. **5.** *Іващенко І.І., Приймаков О.Г.* Прогнозування залишкового ресурсу та надійності дизелів авіаційної наземної техніки // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – 2003. – № 4. – С. 11-17. **6.** *Приймаков О.Г., Іващенко І.І.* Математичне моделювання процесу вібродіагностики // Вестник науки и техники. – 2002. – № 4. – С. 11-17. **7.** *Іващенко І.І., Приймаков. О.Г.* Діагностування працездатності опор ковзання для авіаційної наземної техніки. // Вестник науки и техники. – 2003. – № 1. – С. 9-14. **8.** *Іващенко І.І.* Розробка методики визначення технічного стану дизельних двигунів комплексним вібраційним методом // Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2003». – № 3. – С. 34.37-34.40. **9.** ТУ ОС - 32 Р - 2 «Періодичні випробування». – Харків: вид. ХКБД, 1997. – 254 с.

Надійшла до редколегії 12.04.2006

УДК 621.165

В.Н.ПУСТОВАЛОВ, канд.техн.наук;
В.В.НАВРОЦКИЙ, канд.техн.наук; ***Т.И.МИХАЙЛЕНКО***, НТУ «ХПИ»

ПРИБЛИЖЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ЦИЛИНДРЕ КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ

Наведено наближене рішення нестаціонарної задачі теплопровідності для циліндра кінцевої довжини. Метод рішення пов'язаний з переходом в осесиметричному диференційному рішенні до нової змінної у вигляді середньоінтегрального значення температури. Порівняльні розрахунки точного та наближеного рішень свідчать про достатню ефективність і зручність методу для практичних розрахунків.

The approximate solution of non-steady thermal conductivity for the final dimension cylinder is resulted. The method of solution is related to transition in the axis - symmetryc differential solution to new variable as the overall integral value of temperature. Comparative computations of exact and approximate decisions testify to sufficient efficiency and convenience of method for practical computations.

Температурное поле цилиндра конечных размеров может быть определено как произведение относительных температур неограниченной пластины толщиной 2l (l – полутолщина) и неограниченного цилиндра радиуса R при одинаковой начальной температуре t_0, одинаковом коэффициенте теплоотдачи на поверхностях α, и одинаковой температуре окружающей среды t_f.

Для осесимметричной задачи

$$\frac{1}{\alpha}\frac{\partial t}{\partial \tau}=\frac{\partial^2 t}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}+\frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \tag{1}$$

решение отыскиваем в виде

$$\frac{t(x,r,\tau)}{t_0-t_f}=\frac{t(x,\tau)-t_f}{t_0-t_f}\cdot\frac{t(r,\tau)}{t_0-t_f}, \tag{2}$$

где x – координата по толщине пластины, r – текущий радиус цилиндра, t_f – температура среды, в дальнейшем принимаем равной нулю [1].

Для неограниченной пластины и неограниченного цилиндра решения, если ограничиться первыми членами рядов, имеют вид

$$\frac{t_x-t_f}{t_0-t_f}=\frac{4\sin\mu_1}{2\mu_1+\sin 2\mu_1}\cdot\cos\left(\frac{\mu_1}{l}x\right)e^{-a\left(\frac{\mu_1}{l}\right)^2\tau};\quad \mathrm{ctg}\mu_1=\frac{\mu_1}{Bi_1};\ Bi_1=\frac{\alpha l}{\lambda}; \tag{3}$$

$$\frac{t_r-t_f}{t_0-t_f}=\frac{2J_1(\mu_2)}{\mu_2[J_0^2(\mu_2)-J_1^2(\mu_2)]}\cdot J_0\left(\frac{\mu_r}{R}r\right)e^{-a\left(\frac{\mu_2}{R}\right)^2\tau};\ \frac{J_1(\mu_2)}{J_0(\mu_2)}=\frac{\mu_2}{Bi_2};\ Bi_2=\frac{\alpha R}{\lambda}, \tag{4}$$

где μ_1 и μ_2 – первые корни трансцендентных уравнений $\mathrm{ctg}\mu_1=\frac{\mu_1}{Bi_1}$, $\frac{J_1(\mu_2)}{J_0(\mu_2)}=\frac{\mu_2}{Bi_2}$, $J_1(\mu_2)$, $J_0=(\mu_2)$ – бесселевы функции первого и нулевого порядка.

Задача существенно упрощается, если рассмотреть нестационарные среднеинтегральные по поперечным сечениям цилиндра температуры

$$\theta=\frac{2}{R^2}\int_0^R trdr. \tag{5}$$

Чтобы получить дифференциальное уравнение для новой переменной уравнение (1) перепишем в виде

$$\frac{1}{a}\frac{\partial rt}{\partial \tau}=\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial t}{\partial r}\right)+\frac{\partial(rt)}{\partial z^2} \tag{6}$$

и проинтегрируем в пределах от 0 до R, предварительно умножив на 2/R. Почленное интегрирование дает:

$$\frac{2}{aR^2}\int_0^R\frac{\partial(rt)}{\partial\tau}dr=\frac{1}{a}\frac{\partial\theta}{\partial\tau}, \tag{7}$$

$$\frac{2}{R^2}\int_0^R r\frac{\partial t}{\partial r}dr=\frac{2}{R}\left.\frac{\partial t}{\partial r}\right|_{r=R}, \tag{8}$$

$$\frac{2}{R^2}\int_0^R\frac{\partial^2(rt)}{\partial z^2}dr=\frac{\partial^2\theta}{\partial z^2}. \tag{9}$$

Производную в правой части равенства (8) исключим, подставив граничные условия $3^{-го}$ рода

$$\left.\frac{\partial t}{\partial r}\right|_{r=R} = -\frac{\alpha}{\lambda}(t_R - t_f). \tag{10}$$

Если допустить, что температура боковой поверхности цилиндра $t(R,z,\tau)$ равна среднеинтегральной температуре $\theta(z,\tau)$ [2], то

$$\left.\frac{\partial t}{\partial r}\right|_{r=R} = -\frac{\alpha}{\lambda}(\theta - t_f), \tag{11}$$

и уравнение (6) принимает вид

$$\frac{1}{a}\frac{\partial\theta}{\partial\tau} = \frac{\partial^2\theta}{\partial z^2} - \frac{2\alpha}{\lambda R}(\theta - t_f)\ . \tag{12}$$

Решение уравнения (12) при граничных условиях (симметричных относительно оси z)

$$\tau = 0\ \ \theta(0) = \theta_0, \qquad z = 0\ \ \frac{\partial\theta}{\partial z} = 0, \qquad z = 1\ \ \alpha\theta = -\lambda\frac{\partial\theta}{\partial z} \tag{13}$$

находим методом разделения переменных

$$T_z = \frac{\theta - t_f}{\theta_0 - t_f} = \frac{4\sin\mu_1}{2\mu_1 + \sin 2\mu_1}\cdot\cos\left(\frac{\mu_1}{1}z\right)\exp\left[-a\left(m^2 + \left(\frac{\mu_1}{1}\right)^2\right)\right]\tau, \tag{14}$$

где $m^2 = \dfrac{2\alpha}{\lambda R}$, $\operatorname{ctg}\mu_1 = \dfrac{\mu_1}{Bi}$, $Bi = \dfrac{\alpha l}{\lambda}$.

Искомое решение

$$\theta = T_z(\theta_0 - t_f) + t_f\,. \tag{15}$$

Сравнение приближенных и точных решений проведено для двух вариантов исходных данных, приведенных в табл. 1.

Результаты расчетов представлены в табл. 2. Приняты следующие условные обозначения: T – параметр (14), используемый в уравнении (15), θ – искомое решение (15), t – точное решение (2), (3), (4), Δt – расхождение результатов, z – текущая координата.

Таблица 1 – Исходные данные для сравнительных расчетов

№ варианта	d	l	2·l	l/d	t_o	t_f	λ	$a\cdot10^5$	α	τ
	мм	мм	мм	-	°C	°C	Вт/(м·К)	$м^2/с$	Вт/($м^2$·К)	мин
1	150	150	300	1,0	900	250	38	1,25	152	15
2	75	150	300	2,0	900	250	75	1,25	20	15

Сравнение точных и приближенных значений температуры свидетельствуют о приемлемой для инженерных расчетов точности приближенных решений. Примером инженерного использования предлагаемого метода расчета может служить определение температурного удлинения цельнокованого ротора турбины с заменой дисков приведенными значениями коэффициентов теплоотдачи (см. [2], стр. 287).

Таблица 2 – Результаты сравнительных расчетов

z, мм	Вариант 1				Вариант 2			
	T	Θ, °C	t, °C	Δt, %	T	θ, °C	t, °C	Δt, %
0	0,254	415	417	0,48	0,844	799	798	0,13
75	0,238	405	406	0,26	0,840	796	795	0,13
150	0,193	375	377	0,53	0,823	785	787	0,25

Список литературы: 1. *Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.*, Теплопередача. – М.: Энергия, 1965. – 424 с. **2.** *Шнеэ Я.И., Капинос В.М., Котляр И.В.* Газовые турбины. Том 1. – Киев: Вища школа, 1974. – 295 с.

Поступила в редколлегию 11.07.2005

УДК 539.3

Э.А.СИМСОН, докт.техн.наук; ***С.А.НАЗАРЕНКО***, канд.техн.наук; ***А.В.БЕЛОЗЕРОВ***; НТУ «ХПИ»

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ С ПОВОРОТНОЙ СИММЕТРИЕЙ ПРИ НЕРЕГУЛЯРНОЙ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ

У статті пропонуються методи аналізу чутливості та оптимізації скінченоелементних моделей циклічносиметричних систем з високим ступенем геометричної і фізичної інформативності; орієнтовані на високі розмірності векторів перемінних стану і проектування. Розглянуто області застосування розробленого математичного апарата.

Complicated finite-element models of cyclic symmetry structure with high geometric and physical self-descriptiveness sensitivity analysis and optimization methods are given in this article. The methods have guiding to orientate on high dimensions of state and design variables. Computation stages of constructions gradients functional derivation are investigated. The developed mathematical apparatus application domains are examined.

Задача расчета регулярных конструкций, и как частный случай систем с циклической (поворотной) симметрией (ЦСК), неоднократно привлекала внимание исследователей [1-4]. Это обусловлено с одной стороны широким распространением таких конструкций в машиностроении и механике, с другой - спецификой расчетов статических и динамических характеристик симметричных систем, которая позволяет перейти от общих методов анализа конструкций к специальным, значительно меньшей размерности, что требует развития оригинальных теорий и численных методов. Задача достаточно хо-