N E W S
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES
ISSN 1991-346X
Volume 1, Number 317 (2018), 106 – 113

УДК 539.3

А.С. Жумаханова[1], М.О. Ногайбаева[2], А. Аскарова[3],
М.Т. Аршидинова[3], К.Б. Бегалиева[3], А.К. Кудайкулов [3], А.А. Ташев[3]

[1]Kazakh agrarian-technical University named S.Seifullin, Astana, Kazakhstan;
[2]Институт механики и машиноведения имени академика У.А.Джолдасбекова;
[3]Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК
E-mail: zhuldyz_tm@mail.ru, kzldkz@gmail.com, kmiraj82@mail.ru

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О УСТАНОВИВЩЕГОСЯ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТЕРЖНЯ ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНЫ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ НАЛИЧИИ КОНЦЕВЫХ ТЕМПЕРАТУР И БОКОВЫХ ТЕПЛООБМЕНА

Аннотация. В данной статье рассматриваются проблемы численного изучения термомеханического состояния стержней. На основе фундаментального закона об изменении количества тепла, прошедшее за время $\partial\tau$ через фиксированного сечения строится уравнение установлившегося теплопроводности для горизонтального стержня ограниченной длины и постоянного попереченного сечения.

При этом на двух концах исследуемого стержня заданы разные температуры, а через боковой поверхности происходит теплообмен с окружающей ее средой. Кроме того, исследуемый стержень выполнен из термозащитного материала ANV-300. Определяющийся закон распределения температуры, всех соответсвующих деформации и напряжений а также перемещения по длине исследуемого стержня. Вычисляются величины термического удлинения и возникающего осевого усилия.

В сложной термической зоне работают подшипниковые компоненты реактивных и водородных двигателей, атомных и тепловых электростанций, технологических линий перерабатывающих производств, а также двигателей внутреннего сгорания. Надежная работа этих конструкций будет зависеть от условий термоэдс компонентов подшипника. Поэтому это исследование посвящено численному изучению состояния термоэдс несущих компонентов конструкций в виде стержней ограниченной длины, ограниченных с обоих концов.

Предлагаемый вычислительный алгоритм основан на принципе сохранения энергии. При этом все типы интегралов в функциональных формулах энергии интегрируются аналитически. При этом полученные численные решения будут иметь высокую точность.

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

3. Постановка задачи

Рассмотривается горизонтальный стержень ограниченной длины и постоянного пепереченного сечения, площадь которого $F(\text{см}^2)$. Ось ох стержня направим слева в право которая совпадает с осью стержня. На левом конце стержня задана температура $T_1[c^0]$, а направом $T_2[c^0]$. При этом $T_1 > T_2$. Через боковой поверхности стержня происходит теплообмен с окружающей ее средой. При этом коэффициент теплообмена $h\left[\frac{\text{вт}}{\text{см}^2 \cdot c^0}\right]$, а температура окружающей среды $T_{\text{ос}}[c^0]$. Расчетная схема исследуемого процесса приводится на рисунке 1.

Рисунок 1 - Расчетная схема задачи

Требуется определить:

1) Закон распределения температуры по длине исследуемого стержня.
2) Определить величину термического удлинения исследуемого стержня.

В случае защемления двух концов стержня необходимого определить:

3) Возникающее осевое усилия.
4) Поле распределения составляющих деформаций и напряжений.
5) Поле распределения перемещения.

Физико-механические свойства материала исследуемого стержня характеризуются коэффициентами теплопроводности $K_{xx}\left[\frac{\text{Вт}}{\text{см}\cdot\text{с}^0}\right]$, теплового расширения $\alpha\left[\frac{1}{\text{с}^0}\right]$ и модулем упругости $E\left[\frac{\text{кГ}}{\text{см}^2}\right]$. Если учесть, что исследуемый процесс установивщегося, а также значение коэффициента теплопроводности материала стержня гораздо больше чем площадь поперечного сечения, то можно без существенной ошибки пренебречь температурными градиентами в направлениях перпендикулярных к оси стержня, и принять температуру постоянной в каждой точке поперечного сечения, перпендикулярного оси ox. При таком допущении температура с функцией только одного независимового переменного x, и поле распределения температуры по длине стержня может быть описано обыкновенным дифференциальным уравнением.

Согласно фундаментального закона теплофизики, количества тепла, проходящего за время dt через сечения стержня, находящегося на расстоянии x[см] от его левого конца будет

$$-K_{xx}F\frac{dT}{dx}d\tau \qquad (1)$$

где $T(x)$ – поле распределения температуры, которая пока неизвестна.

В то время количество тепла, прошедщее за время dt через сечение, находящегося на расстоянии $x+dx$[см] от левого конца стержня, будет равно

$$-K_{xx}F\left(\frac{dT}{dx}+\frac{d^2T}{dx^2}dx\right)d\tau \qquad (2)$$

Кроме того участок стержня, заключеный между сечениями, отстоящими от левого конца стержня на расстоянии x и $x+dx$[см], вследствия процесса теплопроводности, приобретает за время dt количество тепла, равное разности указанных количеств (1) и (2), т.е.

$$K_{xx}F\frac{d^2T}{dx^2}d\tau \qquad (3)$$

Также следует отметить, что за это же время через боковую поверхность этого участка происходит потеря тепла равное

$$hPdx(T-T_{\text{ос}})d\tau \qquad (4)$$

где P[см] – периметр поперечного сечения.

Но так как исследуемый нами процесс является установивщимся, т.е. стационарным, то из(3-4) имеем

$$K_{xx}F\frac{d^2T}{dx^2}dxd\tau = hPdx(T-T_{\text{ос}})d\tau \qquad (5)$$

Отсюда для рассматриваемой задачи определим уравнение установивщейся теплопроводности

$$\frac{d^2T}{dx^2}=\frac{hP(T-T_{\text{ос}})}{K_{xx}F} \qquad (6)$$

Для дальнейшего удобства введем обозначения

$$a^2=\frac{hP}{K_{xx}F} \qquad (7)$$

учитывая, что температура окружающей среды $T_{\text{ос}} = const, 0 \le x \le l$, то имеем

$$\frac{d(T-T_{\text{ос}})}{dx} = \frac{dt}{dx} \tag{8}$$

отсюда также получим

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{d^2(T-T_{\text{ос}})}{dx^2}, 0 \le x \le l \tag{9}$$

Учитывая (7) и (9) перепишем (6)

$$\frac{d^2(T-T_{\text{ос}})}{dx^2} - a^2(T - T_{\text{ос}}) = 0 \tag{10}$$

Это уравнение является обыкновенным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами. Тогда его общий интеграл будет

$$T - T_{\text{ос}} = C_1e^{ax} + C_2e^{-ax}, \quad 0 \le x \le l \tag{11}$$

Где C_1 и C_2 являются постоянными интегрирования. Их значения определяются из граничных условий в концах стержня.

$$T(x = 0) = T_1[c^0];T(x = l) = T_2[c^0]; \tag{12}$$

$$\left.\begin{aligned} T_1 - T_{\text{ос}} &= C_1 + C_2 \\ T_2 - T_{\text{ос}} &= C_1e^{al} + C_2e^{-al} \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

Из этих систем определяются значения C_1 и C_2.

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= \frac{(T_2-T_{\text{ос}})-(T_1-T_{\text{ос}})e^{-al}}{2sh(al)} \\ C_2 &= \frac{(T_1-T_{\text{ос}})e^{al}-(T_2-T_{\text{ос}})}{2sh(al)} \end{aligned}\right\} \tag{14}$$

Подставляя (14) в (11) определяется поле распределения температуры по длине исследуемого стержня с учетом условий эксплуатации [2]

$$T(x, h, K_{xx}, P, F, T_{\text{ос}}) = T_{\text{ос}} + \frac{(T_2-T_{\text{ос}})sh(ax)+(T_1-T_{\text{ос}})sha(l-x)}{sh(al)}, 0 \le x \le l \tag{15}$$

На основе фундаментальных теории теплофизики можно определить величину удлинения рассматриваемого стержня если он защемлен одним концом, а другой свободен

$$\Delta l_T = \int_0^l \alpha T(x)dx = \alpha\int_0^l T(x)dx = \alpha\{T_{oc}l + [(T_2 - T_{oc})(ch(al) - 1)/a - (T_1 - T_{oc})(1 - ch(al)/a)]/sh(al)\} \tag{16}$$

В случае если обе концы стержня защемлены, то в нем возникает осевое сжимающее усилие R, которое будет направлено вдоль его оси ox. Его значение определяется соответствующим законом Гука [3]

$$R = -\frac{\Delta l_T EF}{l} = -\frac{\alpha EF}{l}\{T_{oc}l + [(T_2 - T_{oc})(ch(al) - 1)/a - (T_1 - T_{oc})(1 - ch(al)/a)]/sh(al)\} \tag{17}$$

В этом случае по длине исследуемого стержня закон распределения термо-упругой составляющей напряжения σ можно определить согласно обобщенного закона Гука

$$\sigma=\frac{R}{F}=-\frac{\alpha E}{l}\{T_{oc}l+[(T_2-T_{oc})(ch(al)-1)/a-(T_1-T_{oc})(1-ch(al)/a)]/sh(al)\} \quad (18)$$

Тогда закон распределения соответствующей термо-упругой составляющей деформации также определяется согласно закону Гука

$$\varepsilon=\frac{\sigma}{E}=-\frac{\alpha}{l}\{T_{oc}l+[(T_2-T_{oc})(ch(al)-1)/a-(T_1-T_{oc})(1-ch(al)/a)]/sh(al)\} \quad (19)$$

Далее согласно теории теплофизики определяется закон распределения температурной составляющей деформации

$$\varepsilon_T(x)=-\alpha T(x)=-\alpha\left\{T_{oc}+\frac{(T_2-T_{oc})sh(ax)+(T_1-T_{oc})sha(l-x)}{sh(al)}\right\},0\le x\le l \quad (20)$$

Тогда температурная составляющая напряжения уже определяется согласно закону Гука

$$\sigma_T(x)=E\varepsilon_T(x)=-\alpha E\left\{T_{oc}+\frac{(T_2-T_{oc})sh(ax)+(T_1-T_{oc})sha(l-x)}{sh(al)}\right\},0\le x\le l \quad (21)$$

После этого согласно теории термоупругости можно определить закон распределения упругой составляющей деформации

$$\varepsilon_x(x)=\varepsilon-\varepsilon_T(x)=-\frac{\alpha}{l}\{T_{oc}l+[(T_2-T_{oc})(ch(al)-1)/a-(T_1-T_{oc})(1-ch(al)/a)]/sh(al)\}+ \\ \alpha\left\{T_{oc}+\frac{(T_2-T_{oc})sh(ax)+(T_1-T_{oc})sha(l-x)}{sh(al)}\right\},0\le x\le l \quad (22)$$

Тогда согласно закону Гука, можно определить закон распределения упругой составляющей напряжения

$$\sigma_x(x)=E\varepsilon_x(x)=\sigma-\sigma_T(x)=-\frac{\alpha E}{l}\{T_{oc}l+[(T_2-T_{oc})(ch(al)-1)/a-(T_1-T_{oc})(1-ch(al)/a)]/sh(al)\}+ \\ \alpha E\left\{T_{oc}+\frac{(T_2-T_{oc})sh(ax)+(T_1-T_{oc})sha(l-x)}{sh(al)}\right\},0\le x\le l \quad (23)$$

Наконец, можно определить закон распределения перемещения сечении стержня. Она определяется из соотношений Коши

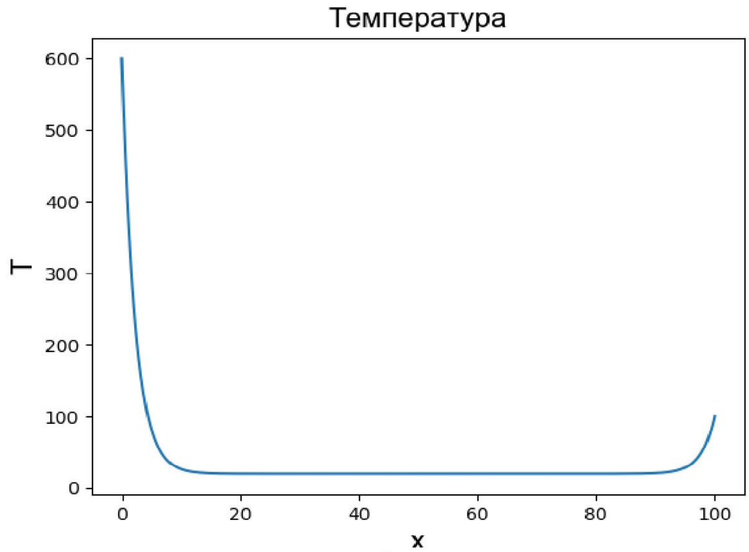
$$\varepsilon_x(x)=\frac{\partial u}{\partial x};\Rightarrow U=\int\varepsilon_x(x)dx+C \quad (24)$$

Здесь значение постоянной С определяется из условий защемления *U(x=0)=0*. Тогда имеем

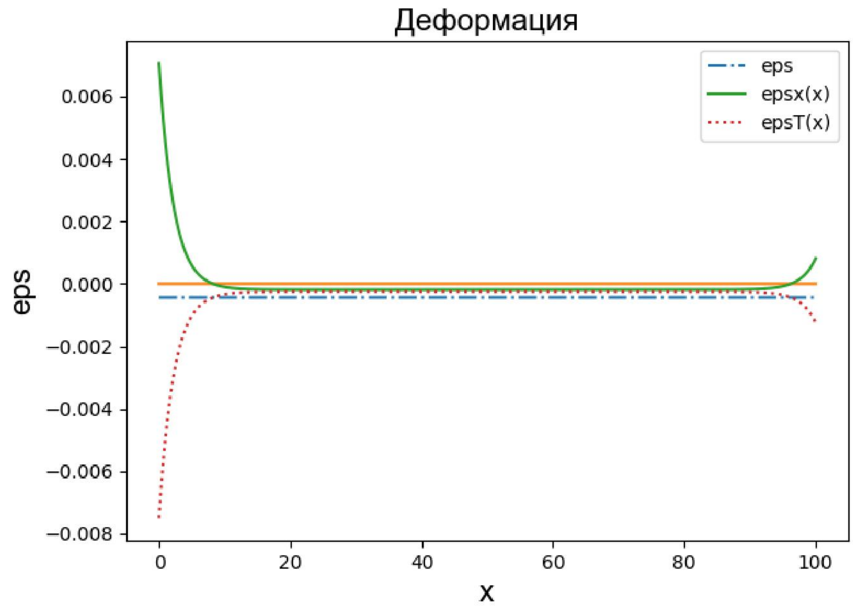
$$U(x)=-\alpha\left[T_{oc}+\frac{chal-1}{alshal}(T_1+T_2-2T_{oc})\right]x+\alpha\left\{T_{oc}x+\frac{1}{ashal}[(T_2-T_{oc})chax-(T_1-T_{oc})]\right\} \\ +\frac{\alpha}{ashal}[(T_1-T_{oc})chal-(T_2-T_{oc})] \quad (25)$$

Если принимать за исходных данных: l=100см, $K_{xx}=100\frac{\text{Вт}}{\text{см с}^0}$; h=10$\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2\text{с}^0}$; $T_{\text{ос}}=20^0$C; α =$125\cdot10^{-7}$ $\frac{1}{\text{с}^0}$; E=$2\cdot10^6\frac{\text{кГ}}{\text{см}^2}$; $T_1=600^0$C; $T_2=100^0$C; r=1см. То получим результаты приведенной на

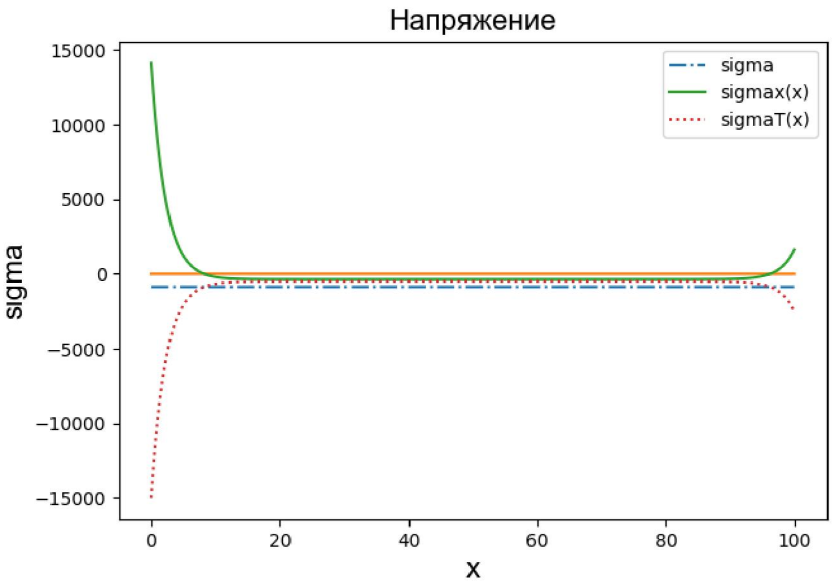
Рисунке-2. На Рисунке-2, а) приводится закон распределения температуры по длине стержня. Возникающие закон распределения составляющих деформаций приводится на Рисунке-2, б). Из рисунка видно, что термо-упругая составляющая деформация Ɛ-является постоянный по всей длине стержня. В то время упругая составляющая деформация $\mathcal{E}_x(x)$, на участках в близи защемления имеют растягивающий характер. В серединной участке стержня $\mathcal{E}_x(x)$ имеет сжимающий характер. Температурная составляющая деформация $\mathcal{E}_T(x)$ по всей длине имеет сжимающий характер. Ее максимальная значения соответствует наибольшему температуру. Характер составляющих напряжений подобно соответствующим деформациям. Это наглядно видно из Рисунка-2, в). На Рисунке-2, г) приводится поле распределения перемещения сечений стержня. Из рисунка видно, что сечений стержня на участке $0 < x \leq 6{,}9$ см перемещающийся по направлению оси ох. В то время наибольшее перемещение $U_{max1}=0{,}0043092$*см* соответствует к сечению координата которого $x=8$*см.;* Сечении стержня находящихся на участке $70<x<l=100$ см перемещаются против направления оси *ох*. Здесь наибольшее перемещение $U_{max2}=-0{,}0016472$*см* соответствует к сечению, координата которого $x=94$ *см*. При этом $|U_{max1}|/|U_{max2}|=2{,}61639;$



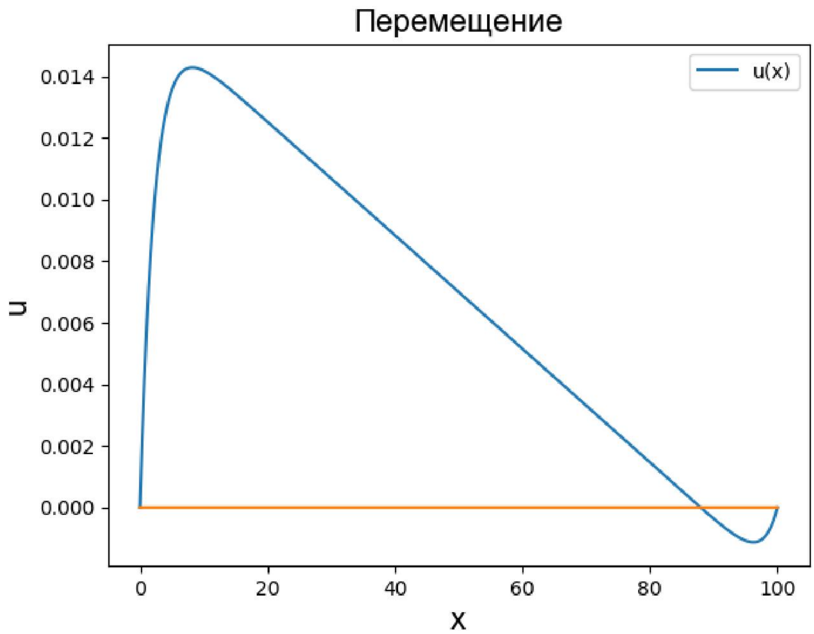
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2 - Законы распределения температур, деформаций, напряжений и перемещения

ЛИТЕРАТУРА

[1] Кудайкулов А.К., Кенжегулов Б.З., Мырзашева А.Н. Математическая модель установившегося поля распределения температуры по длине стержня, ограниченной длины при наличии локальной температуры, теплового потока, теплообмена и теплоизоляции. Наука и новые технологии, №5, г. Бишкек, 2009 г., С.17-2.

[2] Кудайкулов А. К., Тулеуова Р., Амиртаев К. Б., Токкулиев Б. М., "Установившееся напряженно-деформированное состояние жестко-закрепленного двумя концами частично теплоизолированного стержня при наличии теплового потока, теплообмена и температуры", Труды пятой Всероссийской научной конференции с международным участием (29–31 мая 2008 г.). Часть 1, Математические модели механики, прочности и надёжности элементов конструкций, Матем. моделирование и краев. задачи, СамГТУ, Самара, 2008, 161–164.

[3] Кудайкулов А.К. Математическое (конечно-элементное) моделирование прикладных задач распространения тепла в одномерных конструктивных элементах. - Туркестан: Байтерек, - 2009. - 168 с.

[4] Кенжегулов Б.З., Кудайкулов А.К., Мырзашева А.Н. Численное исследование удлинения стержня из жаропрочного сплава с учетом наличия всех видов источников. Известия вузов. - Бишкек, 2009. - №4. -С. 3-7.
[5] Ташенова Ж.М., Нурлыбаева Э.Н., Жумадиллаева А.К., Кудайкулов А.К. Вычислительный алгоритм и моделирование термонапряженного состояния стержня из жаропрочного сплава при наличии теплообмена, теплоизоляции и температуры постоянной интенсивности. Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3–3. – С. 660-664;
[6] Иванов А.С. Математические аналогии в механике сплошной среды. Монография. Москва, МГОУ, 2009, 180с
[7] X Gu, X Dong, M Liu, Y Wang - Heat Transfer—Asian Research, 2012 - Wiley Online Library.
[8] Айталиев Ш.М., Кудайкулов А.К., Мардонов Б. Механика прихвата бруильных колон в нефтегазовых скважинах. Алматы-Атырау: Издательство «Эвро», 1999, -82с.
[9] Chernyaeva T. P. and Ostapov A. V., Problems of Atomic Science and Technology. Ser. Physics of Radiation Effect and Radiation Material Science, (87) 5, 16 (2013).
[10] Zelensky V. F., Problems of Atomic Science and Technology. Ser. Nuclear Physics Investigations (85) 3, 76 (2013).
[11] M.L.F. Lerch, M. Petasecca, A. Cullen et al., Radiation Measurements 46, 1560 (2011).
[12] Bezshyyko A., Vyshnevskyi I.M., Denisenko R.V. et al., Nucl. Phys. At. Energy 12, No. 4, 400 (2011).
[13] Гестрин С.Г. Локализация экситонов Френкеля на дислокациях / С.Г. Гестрин, А.Н. Сальников. Известие вузов. Физика. 2005. № 7. С. 23-25.
[14] Tungatarov A., D.K. Akhmed-Zaki. Cauchy problem for one class of ordinary differential equations// Int. J. of Mathematical Analyses. 2012, vol.6, no 14, 695-699.
[15] Meirmanov A., Mathematical models for poroelastic flows, Atlantis Press// Paris, 2013,478 pp.
[16] Kulpeshov B.Sh., Macpherson H.D., Minimality conditions on circularly ordered structures. Mathematical Logic Quarterly, 51 (2005), 377-399.
[17] Kulpeshov B.Sh., On ℵ0-categorical weakly circularly minimal structures. Mathematical Logic Quarterly, volume 52, issue 6, 2006, 555-574.
[18] Ерофеев В.Л.,Семенов П.Д. Теплотехника. – М.:ИКЦ Академкнига.-2006.-488с.
[19] Луканин В.Н. Теплотехника.-М.: Высшая школа.-2002.-671с.
[20] НоздревВ.Ф. Курс термодинамики. – М.: Мир, 1967. – 247 с.

А.С. Жумаханова [1], М.О. Ноғайбаева[2], А. Асқарова[3],
М.Т. Аршидинова[3], К.Б. Бегалиева[3], А.К. Кудайкулов[3], А.А. Ташев [3]

[1]С.Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық университеті, Астана, Казахстан
[2]ҚР БҒМ ҒА У.А.Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты
3 ҚР БҒМ ҒА Ақпараттық және есептеу технологиялары институты

ҰЗЫНДЫҒЫ ШЕКТЕУЛІ ТҰРАҚТЫ ТЕРМОМЕХАНИКАЛЫҚ КҮЙДІҢ БІР МЕЗГІЛДЕ ШЕКТІК ТЕМПЕРАТУРАНЫҢ ЖӘНЕ БҮЙІРЛІК ЖЫЛУ АЛМАСУ ӘСЕРІ ЕСЕБІН ТАЛДАМАЛЫҚ ШЕШУ

Аннотация. Бұл мақалада өзектің термомеханикалық күйін сандық зерттеу проблемалары қарастырылады.

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.

$\partial\tau$ уақытта тұрақты көлденең қима арқылы өтетін жылу мөлшерінің өзгеруі туралы іргелі заңның негізінде шекті ұзындықты және қимасы тұрақты көлденең өзектің жылу өткізгіштігінің теңдеуін құруға болады.

Бұл жағдайда қарастырылған өзектің екі ұшында әртүрлі температура белгіленеді, ал қоршаған ортамен жылу алмасуы бүйірлік бет арқылы өтеді. Сонымен қатар, зерттелетін өзек ANV-300 термиялық қорғаныш материалынан жасалған. Барлық орын алатын деформациялар мен кернеулерге байланысты, сондай-ақ зерттелген өзектің ұзындығы бойынша қозғалу кезіндегі температура таралуын анықтайтын заң. Жылулық ұзартудың және осьтік күштің мәндері есептеледі.

Реактивті және сутегі қозғалтқыштарының компоненттері, ядролық және жылу электр станциялары, өңдеу өнеркәсібінің өңдеу желілері, сондай-ақ ішкі жану қозғалтқыштары бар күрделі жылу аймағында жұмыс істейді. Осы құрылымдардың сенімді жұмыс істеуі мойынтіректер компоненттерінің термоэлектрлік қуатына байланысты болады. Демек, бұл зерттеу екі жағында шектелген шектеулі ұзындықтағы өзектер түріндегі құрылымдық компоненттердің термоэлектрлік қуатының жай-күйін сандық зерттеуге арналған.

Ұсынылған есептеу алгоритмі энергия үнемдеу принципіне негізделген. Бұл жағдайда функционалдық энергетикалық формулалардағы интегралдардың барлық түрлері аналитикалық түрде интегралданған. Бұл жағдайда алынған сандық шешімдер жоғары дәлдікке ие болады.

Тірек сөздер: жылу ағыны, жылу беру, жылу өткізгіштік, жылу алмасу, жылу оқшаулау.

UDC 539.3

A.S. Zhumakhanova[1], M.O. Nogaybaeva[2], A. Askarova[3], M.T. Arshidinova[3], K.B. Begalyeva[3], A.K. Kudaykulov[3], A.A. Tashev[3]

[1]Kazakh agrarian-technical University named S.Seifullin, Astana, Kazakhstan;
[2] Institute of Mechanics and Engineering Science named after academician U.A. Dzholdasbekov;
[3]Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK

AN ANALYTICAL SOLUTION TO THE PROBLEM OF THE THERMOMECHANICAL STATE OF A ROD OF LIMITED LENGTH, WITH SIMULTANEOUS PRESENCE OF END TEMPERATURES AND LATERAL HEAT EXCHANGE

Abstract. This article deals with the problems of numerical study of the thermomechanical state of rods. On the basis of the fundamental law on the change in the amount of heat, an equation of the established thermal conductivity for a horizontal rod of limited length and a constant cross section is constructed through a fixed cross-section in a time $\partial\tau$. In this case, different temperatures are set at the two ends of the investigated rod, and heat exchange with the surrounding medium takes place through the lateral surface. In addition, the investigated rod is made of thermal protective material ANV-300. The determining law of the distribution of temperature, of all the corresponding deformations and stresses, and also of the displacement along the length of the investigated rod. The values of the thermal elongation and the resulting axial force are calculated.

In a complex thermal zone, bearing components of reactive and hydrogen engines, nuclear and thermal power stations, processing lines of processing industries, as well as internal combustion engines operate. The reliable operation of these structures will depend on the conditions of the thermoelectric power of the bearing components. Therefore, this study is devoted to a numerical study of the state of the thermoelectric power of the structural components in the form of rods of limited length, bounded at both ends.

The proposed computational algorithm is based on the principle of energy conservation. In this case, all types of integrals in the functional energy formulas are integrated analytically. In this case, the numerical solutions obtained will have high accuracy.

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

Сведения об авторах:

Аскарова А. - PhD докторант 2-го года обучения специальности 6D070500 - «Математическое и компьютерное моделирование», Института информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, e-mail: 91-ashok@mail.ru;

Аршидинова М.Т. - PhD докторант 1-го года обучения специальности 6D070400 - «Вычислительная техника и программное обеспечение», Института информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, e-mail: mukaddas_arshidi@mail.ru;

Бегалиева К.Б. - PhD докторант 1-го года обучения специальности 6D070200 - «Автоматизация и управление», Института информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, e-mail: kalamkas_b@mail.ru,

Кудайкулов А.К. - доктор физико-математических наук Института информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, e-mail: kudaykulov2006@mail.ru;

Ташев А.А. - доктор технических наук Института информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, e-mail: azattash@mail.ru;

Жумаханова Анар Сыдыковна - старший преподаватель кафедры «Информационные системы», Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, e-mail: guldana2002@mail.ru;

Ногайбаева Макпал Оразбаевна - PhD докторант Института механики и машиноведения имени академика У.А.Джолдасбекова, e-mail: zhuldyz_tm@mail.ru.