

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2, Number 312 (2017), 155 – 162

UDC 593

Zh. Tashenova¹, M. Mussaif², M. Kaldarova²¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan²Kazakh agrarian-technical University named S.Seifullin, Astana, Kazakhstan**ENERGY METHOD IN DECISION PROBLEMS
THERMOELASTICITY**

Abstract. This article considers the problems of numerical study of the thermomechanical state of the rods. Bearing components of jet propelled and hydrogen engines, atomic and heat power plants, technological lines of processing industries, as well as internal combustion engines work in complicated thermal area. Reliable operation of these structures will depend on thermo-stress condition of bearing components. Therefore this research is dedicated to numerical study of thermo-stress condition of bearing components of structures in the form of limited length rods constrained from both ends. Herewith the rod is under influence of local temperature and heat exchange. Apart from this the rod under study is made of heatproof material ANV-300. Particularity of this material is that temperature expansion coefficient of the rod material depends on the temperature. The offered computational algorithm is based on the energy conservation principle. Herewith all types of integrals in energy functional formulas are integrated analytically. Whereupon the acquired numerical solutions will be of high accuracy.

Keywords: the temperature, the rod, the thermal energy, the algorithm.

УДК 593

Ж.М. Ташенова¹, М. Мусайф², М. Калдарова²¹Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева;²Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ТЕРМОУПРУГОСТИ**

Аннотация. На основе фундаментальных законов сохранения энергии в сочетании локальных квадратичных сплайн функции разрабатывается универсальный вычислительный алгоритм, метод и соответствующее программное обеспечение, позволяющее исследовать теплофизическое состояние теплоизолированного стержня, ограниченной длины, при воздействии локального теплового потока, теплообмена и температур. В работе разработанный вычислительный алгоритм и метод позволяет получить решения всех возникающих задач для стержней ограниченной длины, которые находятся под одновременным действием разнородных видов источников тепла. Точность полученных результатов обусловлена применением фундаментальных законов сохранения энергии. Универсальность разработанного вычислительного алгоритма и метода заключается в использовании его при решении класса теплофизических задач для стержней ограниченной длины. При этом все существующие естественные граничные условия учитываются на уровне закона сохранения энергии. Также следует отметить, что разработанная методика позволяет решать множество инженерных и прикладных задач для несущих элементов конструкций, которые работают в сложном тепловом поле.

Ключевые слова: тепловой поток, теплообмен, теплопроводности, теплообмена, теплоизоляция.

Несущие элементы современных газогенераторных энергетических установок, атомных и тепловых электростанций, водородных и реактивных двигателей, двигателей внутреннего сгорания, установок глубокой переработки минеральных сырья и нефтей работают в сложном силовом и тепловом поле. Надежной работы вышеприведенных установок будет зависеть от термопроч-

ностных характеристик их несущих элементов. В качестве несущих элементов рассматривались стержни ограниченной длины и постоянного поперечного сечения [1][2]. В этих задачах на основе фундаментальных законов теплофизики [3] определены поле распределения температуры по длине стержня ограниченной длины с учетом действующих видов источников тепла. Другие аналогичные задачи рассмотрены в работах [4-6]. В этих работах ограничивались определением закона распределения температуры по длине исследуемого стержня в зависимости от видов заданных источников. В отличие от их в данной работе в качестве несущего элемента конструкций рассматривается горизонтальный стержень ограниченной длины и постоянного поперечного сечения. При этом боковая поверхность исследуемого стержня полностью теплоизолированная. На площадь поперечного сечения левого конца подводится тепловой поток постоянной интенсивности. Через площади поперечного сечения правого конца происходит теплообмен с окружающей этой площади средой. В этой задаче с помощью фундаментальных законов сохранения энергии [7] определяются:

- 1) закон распределения температуры по длине рассматриваемого стержня;
- 2) величина ее термического удлинения;
- 3) величина возникающего осевого сжимающего усилия;
- 4) закон распределения упругих, температурных и термоупругих составляющих деформаций и напряжений;
- 5) поле перемещений.

Экспериментальная часть

Вывод разрешающих уравнений. Рассматривается горизонтальный стержень, ограниченной длины L [см]. Площадь поперечного сечения которого F [см²] постоянная по ее длине. Профиль поперечного сечения стержня может быть кругом, четырехугольником, треугольником, многоугольным и т.д. Теплофизические свойства материала стержня характеризуются коэффициентом теплового расширения материала стержня α [$\frac{1}{^\circ\text{C}}$], теплопроводностью kx [$\frac{\text{Вт}}{\text{см}^\circ\text{C}}$], а также модулем упругости E [$\frac{\text{кГ}}{\text{см}^2}$].

На площадь поперечного сечения левого конца, рассматриваемого стержня, подведен тепловой поток q [$\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$]. Через площадь поперечного сечения правого конца происходит конвективный теплообмен с окружающей ее средой. При этом коэффициент теплообмена h [$\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2\text{C}}$], а температура окружающей среды T_{oc} [°C]. Требуется с начала определить закон распределения температуры по длине исследуемого стержня в зависимости от вида действующих источников тепла, геометрических и теплофизических характеристик стержня. Для этого сначала построим локальную аппроксимационную квадратичную сплайн функцию.

Расчетная схема рассматриваемой задачи приводится на рисунке 1.

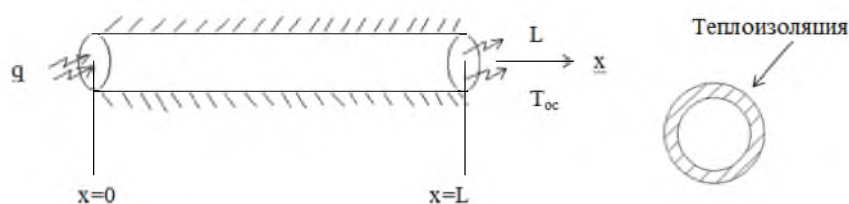


Рисунок 1- Расчетная схема задачи

Предположим, что

$$T(x = 0) = T_i; T\left(x = \frac{L}{2}\right) = T_j; T(x = L) = T_k \quad (1)$$

Закон распределения температуры по длине исследуемого стержня аппроксимируем полным полиномом второго порядка сплайн функции [8]

$$T(x) = ax^2 + bx + c = \varphi_i(x) * T_i + \varphi_j(x) * T_j + \varphi_k(x) * T_k; 0 \leq x \leq L \quad (2)$$

Где

$$\varphi_i(x) = \frac{2x^2 - 3Lx + L^2}{L^2}; \varphi_j(x) = \frac{4Lx - 4x^2}{L^2}; \varphi_k(x) = \frac{2x^2 - Lx}{L^2}; 0 \leq x \leq L \quad (3)$$

Теперь для исследуемой задачи напишем функционал, которая характеризует закон сохранения энергии [7].

$$J = \int_V + \int_V \frac{k_{xx}}{2} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int_{S(x=L)} \frac{h}{2} (T - T_{OC})^2 dS, \quad (4)$$

Здесь следует отметить, что размерность каждого члена является [Вт°С]. Это и есть работа, выполненной температурой, по аналогии [кг см]. Из-за физической сущности явления имеем:

$$J_1 = \int_{S(x=0)} q * T dS = FqT_i \quad (5)$$

$$J_3 = \int_{S(x=L)} \frac{h}{2} (T - T_{OC})^2 dS = \frac{Fh}{2} (T_k - T_{OC})^2 \quad (6)$$

Для вычисления интеграла по объему в выражении (4), необходимо определить градиент температуры

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial \varphi_i}{\partial x} T_i + \frac{\partial \varphi_j}{\partial x} T_j + \frac{\partial \varphi_k}{\partial x} T_k = \frac{4x-3L}{L^2} T_i + \frac{4L-8x}{L^2} T_j + \frac{4x-L}{L^2} T_k, 0 \leq x \leq L \quad (7)$$

Далее подставляя (7) в выражении J, а также пользуясь известной формулой

$$\int_V f(x) dV = F \int_0^L f(x) dx$$

имеем

$$J_2 = \int_V \frac{k_x}{2} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV = \frac{Fk_x}{\partial x} (7 T_i^2 - 16 T_i T_j + 2 T_i T_k - 16 T_j T_k + 16 T_j^2 + 7 T_k^2) \quad (8)$$

Тогда интегрированный вид функционала полной тепловой энергии имеет следующий вид:

$$J = J_1 + J_2 + J_3 = FqT_i + \frac{Fk_x}{\partial x} (7 T_i^2 - 16 T_i T_j + 2 T_i T_k - 16 T_j T_k + 16 T_j^2 + 7 T_k^2) + \frac{Fh}{2} (T_k - T_{OC})^2 \quad (9)$$

Здесь следует отметить, что для определения значений T_i, T_j и T_k , можно получить соответствующую систему линейных алгебраических уравнений, где учитывается все существующие естественные граничные условия, варьируя J по T_i, T_j и T_k .

$$\left. \begin{aligned} 1) \frac{\partial J}{\partial T_i} = 0; & \rightarrow Fq + \frac{Fk_x}{6L} (14T_i - 16T_j + 2T_k) = 0 \\ 2) \frac{\partial J}{\partial T_j} = 0; & \rightarrow \frac{Fk_x}{6L} (-16T_i + 32T_j - 16T_k) = 0 \\ 3) \frac{\partial J}{\partial T_k} = 0; & \rightarrow \frac{Fk_x}{6L} (2T_i - 16T_j + 14T_k) + FhT_k - FhT_{OC} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

После упрощения имеем

$$\left. \begin{aligned} 7T_i - 8T_j + T_k &= -\frac{3Lq}{k_x} \\ T_i - 2T_j + T_k &= 0 \\ 7T_i - 8T_j + 7T_k + \frac{3Lh}{k_x} T_k &= \frac{3LhT_{OC}}{k_x} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Решая эту систему определим, что

$$T_i = T_{Oc} - \frac{q}{h} - \frac{Lq}{k_x}, T_j = T_{Oc} - \frac{q}{h} - \frac{Lq}{2k_x}, T_k = T_{Oc} - \frac{q}{h} \quad (12)$$

Далее подставляя (12) в(2-3) и после упрощения определим закон распределения температуры по длине исследуемого стержня с учетом одновременного наличия теплоизоляции, теплового потока и теплообмена. Она будет иметь следующий вид:

$$T = T(x, T_{Oc}, q, h, L, k_x) = \left(T_{Oc} - \frac{q}{h} - \frac{qL}{k_x} \right) + \frac{q}{k_x} x; 0 \leq x \leq L \quad (13)$$

Отсюда видно, что в нашем случае закон распределения температуры по длине исследуемого стержня будет линейной.

Результаты исследования. Определение теплофизического состояния стержня. Теперь приступим к решению следующей задачи. Из-за наличия поле температур, исследуемый стержень будет удлиняться. Требуется определить величину удлинения в зависимости от одновременного наличия разнородных источников тепла. Для этого, предположим, что левый конец стержня жестко заземлена, а правый - свободный. Из общих законов термодинамики [7] известно, что величина удлинения стержня от поле температур определяется следующим образом:

$$\Delta l_T = \int_0^L \alpha T(x) dx \quad (14)$$

Если принять, что $\alpha = \text{const}$, имеем

$$\Delta l_T = \int_0^L \alpha T(x) dx = \alpha L \left(T_{Oc} - \frac{q}{h} - \frac{qL}{2k_x} \right) \quad (15)$$

Далее будем решать третью возникающую задачу. Если оба конца исследуемого стержня будет жестко-защемлена, то она не может ни удлиняться и ни укорачиваться. В этом случае возникает осевое сжимающее усилие R [кг]. Его определим как решение статически неопределимой задачи при этом применяем условия совместности деформации:

$$\frac{RL}{EF} + \Delta l_T = 0 \rightarrow R = -\frac{\Delta l_T EF}{L} = -\alpha EF \left(T_{Oc} - \frac{q}{h} - \frac{qL}{2k_x} \right) \quad (16)$$

После этого легко определяется решение четвертой задачи, определение возникающего поле термо-упругого напряжения σ $\left[\frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \right]$. Она определяется в соответствии обобщенного закона Гука:[9]

$$\sigma = \frac{R}{F} = -\alpha E \left(T_{Oc} - \frac{q}{h} - \frac{qL}{2k_x} \right) \quad (17)$$

Отсюда видно, что поле распределения термо-упругой составляющей напряжение σ будет прямой линией, которая параллельно к оси стержня и оси ОХ.

Еще раз применяя обобщенный закон Гука находится решение возникающей пятой задачи определения поле термо-упругой сосоставляющей деформации

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = -\alpha \left(T_{Oc} - \frac{q}{h} - \frac{qL}{2k_x} \right) \quad (18)$$

Из решения видно, что она имеет прямолинейный характер, которая параллельна к оси ОХ.

Если учесть, что $q < 0$, то из(16-18) видны, что R , σ и ε будет иметь только сжимающий характер.

Далее пользуясь фундаментальными законами термодинамики можно решать возникающую шестую задачу определения поле температурной составляющей деформации

$$\varepsilon_T(x) = -\alpha T(x) = -\alpha \left[\left(T_{0c} - \frac{q}{h} - \frac{qL}{k_x} \right) + \frac{q}{k_x} x \right], 0 \leq x \leq L \quad (19)$$

Отсюда видно, что ε_T - будет иметь сжимающий характер, и поле распределения будет линейной.

Возникающую седьмую задачу можно определить пользуясь обобщенным законом Гука. Тогда поле распределения температурной составляющей напряжения имеет следующий вид:

$$\sigma_T(x) = E\varepsilon_T(x) = -\alpha E \left[\left(T_{0c} - \frac{q}{h} - \frac{qL}{k_x} \right) + \frac{q}{k_x} x \right], 0 \leq x \leq L \quad (20)$$

Из решения видно, что она имеет линейный вид и сжимающий характер.

Возникающую восьмую задачу об определении поле упругих составляющих деформаций определим из фундаментального закона

$$\varepsilon_x(x) = \varepsilon - \varepsilon_T(x) = \frac{\alpha}{k_x} \left(-\frac{qL}{2} + qx \right) = \frac{q\alpha}{k_x} \left(-\frac{L}{2} + x \right), \quad (21)$$

Отсюда видно, что $\varepsilon_x(x)$ имеет линейный характер. На участке $0 \leq x \leq \frac{L}{2}$, она имеет растягивающий характер. В сечении $x = \frac{L}{2}$, $\varepsilon_x\left(\frac{L}{2}\right) = 0$. Далее она имеет сжимающий характер.

Решение возникающей девятой задачи определяется из соответствующего закона Гука

$$\sigma_x(x) = E\varepsilon_x(x) = \frac{q\alpha E}{k_x} \left(-\frac{L}{2} + x \right) \quad (22)$$

Она имеет характер, как и $\varepsilon_x(x)$.

Теперь, наконец, решим десятую возникающую задачу об определении поля перемещения $U(x)$. Она определяется из соотношения Коши

$$\varepsilon_x = \frac{\partial U}{\partial x} \Rightarrow U(x) = \int \varepsilon_x(x) dx = \frac{q\alpha}{k_x} \left(-\frac{L}{2} x + \frac{x^2}{2} \right) + C, \text{ где } C = \text{const.}$$

Значение C определим из условия защемленности двух концов, то есть $U(x=0)=U(x=L)=0$. Тогда имеем, что $C=0$. Тогда поле перемещение имеет следующий вид:

$$U(x) = \frac{q\alpha x}{k_x} \left(\frac{x}{2} - \frac{L}{2} \right), 0 \leq x \leq L \quad (23)$$

Отсюда видно, что $U(x)$ имеет квадратичный вид. При этом сечение находящихся на участке $0 < x \leq L$ перемещается в направлении ОХ.

Естественно, защемленные концы неперемещаются, т.е. $U(x=0)=U(x=L)=0$.

Результаты и их обсуждения

В целях иллюстрации разработанного вычислительного алгоритма и метода, за исходных данных примем следующее

$$q = -500 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}, h = 5 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot \text{°C}}, T_{0c} = 20 \text{°C}, L = 20 \text{см}, k_x = 75 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot \text{°C}}, \alpha = 0,0000125 \frac{1}{\text{°C}}, E = 2 \cdot 10^6 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}, r = 1 \text{см}, F = \pi r^2 = \pi \text{см}^2$$

При этих исходных данных определим следующее:

1. Закон распределения установившегося поля распределения температуры по длине исследуемого стержня. Она определяется по формуле (13):

$$T(x) = \frac{760}{3} - \frac{20}{3} * x = \frac{20}{3} (38 - x); 0 \leq x \leq 20 \text{см};$$

2. Если левый конец стержня жестко-зашемлен, а правый – свободен, то из-за наличия поля температуры исследуемый стержень удлиняется. Величины увеличения определяется по формуле (15):

$$\Delta l_T = 0,0000125 * 20 \left(20 + \frac{500}{5} + \frac{500*20}{15} \right) = 0,04666 \dots \text{см};$$

3. Если оба конца исследуемого стержня жестко-зашемлены, то из-за наличия поля температуры возникает осевое сжимающее усилия R . Его величина определяется по формуле (16):

$$R = -0,0000125 * 2 + 10^6 * \pi \left(20 + \frac{500}{5} + \frac{500*20}{150} \right) = -14653,333 \dots \text{кГ};$$

4. При наличии осевого сжимающегося усилия в сечениях стержня возникает сжимающее термо-упругое напряжение. Его величина определяется по формуле (17):

$$\sigma = -0,0000125 * 2 * 10^6 \left(20 + \frac{500}{5} + \frac{500*20}{150} \right) = -4666,666 \dots \frac{\text{кГ}}{\text{см}^2};$$

5. При наличии термо-упругой составляющей напряжения возникает соответствующая термо-упругая деформация. Его величина определяется по формуле (18):

$$\varepsilon = -0,0000125 \left(20 + \frac{500}{5} + \frac{500*20}{150} \right) = -0,00233 \dots;$$

6. Из-за наличия по длине стержня поля температуры возникает соответствующее поле температурной составляющей деформации. Она определяется по формуле (19):

$$\varepsilon_T(x) = -0,0000125 \left[\left(20 + \frac{500}{5} + \frac{500*20}{75} \right) - \frac{500}{75} * x \right] = -0,000083(38 - x); 0 \leq x \leq 20 \text{см};$$

Отсюда видно, что природа $\varepsilon_T(x)$ по всей длине исследуемого стержня будет сжимающей;

7. Из-за наличия $\varepsilon_T(x)$ в сечениях стержня возникает соответствующая температурная составляющая напряжения. Закон распределения этого напряжения определяется по формуле (20):

$$\sigma_T(x) = E\varepsilon_T(x) = -0,000166(38 - x), 0 \leq x \leq 20 \text{см};$$

Отсюда видно, что по всей длине исследуемого стержня природа $\sigma_T(x)$ будет сжимающей;

8. Из-за наличия температурных и термо-упругих составляющих деформаций в стержне также возникает упругое составляющее деформации. Закон распределения упругой составляющей деформаций определяется по формуле (21):

$$\varepsilon_x(x) = \varepsilon - \varepsilon_T(x) = \frac{-500*0,0000125}{75} \left(-\frac{20}{2} + x \right) = -0,000083(-10 + x); 0 \leq x \leq 20 \text{см};$$

Отсюда видно, что на участке $0 \leq x \leq 10 \text{см}$ стержня природа $\varepsilon_x(x)$ будет растягивающей, а далее сжимающей;

9. При наличии поля упругих составляющих деформаций в сечениях стержня также возникает упругое составляющее напряжения $\sigma_x(x)$. Это поле определяется по формуле (22):

$$\sigma_x(x) = \frac{-0,0000125 * 2 * 10^6 * 500}{75} \left(-\frac{20}{2} + x \right) = -166(-10 + x), 0 \leq x \leq 20 \text{см};$$

Отсюда видно, что природа $\sigma_x(x)$ на участке $0 \leq x \leq 20 \text{см}$ стержня будет растягивающей, а далее будет сжимающей;

10. Из-за наличия разнородных видов источников тепла, сечение стержня перемещаются. В случае, когда оба конца стержня жестко-зашемлены, то возникающее поле перемещения определяется по формуле (23):

$$U(x) = \frac{-500 * 0,0000125}{75} * x \left(\frac{x}{2} - \frac{20}{2} \right) = -0,000083x \left(\frac{x}{2} - 10 \right), \\ 0 \leq x \leq 20 \text{см};$$

Отсюда видно, что сечения в зашеченных концах не перемещаются. Остальные все сечения перемещаются слева направо. Это обусловлено большим тепловым потоком, который подведен на площадь поперечного сечения левого конца стержня.

Выводы. На основе фундаментальных законов сохранения энергии разработан вычислительный алгоритм и метод исследования установившегося термо-физического состояния теплоизолированного стержня ограниченной длины при одновременной наличии теплового потока и теплообмена. Выявлено, что законы распределения температуры, упругих и температурных составляющих будут линейными. В то время значения терм упругой составляющей деформации и напряжения будут постоянными. Закон распределения перемещения будет иметь квадратичный характер, и все сечения стержня будет перемещаться слева в право если $q \leq 0$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ноздрев В.Ф. Курс термодинамики. – М.: Мир, 1967. – 247 с.
- [2] Huebner, K. H., *The Finite Element Method for Engineers*. Wiley, 1975, pp: 183-187.
- [3] Lishirong, Chengshangyue, Analysis of thermal post-bulking of heated elastic rods. *China Applied mathematics and mechanics*, 2000, vol. 2: 119-125.
- [4] Lishirong, Yangjingning, Accurate model of post bucking of elastic rod with Mirabel cross sections. *Gansu University of Science*, 1999, ch.1: 98-102.
- [5] Kudaykulov, A. K., Mathematical (finite element) modeling applications of heat distribution in one-dimensional structural elements. *Baiterek*, 2009, pp: 123-129.
- [6] Kenzhegul, B. Z., Kudaykulov A. K., Myrzasheva, A. N., Numerical study of stem elongation of heat-resistant alloy based on the availability of all types of sources. *Bishkek*, 2009, pp: 67-75.
- [7] TashenovaZh.M., Nurlybaeva E.N., Kudaykulov, A., Zhumadillaeva A.K. Numerical study of established thermo-mechanical state of rods of limited length, with the presence of local heat flows, temperatures, heat insulation and heat transfer // *Advanced Science Letters*. -№ 19.-P.2395-2397.
- [8] TashenovaZh.M., Nurlybaeva E.N., Kudaykulov A. Developing a Computational Modeling Algorithm for Thermostressed Condition of Rod made of Heat-resistant Material ANB-300 type // *Advanced Materials Research*. – 2013. – Vol. 19. – P. 4562-4566.
- [9] Nicolas X., Benzaoui A., Xin S. Numerical simulation of thermoconvective flows and more uniform depositions in a cold wall rectangular APCVD reactor // *J. Cryst. Growth*. – 2008. – № 1(310). – P.174-186.
- [10] Chen W.R. A numerical study of laminar free convection heat transfer between inner sphere and outer vertical cylinder // *Int. J. Heat and Mass Transfer*. – 2007. – № 13-14(50). – P. 2656-2666.
- [11] Gamrat G., Favre-Marinet M., Le P.S. Numerical study of heat transfer over banks of rods in small Reynolds number cross-flow // *Int. J. Heat and Mass Transfer*. – 2008. – № 3-4(51). – P. 853-864.
- [12] Nouri-Borujerdi A., Lavasani A.M. Experimental study of forced convection heat transfer from a cam shaped tube in cross flows // *Int. J. Heat and Mass Transfer*. – 2007. – № 13-14(50). – P. 2605-2611.
- [13] AvedissianT., Naylor D. Free convective heat transfer in an enclosure with an internal louvered blind // *Int. J. Heat and Mass Transfer*. – 2008. – № 1-2(51). – P. 283-293.
- [14] Yalcin H.G., Baskaya S. Sivrioglu M. Numerical analysis of natural convection heat transfer from rectangular shrouded fin arrays on a horizontal surface // *Int. Commun. Heat and Mass Transfer*. – 2008. – № 3(35). – C. 299-311.
- [15] Das A., Das B. Thermo-elastic stress distribution in three layered system // *Proc. Nat. acad Sci*. – 2001. – Vol. 71, №1. – P. 21-31.
- [16] Lishirong, Chengshangyue, Analysis of thermal post-bulking of heated elastic rods. *China Applied mathematics and mechanics*, 2000, vol. 2: 119-125.
- [17] Lishirong, Yangjingning, Accurate model of post bucking of elastic rod with Mirabel cross sections. *Gansu University of Science*, 1999, ch.1: 98-102.
- [18] Kudaykulov, A. K., Mathematical (finite element) modeling applications of heat distribution in one-dimensional structural elements. *Baiterek*, 2009, pp: 123-129.
- [19] Kenzhegul, B. Z., Kudaykulov A. K., Myrzasheva, A. N., Numerical study of stem elongation of heat-resistant alloy based on the availability of all types of sources. *Bishkek*, 2009, pp: 67-75.
- [20] Panamarev, V. A., 2002. About calculating models for titanic bar high temperature straining. *Boundary problems and mathematical modeling*, pp: 65-69.

REFERENCES

- [1] Huebner, K. H., *The Finite Element Method for Engineers*. Wiley, **1975**, 183-187 (in Eng.).
- [2] Lishirong, Chengshangyue, Analysis of thermal post-bulking of heated elastic rods. *China Applied mathematics and mechanics*, **2000**, 2, 119-125 (in Eng.).
- [3] Lishirong, Yangjingning, Accurate model of post bucking of elastic rod with Mirabel cross sections. *Gansu University of Science*, **1999**, 1, 98-102 (in Eng.).
- [4] Kudaykulov, A. K., Mathematical (finite element) modeling applications of heat distribution in one-dimensional structural elements. *Baiterek*, **2009**, 123-129, (In Russ.).
- [5] Kenzhegul, B. Z., Kudaykulov A. K., Myrzasheva, A. N., Numerical study of stem elongation of heat-resistant alloy based on the availability of all types of sources. *Bishkek*, **2009**, 67-75, (In Russ.).
- [6] Nozdrev, V. F., *The course of thermodynamics*. Enlightenment, **1995**, (In Russ.).
- [7] TashenovaZh.M., Nurlybaeva E.N., Kudaykulov, A., Zhumadillaeva A.K. Numerical study of established thermo-mechanical state of rods of limited length, with the presence of local heat flows, temperatures, heat insulation and heat transfer // *Advanced Science Letters*, (In Russ.).
- [8] TashenovaZh.M., Nurlybaeva E.N., Kudaykulov A. Developing a Computational Modeling Algorithm for Thermostressed Condition of Rod made of Heat-resistant Material ANB-300 type // *Advanced Materials Research*, **2013**, 19, 4562-4566 (In Russ.).
- [9] Nicolas X., Benzaoui A., Xin S. Numerical simulation of thermoconvective flows and more uniform depositions in a cold wall rectangular APCVD reactor // *J. Cryst. Growth*, **2008**, 1(310),174-186 (In Russ.).
- [10] Chen W.R. A numerical study of laminar free convection heat transfer between inner sphere and outer vertical cylinder // *Int. J. Heat and Mass Transfer*, **2007**, 13-14(50), 2656-2666 (in Eng.).

- [11] Gamrat G., Favre-Marinet M., Le P.S. Numerical study of heat transfer over banks of rods in small Reynolds number cross-flow // *Int. J. Heat and Mass Transfer*, **2008**, 3-4(51), 853-864, (in Eng.).
- [12] Nouri-Borujerdi A., Lavasani A.M. Experimental study of forced convection heat transfer from a cam shaped tube in cross flows // *Int. J. Heat and Mass Transfer*, **2007**, 13-14(50), 2605-2611 (In Russ.).
- [13] Avedissian T., Naylor D. Free convective heat transfer in an enclosure with an internal louvered blind // *Int. J. Heat and Mass Transfer*, **2008**, 1-2(51), 283-293, (In Russ.).
- [14] Yalcin H.G., Baskaya S. Sivrioglu M. Numerical analysis of natural convection heat transfer from rectangular shrouded fin arrays on a horizontal surface // *Int. Commun. Heat and Mass Transfer*, **2008**, 3(35), 299-311, (In Russ.).
- [15] Das A., Das B. Thermo-elastic stress distribution in three layered system // *Proc. Nat. acad Sci*, **2001**, 71, 1, 21-31, (in Eng.).
- [16] Lishirong, Chengshangyue, Analysis of thermal post-bulking of heated elastic rods. *China Applied mathematics and mechanics*, **2000**, 2, 119-125, (in Eng.).
- [17] Lishirong, Yangjingning, Accurate model of post bucking of elastic rod with Mirabel cross sections. *Gansu University of Science*, **1999**, 1, 98-102, (in Eng.).
- [18] Kudaykulov, A. K., Mathematical (finite element) modeling applications of heat distribution in one-dimensional structural elements. *Baiterek*, **2009**, 123-129, (In Russ.).
- [19] Kenzhegul, B. Z., Kudaykulov A. K., Myrzasheva, A. N., Numerical study of stem elongation of heat-resistant alloy based on the availability of all types of sources. *Bishkek*, **2009**, 67-75, (In Russ.).
- [20] Panamarev, V. A. About calculating models for titanic bar high temperature straining. *Bound ary problems and mathematical modeling*, **2002**, 65-69, (In Russ.).

Ж.М. Ташенова¹, М. Мусайф², М. Калдарова²

¹ Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
² С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті

ТЕРМОСЕРПІМДІЛІКТІ ЕСЕПТЕУДЕГІ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ӘДІСІ

Андатпа. Көптеген өндіріс орындарында негізгі құрылым элементтері күрделі жылу көздері әсерінде тұрақты жұмыс жасайды. Өндірістің үздіксіз жұмыс жасауы әрине сол элементтердің сынып қалмауына тікелей байланысты. Сондықтанда алдын – ала негізгі құрылым элементтердің әр түрлі жылу көздері әсерінде қандай термо-механикалық жағдайда болуын терең зерттеу өндірістің үздіксіз, тұрақты, сапалы жұмыс жасау тұрғысынан өте өзекті мәселе болып табылады. Бұл ғылыми жұмыс осы мәселені шешуіне бағытталған.

Тірек сөздер: температура, жылу көздері, жылу алмасу, жылу ағыны, жылу изоляция.