

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА
СЕРИЯСЫ**



СЕРИЯ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ



**PHYSICO-MATHEMATICAL
SERIES**

3 (301)

МАМЫР – МАУСЫМ 2015 ж.

МАЙ – ИЮНЬ 2015 г.

MAY – JUNE 2015

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі,

Мұтанов Г. М.

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әшімов А.А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байғұнчекөв Ж.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Жұмаділдаев А.С.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұқашев Б.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жантаев Ж.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Косов В.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мұсабаев Т.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Ойнаров Р.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.** (бас редактордың орынбасары); физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Темірбеков Н.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірбаев У.У.**

Р е д а к ц и я к е ң е с і:

Украинаның ҰҒА академигі **И.Н. Вишневский** (Украина); Украинаның ҰҒА академигі **А.М. Ковалев** (Украина); Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **А.А. Михалевич** (Беларусь); Әзірбайжан ҰҒА академигі **А. Пашаев** (Әзірбайжан); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **И. Тигиняну** (Молдова); мед. ғ. докторы, проф. **Иозеф Банас** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

Г. М. Мутанов

Редакционная коллегия:

доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.А. Ашимов**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Ж.Ж. Байгунчеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.С. Джумадильдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Б.Н. Мукашев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.Ш. Жантаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Косов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.А. Мусабаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Р. Ойнаров**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов** (заместитель главного редактора); доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.М. Темирбеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.У. Умирбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **И.Н. Вишневский** (Украина); академик НАН Украины **А.М. Ковалев** (Украина); академик НАН Республики Беларусь **А.А. Михалевич** (Беларусь); академик НАН Азербайджанской Республики **А. Пашаев** (Азербайджан); академик НАН Республики Молдова **И. Тигиняну** (Молдова); д. мед. н., проф. **Иозеф Банас** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая». ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

G. M. Mutanov,
academician of NAS RK

Editorial board:

A.A. Ashimov, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **Zh.Zh. Baigunchekov**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **A.S. Dzhumadildayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **T.S. Kalmenov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **B.N. Mukhashev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.Sh. Zhantayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Kosov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.A. Mussabayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **R. Oinarov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **N.M. Temirbekov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.U. Umirbayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

I.N. Vishnievski, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.M. Kovalev**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.A. Mikhalevich**, NAS Belarus academician (Belarus); **A. Pashayev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **I. Tighineanu**, NAS Moldova academician (Moldova); **Joseph Banas**, prof. (Poland).

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.
ISSN 1991-346X

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 3, Number 301 (2015), 168 – 175

**RESEARCH THERMO-PHYSICAL-MECHANICAL STATE
OF THE ROD OF FIXED LENGTH
UNDER VOZDEYSVIYA HEAT FLOW AND HEAT TRANSFER**

M. Marzhan, M. O. Nogaibaeva², A. K. Kudaikulov¹

¹S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, Kazakhstan,

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: mmarzhan2004@mail.ru, kudahkulov2006@mail.ru

Key words: rod, head, section, energy, potential, deformation, temperature.

Abstract. In work at first method of minimization of full thermal energy defines a field of distribution of temperature on length of a core which both ends is rigidly jammed.

Partially insulated rod members in practice are the main constituent elements of many machines and working under the influence of axial forces variable coordinate temperature, heat flux and heat transfer. With such complex effects study of thermoelastic stress-strain state is partially insulated rod becomes very challenging. Such problems arise in the design of machines used in metallurgical, chemical, petrochemical, food, meat, dairy and many other industries where working bodies, in addition to the mechanical load test and thermal stresses that are inevitable because of the principle, and (or) destination operation of these machines.

Presence of a partial thermal protection, a thermal stream and heat exchange is thus considered. Further substituting the distribution of temperature found the law in expression functional potential energy of elastic deformation and minimizing it on central values of elastic moving of applied discrete square-law final elements the resolving system of the linear algebraic equations is under construction. Solving the last there is a field of elastic moving of components deformation and pressure and also value of arising compressing effort and thermo-elastic pressure. It is considered series of variants.

УДК 539.3

**ЖЫЛУ АҒЫНЫМЕН ЖЫЛУ АЛМАСУЛАР ӘСЕРІНДЕГІ
ШЕКТІ ҰЗЫНДЫҚТАҒЫ СТЕРЖЕННІҢ
ТЕРМОФИЗИКА-МЕХАНИКАЛЫҚ КҮЙІН ЗЕРТТЕУ**

М. Мусайф¹, М. О. Ноғайбаева², А. Қ. Құдайқұлов¹

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық университеті, Астана, Қазақстан,

²Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: стержен, жылу, қима, энергия, потенциал, деформация, температура.

Аннотация. Жұмыста толық жылу энергиясын минимизациялау әдісі арқылы екі жағы бекітілген стерженнің бойымен жылудың таралу өрісі анықталады.

Тәжірибеде бөліктеп жылу оқшауланған стержендік элементтер көптеген машиналарда және осьтік күштер айнымалы әсерінен жұмыс істейтін температура, жылу ағыны және жылу беруді үйлестіру қарастырылады.

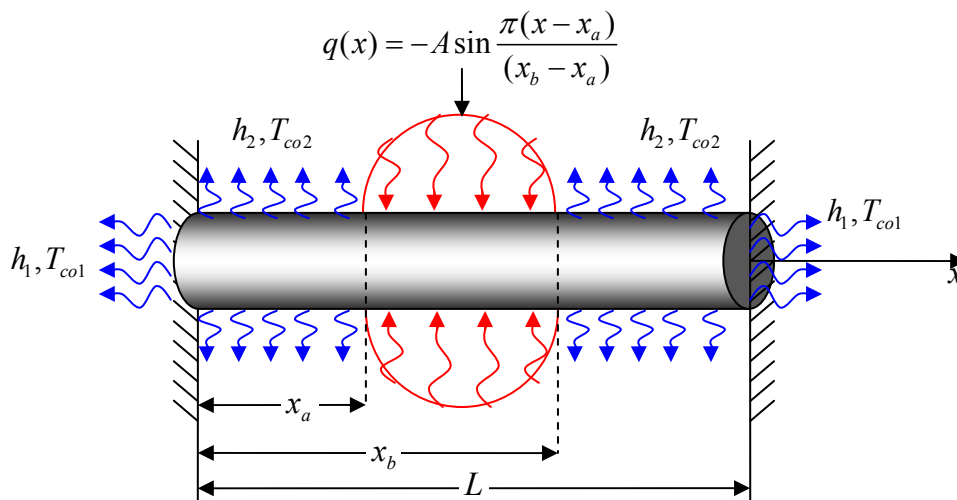
Берілген жылу көздерінде стерженнің беріктілігін сақтау үшін оның көлденең қима ауданының тиімді мөлшерін есептеу қажет. Ішінара жылу оқшауланған стержендердің жылу серпімді деформацияланған күйін зерттеу өте күрделі есептерге жатады. Мұндай есептер металлургиялық химиялық, нефтехимиялық, тамақ, ет

және сүт және басқа өндірістің машина жасау салаларында, механикалық жүктемеден басқа жылу кернеу жүктемесі болуы жағдайында кездеседі.

Сондықтан да ішінара жылу оқшаулау, жылу ағыны мен жылу алмасу әсерлері ескеріледі. Табылған жылудың таралу заңын серпімді деформацияның потенциалды энергиясының функционал өрнегіне қоя отырып, оларды дискретті квадраттық соңғы элементтерді қолданатын серпімді қозғалыстардың түйіндік мәндері бойынша минимизациялап, шешілетін сызықтық алгебралық теңдеулер жүйесіне салынған.

Соңғы жүйенің шешімі арқылы деформация компоненттерінің және кернеудің серпімді қозғалыстар өрісі, сондай-ақ, қысу күшінің және термо-серпімді кернеудің мәндері табылды. Түрлі нұсқалары ұсынылды.

Мұнай-газ өңдеу, мұнай-химия және метал өндіру зауыттармен газогенераторлық электростанциялар, реактивті және іштей жану двигателдерінің көптеген негізгі құрылым элементтері *стержендік элементтер* болып жұмыс істетіледі. Олар үнемі күрделі жылу өрістері әсерінде жұмыс жасайды. Мұндай процесте жұмыс істетілетін стержендерде жылу өрісі әсерінен пайда болатын кернеулер мен сығушы күштер, кейде рұқсат етілген мөлшерден асып кетіп, құрылым элементтерінің қирауына алып келеді. Сондықтан да жылу ағыны мен жылу алмасу әсерінде жұмыс жасайтын стержендік құрылым элементтерінің термо-кернеулік күйлерін зерттеу, өндірістің немесе двигателдердің үздіксіз жұмыс жасауын қамтамасыз етуге көмектеседі. Мысалы ұзындығы L [см], көлденең қима ауданы F [см²] ұзындығы бойынша тұрақты болған екі шеті мықтап бекітілген стерженді қарастырайық. Стерженнің қимасының радиусы r [см] болсын. Стержен материалының жылу өткізгіштік коэффициенті K_{xx} [Вт/(см·°C)], жылудан кеңею коэффициенті α [1/°C], материалдың серпімділік модулі E [кг/см²] болсын. Стерженнің мықтап бекітілген екі шетіндегі көлденең қима ауданы арқылы оны қоршап тұрған сыртқы ортамен жылу алмассын. Мұнда жылу алмасу коэффициенті h_1 [Вт/(см²·°C)], ал орап тұрған сыртқы ортаның температурасы T_{co1} [°C] болсын. Сонымен қатар стерженнің бүйір бетінің $x_a \leq x \leq x_b$ ($x_a < L$; $x_b < L$) бөлігіне $q(x) = -A \sin \frac{\pi x}{(x_b - x_a)}$ [Вт/см²] жылу ағыны түсіп тұрсын. Стерженнің қалған $0 \leq x \leq x_a$ және $x_b \leq x \leq L$ бөліктерінің бүйір беті арқылы оны қоршап тұрған сыртқы ортамен жылу алмассын. Оның жылу алмасу коэффициенті h_2 [Вт/(см²·°C)] және сыртқы ортаның температурасы T_{co2} [°C] болсын (1-сурет).



1-сурет

Бұндай жағдайдағы стерженнің ұзындығы бойынша $T = T(x)$ (әзірге белгісіз) заңдылықпен жылу таралады. Нәтижеде стержен жылу әсерінен кенеюге әрекет жасап, оның мықтап бекітілген екі шетінде R сығушы күшті және кез келген көлденең қима ауданында $\sigma = R/F$ термо-кернеуді тудырады. Сондықтан да $T = T(x)$, R және σ -ларды табуымыз қажет. Ол үшін стерженді үш бөлікке бөліп қарастырайық (үш бөліктен көп бөлікке де бөлуге болады). Алдымен $0 \leq x \leq x_a$ бөлігін қарастыратын болсақ, мұнда $x = 0$ нүктеге сәйкес көлденең қима ауданы арқылы, ал $0 \leq x \leq x_a$ бөлігінің бүйір беті арқылы сыртқы ортамен жылу алмасқандықтан стерженнің бұл бөлігі үшін толық жылу энергиясын өрнектейтін функционалдың көрінісі мынадай болады [1]

$$I_1 = \int_{V_1} \frac{K_{xx}}{2} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int_{S_0} \frac{h_1}{2} (T - T_{co1})^2 dS + \int_{S_{1ББ}} \frac{h_2}{2} (T - T_{co1})^2 dS. \quad (1)$$

Мұнда V_1 - стерженнің осы бөлігінің көлемі; S_0 -стерженнің $x = 0$ нүктеге сәйкес көлденең қима ауданы; $S_{1ББ}$ - стерженнің $0 \leq x \leq x_a$ бөлігінің бүйір бетінің ауданы.

Ал енді стерженнің екінші $x_a \leq x \leq x_b$ бөлігін қарастырайық. Мұнда стерженнің бүйір бетіне $q(x) = -A \sin \frac{\pi(x - x_a)}{(x_b - x_a)} [Bm/cm^2]$ жылу ағыны түсіп тұр. Сондықтан стерженнің бұл бөлігі үшін толық жылу энергиясын өрнектейтін функционалдың көрінісі төмендегідей болады [1].

$$I_2 = \int_{V_2} \frac{K_{xx}}{2} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int_{S_{2ББ}} q(x)T(x)dS. \quad (2)$$

Мұнда V_2 - стерженнің екінші бөлігінің көлемі, ал $S_{2ББ}$ -осы бөліктің бүйір бетінің ауданы.

Енді стерженнің соңғы үшінші $x_b \leq x \leq L$ бөлігін қарастырайық. Бұл бөліктің бүйір бетімен, $x = L$ нүктеге сәйкес көлденең қима ауданы арқылы сыртқы ортамен жылу алмасады. Сондықтан стерженнің бұл бөлігі үшін толық жылу энергиясын өрнектейтін функционалдың көрінісі [1]-ге сәйкес мынадай болады

$$I_3 = \int_{V_3} \frac{K_{xx}}{2} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int_{S_L} \frac{h_1}{2} (T - T_{coL})^2 dS + \int_{S_{3ББ}} \frac{h_2}{2} (T - T_{co3})^2 dS. \quad (3)$$

Онда жалпы стержен үшін толық жылу энергиясын өрнектейтін функционалдың көрінісі төмендегідей болады [1]

$$I = I_1 + I_2 + I_3. \quad (4)$$

Зерттеліп жатқан процесс тұрақталған жылу таралу процесі болғандықтан, стерженнің әр бөлігіндегі жылу таралу заңдылығын өрнектейтін $T = T(x)$ қисық сызығы, бір қалыпты қисық сызық болғандықтан, оны [2]-ге сәйкес үш нүктеден өткен қисық сызықпен аппроксимациялаймыз. Онда стерженнің бір бөлігіндегі жылу таралу заңдылығын былайша өрнектеуге болады

$$T(x) = \varphi_i(x)T_i + \varphi_j(x)T_j + \varphi_k(x)T_k. \quad (5)$$

Мұнда $T_i = T(x_i)$, $T_j = T(x_j)$, $T_k = T(x_k)$ болып, x_i - стерженнің бөлігінің сол шетіндегі нүктесінің, x_j - орта нүктесінің, x_k - оң шеткі нүктесінің координаталары.

$$\varphi_i(x) = \frac{(\ell^2 - 3\ell x + 2x^2)}{\ell^2}, \quad \varphi_j(x) = \frac{(4\ell x - 4x^2)}{\ell^2}, \quad \varphi_k(x) = \frac{(2x^2 - \ell x)}{\ell^2} \quad (6)$$

Бұл функциялар – үш нүктелі квадраттық элементтің пішін функциялары [2]. Онда (5)-ті (4)-ке қойып, I функционалды стерженнің түйін нүктелеріндегі температураның мәндері бойынша минимизациялап, оларды анықтау үшін мынадай сызықты алгебралық теңдеулер жүйесін аламыз

$$\frac{\partial I}{\partial T_i} = 0, (i = 2 \times шэс + 1). \quad (7)$$

Мұнда $шэс$ – стержендегі үш нүктелі квадраттық шекті элементтердің саны. Соңғы жүйені Гаусс әдісімен шешіп $T = T(x)$ функциясын құрылады. Одан пайдаланып әр бір элемент үшін оның серпінділік деформациясының потенциал энергиясын жазамыз. Мысалы i - элементі үшін [3]

$$\Pi_i = \int_{V_i} \frac{\sigma_x \varepsilon_x}{2} dV - \int_{V_i} \alpha E T(x) \varepsilon_x dV. \quad (8)$$

Мұнда V_i - i -ші элементтің көлемі; $\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$ - серпінділік деформациясы;

$u(x) = \varphi_i(x)u_i + \varphi_j(x)u_j + \varphi_k(x)u_k$ - стержен қимасының жылжуы; $\sigma_x = E\varepsilon_x$ - серпінділік кернеуі.

Онда стерженнің жалпы потенциал энергиясы

$$\Pi = \sum_{i=1}^{шэс} \Pi_i. \quad (9)$$

Енді $u(x)$ -тің өрнегін (9)-ға қойып Π -ны нүктелердің u_i жылжулары бойынша минимизациялап оларды анықтау үшін төмендегі сызықты алгебралық теңдеулер жүйесін аламыз

$$\frac{\partial \Pi}{\partial u_i} = 0, (i = 2 \times шэс + 1). \quad (10)$$

Нәтижеде түйін қималарының жылжуынан пайдаланып қатар тұрған кез келген i, j нүктелер арасындағы серпінділік деформациясының мәні былайша табылады

$$\varepsilon_x \left(\frac{x_j - x_i}{2} \right) = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial \varphi_i \left(\frac{x_j - x_i}{2} \right)}{\partial x} \cdot u_i + \frac{\partial \varphi_j \left(\frac{x_j - x_i}{2} \right)}{\partial x} \cdot u_j + \frac{\partial \varphi_k \left(\frac{x_j - x_i}{2} \right)}{\partial x} \cdot u_k. \quad (11)$$

Ал серпінділік кернеудің мәні Гук заңына сәйкес бойынша табылады [4]

$$\sigma_{x=(x_j-x_i)/2} = E\varepsilon_{x=(x_j-x_i)/2}. \quad (12)$$

Осы нүктедегі температуралық деформация мен кернеудің мәні мынадай болады [4]

$$\varepsilon_T = -\alpha T; \quad \sigma_T = E\varepsilon_T. \quad (13)$$

Онда стерженнің кез келген қимасындағы термо-кернеудің мәні [4]-ке сәкес

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_T \quad (14)$$

болады. Сондай-ақ σ -ның мәні $0 \leq x \leq L$ аралықта тұрақты болады. Онда Гук заңына [4] сәйкес сығушы күштің мәні

$$R = \sigma \cdot F \quad (15)$$

болады.

Енді берілген мәселені мынада параметрлердің мәндерінде шешіп көрейік. $L = 30$ [см],

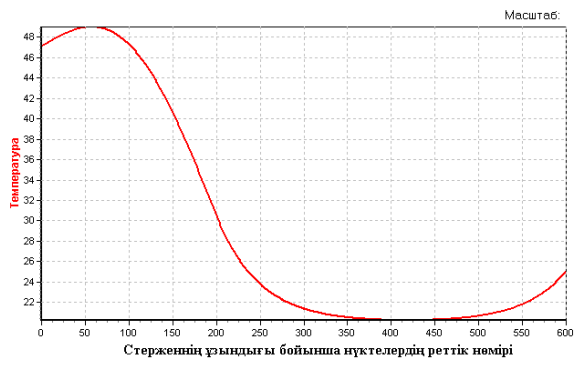
$$\ell = \frac{L}{3} = 10$$
 [см], $h_1 = 10$ [Вт/(см²·°C)], $T_{co1} = 40$ [°C], $q = 30$ [Вт/см²],

$$h_2 = 6$$
 [Вт/(см²·°C)], $T_{co2} = 20$ [°C], $K_{xx} = 72$ [Вт/(см·°C)], $\alpha = 125 \cdot 10^{-7}$ [1/°C],

$$E = 2 \cdot 10^{-6}$$
 [кГ/см²], $r = 1$ [см], $F = \pi r^2 = \pi$ [см].

Олай болса төмендегідей үш вариантты қарастырайық:

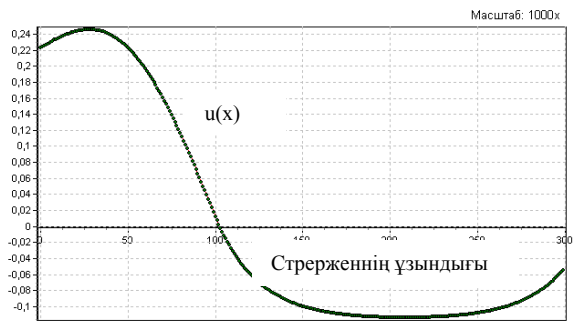
1) $q(x)$ жылу ағыны стерженнің $0 \leq x \leq \ell$ бөлігінің бүйір бетіне түсіп тұрсын. Онда 2-суретінің а)-да $T = T(x)$, б)-да $u = u(x)$, в)-да ε_x , г)-да σ_x , σ_T және σ -дың таралу заңдылықтары көрсетілген. Мұнда $\sigma = -733,8$ [кГ/см²] болады және сығушы күштің мөлшері $R = \sigma \cdot F = 2305,5$ [кГ] болады екен.



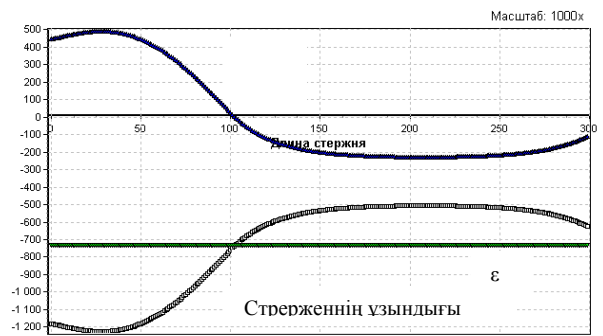
а)



б)

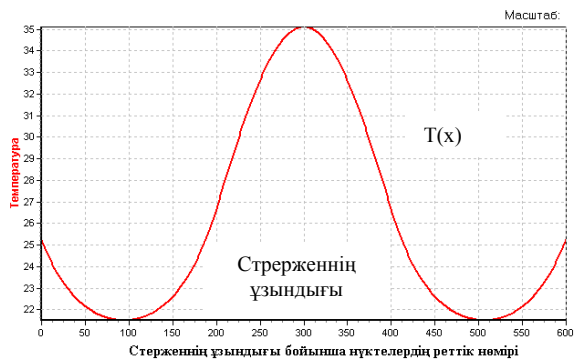


в)

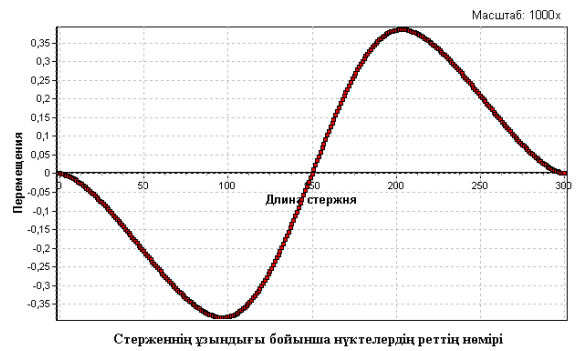


г)

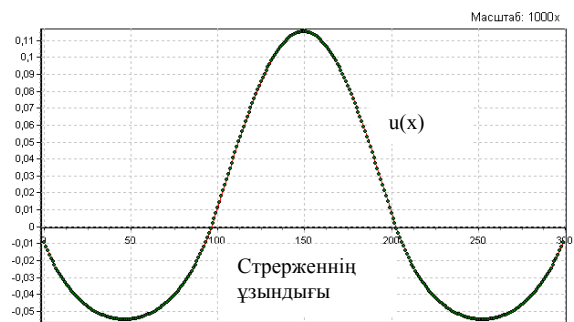
2-сурет



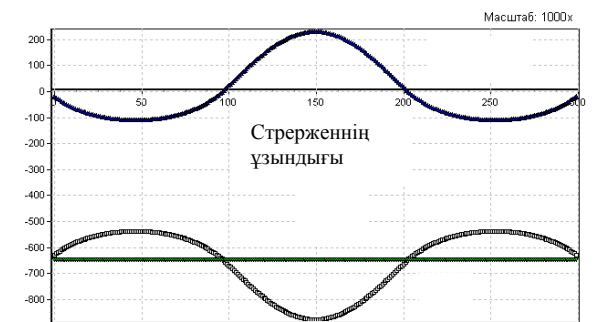
а)



б)



в)

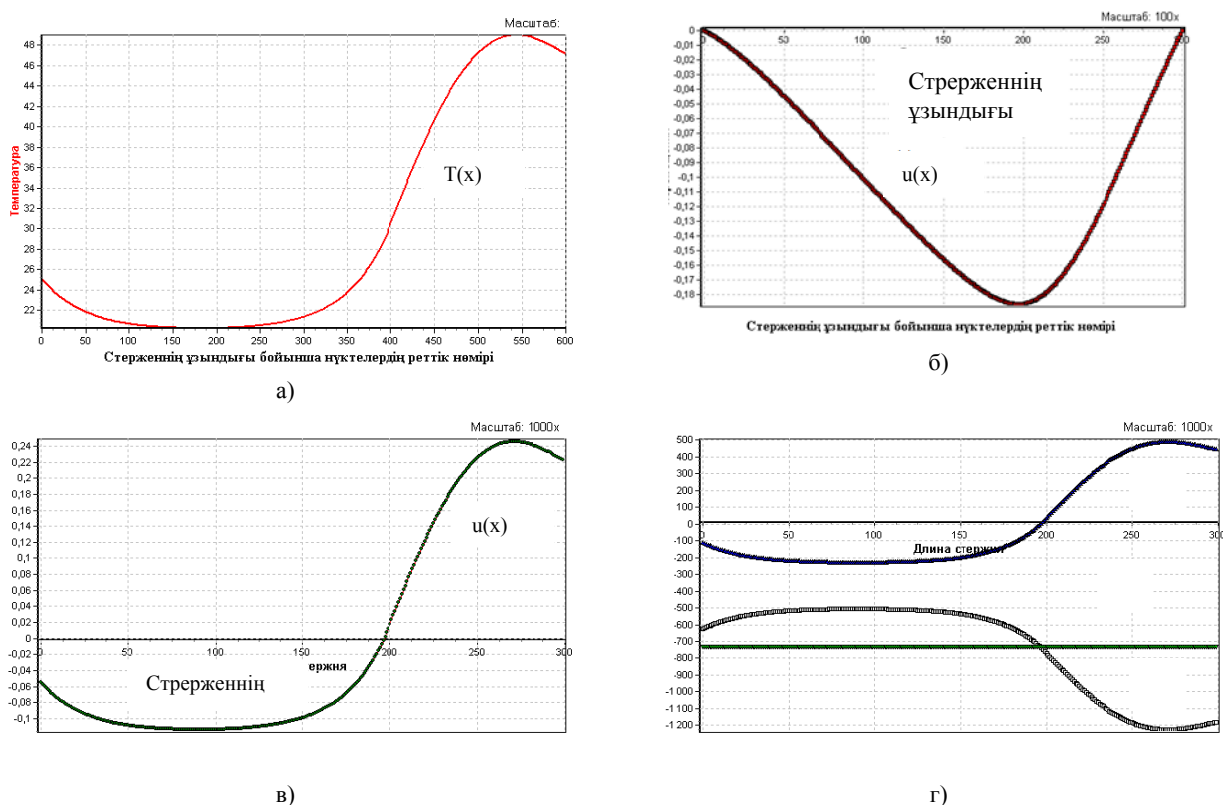


г)

3-сурет

2) $q(x)$ жылу ағыны стерженнің орта бөлігіндегі $\ell \leq x \leq 2\ell$ бүйір бетіне түсіп тұрсын. Онда 3-суреттің а)-да $T = T(x)$, б)-да $u = u(x)$, в)-да ε_x , г)-да σ_x , σ_T және σ -дың таралу заңдылықтары көрсетілген. Мұнда да термо-кернеудің мәні $\sigma = -733,8 \text{ [кГ/см}^2\text{]}$ болады және сығушы күштің мөлшері $R = \sigma \cdot F = 2305,5 \text{ [кГ]}$ болады.

3) $q(x)$ жылу ағыны стерженнің $2\ell \leq x \leq L$ бөлігінің бүйір бетіне түсіп тұрғанда 3-суреттің а)-да $T = T(x)$, б)-да $u = u(x)$, в)-да ε_x , г)-да σ_x , σ_T және σ -дың таралу заңдылықтары көрсетілген. Бұл жағдайда да $\sigma = -733,8 \text{ [кГ/см}^2\text{]}$ болады және сығушы күштің мөлшері $R = \sigma \cdot F = 2305,5 \text{ [кГ]}$ болады.



4-сурет

Сонымен кез келген екі шеті мықтап бекітілген стерженге әртүрлі жылу көздері әсер еткенде, әлдеқандай үлкен мөлшерде сығушы термо-кернеу және сығушы күштер пайда болады. Оның нәтижесінде стержен қирап кетуі мүмкін. Оны алдын алу үшін алдымен ғылыми зерттеулер жасап, берілген жылу көздерінде стерженнің беріктілігін сақтау үшін оның көлденең қима ауданының тиімді мөлшерін немесе берілген көлденең қима ауданында жылу көздерінің тиімді мөлшерін немесе стержен материалының таңдау жолдарын алдын ала есептеу қажет екен.

ӘДЕБИЕТ

[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. – Бишкек, 2009. – №5. – 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 конф. с междунар. участием (29–31 мая 2008 г.). – Ч. 1: Математические модели механики, прочности и надёжности элементов конструкций. – Матем. моделирование и краев. Задачи. – Самара: СамГТУ, 2008. – С. 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] Жуков П.В. Решение задач теплопроводности и термоупругости для вращающегося полого цилиндра с импульсным подводом теплоты // Мат-лы XVI Межд. науч.-техн. конф. Бенардосовские чтения “Состояние и перспективы развития электротехнологии”. – Иваново, **2011**. – Т. 2. – С. 325-328.
- [6] 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.
- [7] Иванов А.С. Математические аналогии в механике сплошной среды. Монография. – М.: МГОУ, **2009**. – 180 с.
- [8] X Gu, X Dong, M Liu, Y Wang – Heat Transfer – Asian Research, **2012**. – Wiley Online Library.
- [9] Айталиев Ш.М., Кудайкулов А.К., Мардонов Б. Механика прихвата бруйльных колон в нефтегазовых скважинах. – Алматы-Атырау: Изд-во «Эвро», **1999**. – 82 с.
- [10] Chernyaeva T.P., Ostapov A.V. Problems of Atomic Science and Technology // Ser. Physics of Radiation Effect and Radiation Material Science. – (87) 5, 16 (**2013**).
- [11] Zelensky V.F. Problems of Atomic Science and Technology // Ser. Nuclear Physics Investigations. – (85) 3, 76 (**2013**).
- [12] Lerch M.L.F., Petasecca M., Cullen A. et al. // Radiation Measurements 46, 1560 (**2011**).
- [13] Bezshyuko A., Vyshnevskiy I.M., Denisenko R.V. et al. // Nucl. Phys. At. Energy. – 12, N 4. – 400 (**2011**).
- [14] Гестрин С.Г., Сальников А.Н. Локализация экситонов Френкеля на дислокациях // Известие вузов. Физика. – **2005**. – № 7. – С. 23-25.
- [15] Tungatarov A., Akhmed-Zaki D.K. Cauchy problem for one class of ordinary differential equations // Int. J. of Mathematical Analyses. – **2012**. Vol. 6, N 14. – P. 695-699.
- [16] Meirmanov A. Mathematical models for poroelastic flows, Atlantis Press // Paris. – **2013**. – 478 p.
- [17] Kulpeshov B.Sh., Macpherson H.D. Minimality conditions on circularly ordered structures // Mathematical Logic Quarterly. – 51 (**2005**). – P. 377-399.
- [18] Kulpeshov B.Sh. On \aleph_0 -categorical weakly circularly minimal structures // Mathematical Logic Quarterly. – **2006**. – Vol. 52, issue 6. – P. 555-574.
- [19] Ерофеев В.Л., Семенов П.Д. Теплотехника. – М.: ИКЦ Академкнига, **2006**. – 488 с.
- [20] Луканин В.Н. Теплотехника. – М.: Высшая школа, **2002**. – 671 с.

REFERENCES

- [1] Kudaykulov A.K., Kenzheglov B.Z., Myrzasheva A.N. *Science and new technologies*, Bishkek, **2009**, 5, 17-2. (in Russ.).
- [2] Kudaykulov A.K., Tuleuova R., Amirtaev K.B., Tokkuliev B.M. *Proceedings Fifth All-Russian Scientific Conference with international participation. Samara*, **2008**, 1, 161-164. (in Russ.).
- [3] A.K. Kudaykulov. *Turkestan: Baiterek*. **2009**, 168p. (in Russ.).
- [4] Kenzheglov B.Z., Kudaykulov A.K., Myrzasheva A.N. *Proceedings of the universities*. Bishkek, **2009**, 4, 3-7. (in Russ.).
- [5] Zhukov, P.V. Materials XVI Int. науч.техн. Conf. Benardosovskie read "Status and prospects of development of electrotechnology". *Ivanovo*. **2011**, 2, 325-328. (in Russ.).
- [6] Tashenova J.M., Nurlybaeva E.N., Zhumadillaeva A.K., Kudaykulov A.K. The computational algorithm and simulation thermostressed state bar of heat-resistant alloy with heat exchange, thermal insulation and temperature constant intensity. *Basic research*. **2012**, 3, 3, 660-664. (in Russ.).
- [7] A.S. Ivanov. The mathematical analogy in continuum mechanics. *Monograph. Moscow, Moscow State Open University*, **2009**, 180 p. (in Russ.).
- [8] X. Gu, X. Dong, M. Liu, Y. Wang. Heat Transfer-Asian Research, *Wiley Online Library* **2012**. (in Eng.).
- [9] Aytaliev Sh.M., Kudaykulov A.K., Mardonov B. Mechanics sticking bruiynyh columns in oil and gas wells. *Atyrau-Almaty: Publishing "Evreux"*, **1999**, 82. (in Russ.).
- [10] Chernyaeva T. P. and Ostapov A. V., Problems of Atomic Science and Technology. Ser. Physics of Radiation Effect and Radiation Material Science, **2013**, 87, 5, 16 (in Eng.).
- [11] Zelensky V. F., Problems of Atomic Science and Technology. *Ser. Nuclear Physics Investigations* **2013**, 87, 3, 76 (in Eng.).
- [12] M.L.F. Lerch, M. Petasecca, A. Cullen et al., *Radiation Measurements* **2011**, 46, 1560 (in Eng.).
- [13] Bezshyuko A., Vyshnevskiy I.M., Denisenko R.V. et al., *Nucl. Phys. At. Energy* 12, **2011**, 4, 400 (in Eng.).
- [14] Gesterin S.G. *Izvestiy VUZ. Fizika*. **2005**, 7, 23-25. (in Eng.).
- [15] Tungatarov A., D.K. Akhmed-Zaki. *Int. J. of Mathematical Analyses*. **2012**, 6, 14, 695-699. (in Eng.).
- [16] Meirmanov A., Mathematical models for poroelastic flows, *Atlantis Press, Paris*, **2013**, 478p. (in Eng.).
- [17] Kulpeshov B.Sh., Macpherson H.D., Minimality conditions on circularly ordered structures. *Mathematical Logic Quarterly*, **2005**, 51, 377-399. (in Eng.).
- [18] Kulpeshov B.Sh., On \aleph_0 -categorical weakly circularly minimal structures. *Mathematical Logic Quarterly*, **2006**, 52, 6, 555-574. (in Eng.).
- [19] Yerofeyev V.L., Semenov P.D. *Heat. M.: ICC Akademkniga*. **2006**, 488. (in Russ.).
- [20] Lukanin V.N. *Teplotehnika. M.: Vishaiy shkola*. **2002**. 671 p. (in Russ.).

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМО-ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТЕРЖНЯ
ФИКСИРОВАННОЙ ДЛИНЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА И ТЕПЛООБМЕНА****М. Мусайф¹, М. О. Ногайбаева², А. К. Кудайкулов¹**¹Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан,²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан**Ключевые слова:** стержень, теплообмен, сечение, энергия, потенциал, деформация, температура.

Аннотация. В работе сначала методом минимизации полной тепловой энергии определяется поле распределения температуры по длине стержня, оба конца которого жестко заземлены. Частично теплоизолированные стержневые элементы в практике являются основными составляющими элементами многих машин и работают под воздействием осевых сил, переменной по координате температуры, теплового потока и теплообмена. При таких сложных воздействиях исследования термоупругого напряженно-деформируемого состояния частично теплоизолированных стержней становится весьма сложной задачей. Такие задачи возникают при проектировании машин, применяемых в металлургической, химической, нефтехимической, пищевой, мясо-молочной и во многих других видах промышленности, где рабочие органы, помимо механической нагрузки, испытывают и температурные напряжения, которые неизбежны в силу принципа и назначения работы этих машин.

При этом учитывается наличие частичной теплоизоляции, теплового потока и теплообмена. Далее подставляя найденный закон распределения температуры в выражение функционала потенциальной энергии упругой деформации и минимизируя его по узловым значениям упругих перемещений, применяемых дискретных квадратичных конечных элементов, строится разрешающая система линейных алгебраических уравнений. Решением последней определяются поле упругих перемещений компонентов деформаций и напряжений, а также значения возникающего сжимающего усилия и термо-упругого напряжения. Рассмотрены различные варианты.

Поступила 25.02.2015 г.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz
physics-mathematics.kz

Редактор *М. С. Ахметова*
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 9.06.2015.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
15,7 п.л. Тираж 300. Заказ 3.