

BIR JINSLI BO‘LMAGAN MURAKKAB OSESIMMETRIK JISMDA NOSTATSIONAR ISSIQLIK TARQALISH MASALASINI CHEKLI ELEMENTLAR USULIDA SONLI MODELLASHTIRISH

Sh.O.Sapayev – tayanch doktorant

Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston milliy universiteti

Tayanch so‘zlar: osesimmetrik, nostatsionar, silindirik koordinatalar, diskret model, temperatura.

Ключевые слова: осесимметричный, нестационарный, цилиндрические координаты, дискретная модель, температура.

Key words: axisymmetric, non-stationary, cylindrical coordinates, discrete model, temperature.

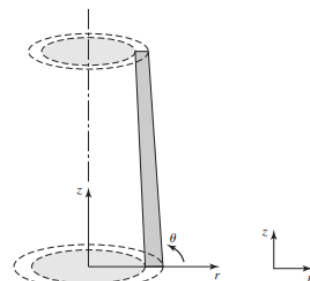
1. Kirish. Hozirgi kunda murakkab geometrik shaklga ega jismlardagi issiqlik tarqalishini o‘rganish muhandislik va texnika sohalarida dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Bunday masalalar, ayniqsa, issiqlik uzatish, energiya tejamlorligi, mexanik tizimlarning termik tahlili va boshqa ko‘plab amaliy jarayonlarda muhim ahamiyat kasb etadi. Murakkab shakldagi jismlarda issiqlikning tarqalishini aniqlash klassik analitik usullar bilan yechishda qiyinchiliklar yuzaga keladi. Shu sababli sonli usullar, xususan, chekli elementlar usuli (ChEU) kabi ilg‘or usullardan foydalanish bu turdagi masalalarni samarali hal qilish imkoniyatini yaratadi. Mazkur ishda bir jinsli bo‘lmagan, murakkab osesimmetrik shakldagi jismda nostatsionar issiqlik tarqalishi masalasi ChEU yordamida sonli tahlil qilinadi. Ushbu yondashuv murakkab shakldagi jismlarda harorat taqsimotini aniq va ishonchli modellashtirish uchun qulay imkoniyatlar taqdim etadi. Shuningdek, tadqiqot natijalari issiqlik uzatish jarayonlarini yanada chuqurroq tushunish va amaliyotda qo‘llash imkoniyatlarini ochib beradi. Mazkur [1-4] adabiyotda bir qator ikki o‘lchovli va uch o‘lchovli eksenel yoki markaziy simmetriyaga ega masalalarni bir o‘lchovli va ikki o‘lchovli elementar sohalariga keltirib sonli usullar yordamida yechish usullari ko‘rib chiqilgan.

2. Masalaning qo‘yilishi. Osesimmetrik nostatsionar issiqlik tarqalish masalasi silindirik koordinatalar sistemasi (r, z, θ) quyidagi differensial tenglama bilan aniqlanadi[1]:

$$K_{rr} \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} K_{rr} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{K_{\theta\theta}}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + K_{zz} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + Q = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

bu yerda $T = T(r, z, \theta, t)$ - temperatura maydoni; $K_{rr}, K_{\theta\theta}, K_{zz}$ - mos yo‘nalishlardagi issiqlik o‘tkazish koeffitsientlari; $Q = Q(r, z, \theta, t)$ - jism ichidagi issiqlik manbalarining quvvati; ρ - materialining zichligi; c - materialning issiqlik sig‘imi; r - simmetriya o‘qidan elementning markazigacha bo‘lgan masofa; θ - azimutal burchak. Agar uch o‘lchamli jism Oz o‘qqa nisbatan geometrik simmetriyaga ega bo‘lsa, u holda bu jism osesimmetrik jism deb ataladi(1-rasm). Bundan tashqari, o‘rganilayotgan fizik miqdor θ azimutal burchakga bog‘liq bo‘lmasa, u holda (1) differensial tenglama quyidagicha bo‘ladi[5]:

$$K_{rr} \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} K_{rr} \frac{\partial T}{\partial r} + K_{zz} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + Q = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (2)$$



1-rasm. Osesimmetrik jism ko‘rinishi.

Issiqlik o‘tkazuvchanligi (2) tenglamasi jarayon rivojlanishining ko‘plab variantlarini tavsiflaydi. Bu variantlarning birini tanlash va uning to‘liq matematik tavsifini berish uchun (2) munosabatga geometrik, fizik, boshlang‘ich va chegaraviy shartlarni o‘z ichiga olgan yagonalik shartlarini qo‘shish kerak.

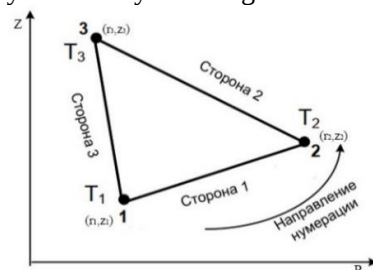
Masalani yechish uchun uning variatsion ko‘rinishi ko‘rib chiqiladi, bu esa taqribiy yechish usullaridan foydalanishga imkon beradi, ulardan biri chekli elementlar usulidir. Masalaning funksional qo‘yilishi [1] quyidagi shaklda tasvirlanadi:

$$\Phi = \int_V \frac{1}{2} \left[r K_{rr} \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 + r K_{zz} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 - 2r Q T + 2\rho c \frac{\partial T}{\partial t} T \right] dV + \int_{S_1} q T dS + \int_{S_2} \frac{h}{2} (T - T_b)^2 dS \quad (3)$$

bu yerda V – hajm; q – issiqlik oqimi; h – tashqi muhit bilan issiqlik almashinish koeffitsienti; T_b – tashqi muhit temperaturasi; S_1 - issiqlik oqimi berilgan sirt yuzasi;

S_2 - konvektiv issiqlik almashinuvi sodir bo‘ladigan sirt yuzasi.

3. Masalaning chekli-elementli yechimi. ChEU da ko‘rib chiqilayotgan jism egallagan maydon kichik chekli elementlarga bo‘linadi. Chekli element sifatida uchburchak element tanlangan(2-rasm). Har bir chekli element ichida temperaturaning approksimatsiya funksiyalari alohida tuziladi. Asosiy noma‘lumlar sifatida, tugun nuqtalaridagi temperatura tanlanadi. Kichik maydondagi temperaturalarining approksimatsiyasi eng oddiy funksiyalardan foydalanishga imkon beradi.



2-rasm. Uchburchak chekli element

Uchburchak (e) element ichidagi temperatura chiziqli ko'pxad bilan approksimatsiya qilinadi[6]:

$$T^{(e)}(r, z, t) = \alpha_1 + \alpha_2 r + \alpha_3 z \quad (4)$$

Temperatura funksiyasi quyidagi formula bilan beriladi:

$$T^{(e)} = [N_1(r, z, t) N_2(r, z, t) N_3(r, z, t)] \begin{Bmatrix} T_1(t) \\ T_2(t) \\ T_3(t) \end{Bmatrix} \quad (5)$$

Ushbu chekli elementga quyidagi shakl funksiyalari qo'llaniladi:

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{1}{2 \cdot A} [a_1 + b_1 \cdot r + c_1 \cdot z], \\ N_2 &= \frac{1}{2 \cdot A} [a_2 + b_2 \cdot r + c_2 \cdot z], \\ N_3 &= \frac{1}{2 \cdot A} [a_3 + b_3 \cdot r + c_3 \cdot z], \end{aligned} \quad (6)$$

Chekli elementning yuzasi quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$A = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & r_1 & z_1 \\ 1 & r_2 & z_2 \\ 1 & r_3 & z_3 \end{vmatrix},$$

Shakl funksiyalariga kiritilgan koeffisientlar tugunlarning koordinatalariga bog'liq bo'lib, ular quyida keltirilgan [7]:

$$\begin{aligned} a_1 &= r_2 \cdot z_3 - r_3 \cdot z_2, & a_2 &= r_3 \cdot z_1 - r_1 \cdot z_3, & a_3 &= r_1 \cdot z_2 - r_2 \cdot z_1, \\ b_1 &= z_2 - z_3, & b_2 &= z_3 - z_1, & b_3 &= z_1 - z_2, \\ c_1 &= r_3 - r_2, & c_2 &= r_1 - r_3, & c_3 &= r_2 - r_1. \end{aligned}$$

$[B^{(e)}]$ - gradiyent matritsani ham yozib olish mumkin:

$$[B^{(e)}] = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Jismning issiqlik o'tkazuvchanlik matritsasi quyidagicha:

$$[D^{(e)}] = \begin{bmatrix} \bar{r}K_{rr}^{(e)} & 0 \\ 0 & \bar{r}K_{zz}^{(e)} \end{bmatrix} \quad (8)$$

bu yerda $\bar{r} = (r_1 + r_2 + r_3)/3$ simmetriya o'qidan elementning markazigacha bo'lgan masofani anglatadi.

e - element uchun vaqtga nisbatan differensial tenglama quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = [N(r, z, t)]_e \frac{\partial}{\partial t} \{T\}_e \quad (9)$$

Barcha m ta sonli chekli elementlar uchun (3) ifodaga (4) - (9) ifodalarni qo'yib quyidagini hosil qilish mumkin:

$$\begin{aligned} \Phi &= \sum_{e=1}^m \left[\frac{1}{2} \cdot \int_{V^{(e)}} \{g^{(e)}\}^T \cdot [D^{(e)}] \cdot \{g^{(e)}\} dV - \right. \\ &- \int_{V^{(e)}} \left(rQ^{(e)} - \lambda \frac{\partial T}{\partial t} \right) \cdot T^{(e)} dV + \int_{S_1^{(e)}} T^{(e)} \cdot q^{(e)} dV + \\ &\left. + \int_{S_2^{(e)}} \frac{1}{2} \cdot [(T^{(e)} - T_b)^2] \cdot h^{(e)} dS \right] \end{aligned} \quad (10)$$

(10) funksionalni minimallashtirish natijasida quyidagi tenglamalar sistemasi hosil bo'ladi:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \{T\}} = \frac{\partial}{\partial \{T\}} \sum_{e=1}^m \Phi_e = \sum_{e=1}^m \frac{\partial \Phi_e}{\partial \{T\}} = 0 \quad (11)$$

Har bir chekli elementning (11) umumiy yig'indiga qo'shgan hissasini matritsali differensial munosabat sifatida ifodalash mumkin:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_e}{\partial \{T\}} = \{Q\} &= [C]_e \frac{\partial}{\partial t} \{T\}_e + \\ &+ [K]_e \{T\}_e - \{Q\}_e^q - \{Q\}_e^g - \{Q\}_e^h \end{aligned} \quad (12)$$

bu yerda, elementning issiqlik o'tkazuvchanlik matritsasi:

$$[K]_e = \int_{V_e} [B]_e^T [D]_e [B]_e dV + \int_{S_{3e}} h [N]_e^T [N]_e dS, \quad (13)$$

elementning issiqlik sig'imi matritsasi:

$$[C]_e = \int_{V_e} \rho c [N]_e^T [N]_e dV. \quad (14)$$

Tugun nuqtadagi issiqlik oqimi vektorlari mos ravishda q zichlikdagi issiqlik oqimi, Q issiqlik manbasi va konvektiv issiqlik o'tkazuvchanlik quyidagicha:

$$\{Q\}_e^q = - \int_{S_{2e}} q [N]_e^T dS \quad (15)$$

$$\{Q\}_e^g = \int_{V_e} \bar{r} Q [N]_e^T dV \quad (16)$$

$$\{Q\}_e^h = \int_{S_{3e}} h T_\infty [N]_e^T dS \quad (17)$$

Barcha elementlarning hissalarini (11) umumlash- tirib, differensial tenglamalar sistemasi hosil qilinadi:

$$[C] \frac{\partial}{\partial t} \{T\} + [K] \{T\} = \{Q\}^q + \{Q\}^g + \{Q\}^h \quad (18)$$

bunda $[K]$ - umumlashgan issiqlik o'tkazuvchanlik matritsasi; $[C]$ - umumlashgan issiqlik sig'imi matritsasi; $\{Q\}^q$ - tugun nuqtadagi issiqlik oqimi vektorlari; $\{Q\}^g$ - tugun nuqtadagi issiqlik manbasi vektori; $\{Q\}^h$ - tugun nuqtadagi konvektiv issiqlik o'tkazuvchanlik vektori. (18) differensial tenglamani markaziy ayirma sxemasidan foydalangan holda chekli ayirmalar usuli bilan yechilishini ko'rib chiqamiz. Ushbu tenglama quyidagi shaklda yoziladi:

$$[C] \frac{\partial}{\partial t} \{T\} + [K] \{T\} = \{Q\} \quad (19)$$

bunda $[Q] = \{Q\}^q + \{Q\}^g + \{Q\}^h$.

$\Delta t = t_{n+1} - t_n$ vaqt oralig'ining o'rta nuqtadagi umumlashgan $\{T\}$ vektoring hosilasi quyidagicha ifodalaniladi.

$$\frac{\partial}{\partial t} \{T\} = \frac{1}{\Delta t} (\{T\}_{n+1} - \{T\}_n) \quad (20)$$

Vaqt oralig'ining shu o'rta nuqtasida umumlashgan temperatura va tugun nuqtaviy yuklanish vektori quyidagicha hisoblanadi:

$$\{T\} = \frac{1}{2}(\{T\}_{n+1} + \{T\}_n) \quad (21)$$

$$\{Q\} = \frac{1}{2}(\{Q\}_{n+1} + \{Q\}_n) \quad (22)$$

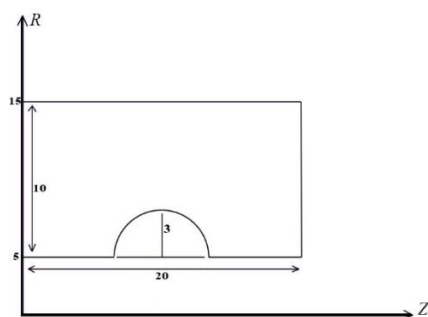
(19) differensial tenglamaga (20) - (22) ifodalarni qo'yib, quyidagi rekurent formulani olamiz.

$$\left([K] + \frac{2}{\Delta t}[C]\right)\{T\}_{n+1} = \left(\frac{2}{\Delta t}[C] - [K]\right)\{T\}_n + 2\{Q\} \quad (23)$$

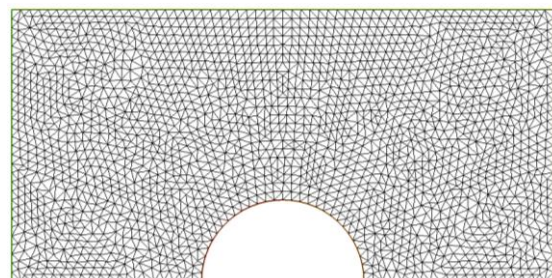
Vaqt oralig'ining boshida tugun nuqtadagi temperaturasi bilgan holda, (23) formuladan foydalanib vaqt oralig'ining oxiridagi temperaturasi aniqlash mumkin. Termofizik xossalar (issiqlik o'tkazuvchanlik koefitsienti, solishtirma issiqlik sig'imi, konveksiya paytida issiqlik o'tkazuvchanlik koefitsiyenti) temperaturaga bog'liq bo'lmaganda $[K]$, $[C]$, $\{Q\}$ - matritsalar (23) tenglama yechilguncha hisoblanadi. Agar termofizik xususiyatlar temperaturaga bog'liq bo'lsa, u holda tenglama nochiziqli bo'ladi va uni iteratsiya usullari bilan yechish kerak.

4. Hisoblash eksperimenti va natijalarini muhokama qilish.

1-masala. Po'latdan yasalgan osesimmetrik jismda issiqlik tarqalishining nostatsionar masalasi ko'rib chiqiladi, bu yerda jismdagi harorat taqsimotini aniqlash kerak. Osesimmetrik jismning kesimi ko'rinishi va o'lchamlari 3.a-rasmda keltirilgan. Jismning ichki yuzasidan doimiy 100°C issiqlik berilgan. Yon sirtlardan 20°C tashqi muhit bilan issiqlik almashinish mavjud. Tashqi muhit bilan issiqlik almashinish koefitsiyenti $h=10\text{W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Jismning boshlang'ich ($t=0\text{s}$) harorati 20°C . Po'lat quyidagi termofizik xususiyatlarga ega: $\lambda=46\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$, $\rho=7800\text{kg}/\text{m}^3$, $c=460\text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$.



a



b

3-rasm. Osesimmetrik jism kesimi va chekli elementlar to'ri

Olingan natijalarning ishonchlilikini tekshirish uchun chekli elementlar soniniko'paytirishning yechimlarning yaqinlashuviga ta'sirini sonli o'rganish bilan bog'liq hisoblash tajribasi o'tkazildi. 1-jadvalda turli variant-

larda diskret modelidagi chekli elementlar va tugunlar soni keltirilgan.

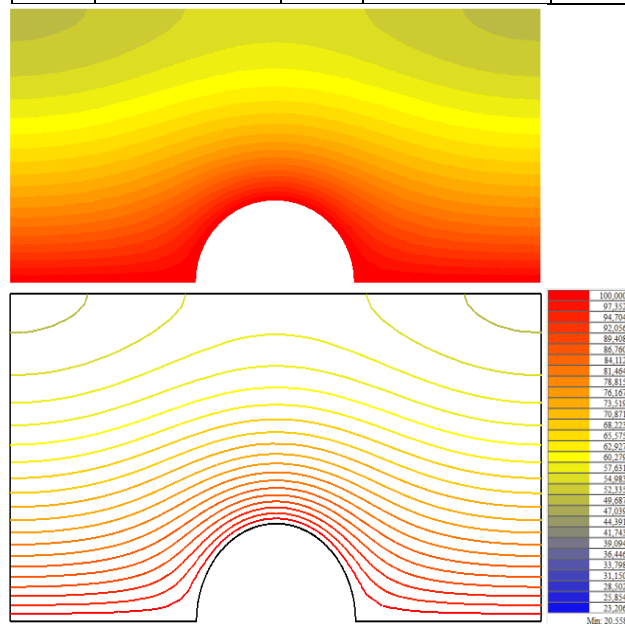
1-jadval. Chekli elementlar va tugunlar soni

Variantlar	1	2	3	4
chekli elementlar	156	622	1388	2492
tugun nuqtalar	98	350	752	1323

Nazorat nuqtalarining 60 sekundagi harorat ko'rsatkichlari 2-jadvalda keltirilgan (vaqtqadami $\Delta t = 6\text{s}$). Eksperimental natijalarni tahlil qilish, chekli elementlar soni orttirilgani sababli, harorat qiymatlarining yaqinlashishini tasdiqlaydi. 3.b-rasmda chekli elementlar to'ri rining 4-varianti keltirilgan. Harorat maydonning 60-sekundagi 4-variant diskret modelida yechilgan masalaning sonli natijalari vizualizatsiyasi va izotermalari 4-rasmda berilgan.

2-jadval. 60 sekundagi nazorat nuqtalaridagi harorat ($^\circ\text{C}$)

Vari ant	Koordinata (10sm, 10sm)	%	Koordinata (20sm, 15sm)	%
1	75,823	4,3	50,297	6,4
2	72,554		47,062	
3	71,108	1,9	45,394	3,5
4	71,005	0,14	45,494	0,22



4-rasm. Harorat maydonning 60-sekundagi vizualizatsiyasi va izotermalari

2-masala. O'zichiga ikki qo'shimcha qoplamani olgan osesimmetrik mis jismda nostatsionar issiqlik tarqalish masalasi ko'rib chiqiladi (1,5.a-rasm). Jismning ichki yuzasidan doimiy 100°C issiqlik berilgan. Yon sirtlardan 0°C tashqi muhit bilan issiqlik almashinish mavjud. Tashqi muhit bilan issiqlik almashinish koefitsiyenti $h=10\text{W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Jismning boshlang'ich ($t=0\text{s}$) harorati 50°C . Mis quyidagi termofizik xususiyatlarga ega: $\lambda_1=384\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$, $\rho_1=8800\text{kg}/\text{m}^3$, $c_1=381\text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$

Qo'shimcha qoplama materialining termofizik parametrlari: po'lat (2, 5.a-rasmda):

$$\lambda_2 = 46 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C}), \rho_2 = 7800 \text{ kg} / \text{m}^3, c_2 = 460 \text{ J} / (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

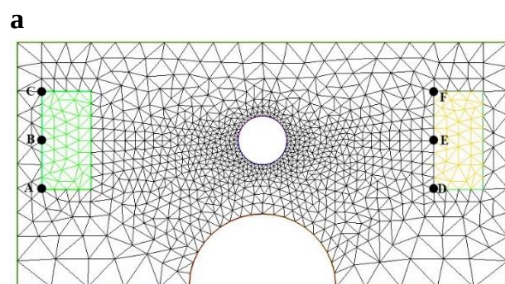
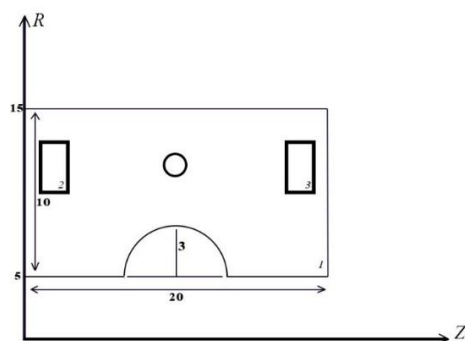
va temir (3, 3.a-rasmda):

$$\lambda_3 = 71 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C}), \rho_3 = 7900 \text{ kg} / \text{m}^3, c_3 = 460 \text{ J} / (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Bir jinsli bo'lmagan osesimmetrik jism kesimining chekli elementli to'ringing umumiy ko'rinishi 5.b-rasmda keltirilgan.

3-jadval. Temperatura maydoning sonli qiymatlari

Nuqtalar (sm)	A (1, 9)	B (1, 11)	C (1, 13)	D (17, 9)	E (17, 11)	F (17, 13)
Bir jinsli	96,554	95,433	94,719	96,697	95,548	94,791
Bir jinsli bo'lmagan	96,478	94,418	93,295	96,698	94,957	93,751



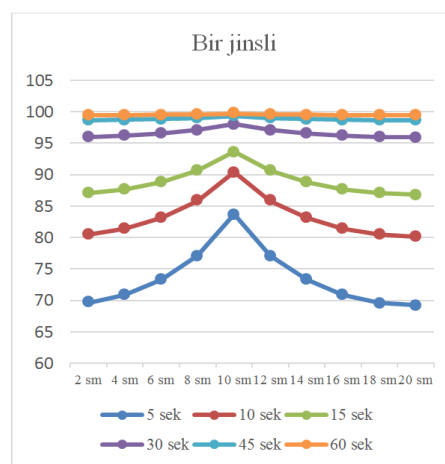
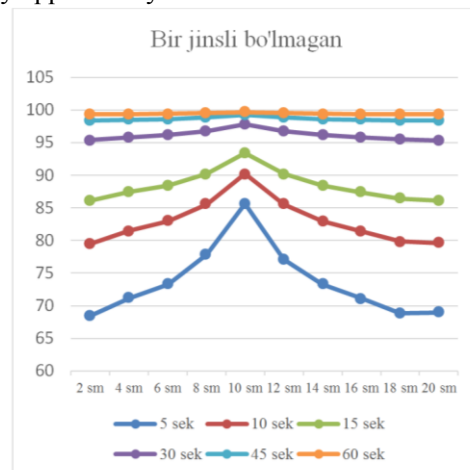
b

5-rasm. Osesimmetrik jismning kesimi
vacheklielementlarto'ri

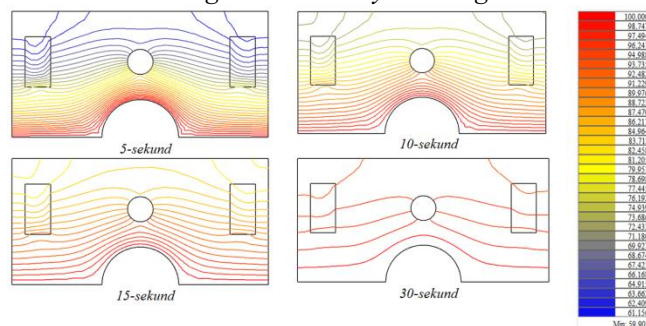
Masalani yechishda foydalaniladigan chekli elementlar to'ri quyidagi parametrlarni o'zichiga oladi: 979 tatugunnuqta, 1848 tachecklielement, tenglamalar sistemasining o'lchamin = 979, nolga teng bo'lmagan elementlar joylashgan lentaning kengligi 34 gateng, yakuniy hisoblash vaqti esa 600 sekundni tashkil etadi. 3-jadvaldat=30 sekundagiosesimmetrik jism kesimining nazorat nuqtalaridagi bir jinsli bo'lgan vabirjinsli bo'lmagan holatdagi sonli qiymatlari taqqoslanadi. Berilgan natijalar shuni ko'rsatadiki temir va po'lat materiallarining fizik xususiyatlari turli bo'lgani sabab temperature qiymatlari farqli ko'rinishda.

Bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan osesimmetrik jismlarning $t = 5, 10, 15, 30, 45$ va 60 sekundlardagi temperatura o'zgarishlari $r=10$ sm bo'lgandagi grafiklari 6-rasmda ko'rsatilgan. Masala natijalarini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, ChEU bilan yechish uchun ishlab chiqilgan algoritim osesimmetrik jismning geometrik va fizik parametrlarini to'g'ri hisobga oladi. Temperaturani taqsimlanishining egri chiziqlarini(6-rasm) taqqoslash shuni ko'rsatadiki, vaqt o'tishi bilan natijaviy egri chiziqlar barqarorlashadi. Aniqlikni ta'minlash

maqsadida, 7-rasmda $t = 5, 10, 15$ va 30 sekundlardagi izotermalar tasvirlangan. Vaqt o'tishi bilan bir jinsli bo'lmagan osesimmetrik jismda qo'shimchalarning ta'siri yaqqol namoyon bo'lishi kuzatiladi.



6-rasm. Jism temperaturasining
 $r=10$ sm gorizontali bo'yicha o'zgarishi



7-rasm. $t = 5, 10, 15$ va 30
sekundlardagi izotermalar

Xulosa. Osesimmetrik jismdan ostatsionar issiqlik tarqalishi masalasining yechish algoritmi to'g'riligini tekshirish maqsadida elementlar soni ko'paytirish orqali hisoblash tajribasi o'tkazildi. Bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan osesimmetrik jismda nostatsionar issiqlik tarqalish masalalari yechildi va nazorat nuqtalaridagi temperatura qiymatlari aniqlanib tahlil qilindi. Natijalar shuni ko'rsatadiki materiallarining fizik xususiyatlari turli va jismda aylana kesimli bo'shliq bo'lgani sababli temperatura maydoni qayta taqsimlanadi.

Adabiyotlar

1. Сергерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – Москва: «Мир», 1979. – С.392.
2. Немировский Ю.В., Мозгова А.С. Теплопроводность многослойных сферических конструкций. Современные вопросы механики сплошных сред. 2021. сб. ст. по материалам III Международной конференции (23–24 ноября 2021 г., г. Чебоксары). - Чебоксары: ИД «Среда», 2021. –С. 196.
3. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. –Москва: «Едиториал УРСС», 2003. –С. 784.
4. Сагдеева Ю.А., Копысов С.П., Новиков А.К. Введение в метод конечных элементов. Методическое пособие. – Ижевск: «Удмуртский университет», 2011.
5. Волков Е.А., Численные методы: Учебное пособие для вузов. 2-е изд., испр. -М.: «Наука». Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. –С.248.
6. Lulut Alfaris, Ruben Cornelius Siagian, Aldi Cahya Muhammad, Ukta Indra Nyuswantoro, and Budiman Nasution. Heat Conduction in Cylindrical Coordinates with Time-Varying Conduction Coefficients: A Practical Engineering Approach. Journal of Mechanical Engineering Science and Technology Vol.7, № 2, November 2023, -P. 5-26.
7. Polatov A., Ikramov A., Sapayev Sh., Odilov J. Study of the Effect of Geometrical Features on the Temperature Field of a Cylindrical Structure. International Scientific Conference on Modern Problems of Applied Science and Engineering (MPASE2024). AIP Conference Proceedings 3244,020017 (2024); <https://doi.org/10.1063/5.0241776> Published by AIP Publishing.

REZYUME. Maqolada chekli elementlar usuliga asoslanib, bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan osesimmetrik jismlarda issiqlik tarqalishining nostatsionar masalalarini yechishning sonli modeli ishlab chiqilgan, masalani yechish algoritmi va dasturiy ta'minoti yaratilgan.

РЕЗЮМЕ. В статье на основе метода конечных элементов разработана численная модель решения нестационарных задач распределения тепла в однородных и неоднородных осесимметричных телах, созданы алгоритм и программное обеспечение для решения задачи.

SUMMARY. The article develops a numerical model for solving non-stationary problems of heat dissipation in homogeneous and non-homogeneous axisymmetric bodies based on the finite element method, and creates an algorithm and software for solving the problem.

UDK: 66.095.21

GIDROIZOMERIZACIYA PROCESI – ZAMANAGÓY, EKOLOGIYALÍQ TAZA BENZIN FRAKCIYALAR ALÍWDÍŇ TIYKARGÍ USÍLÍ SÍPATÍŇDA

S.O.Svaykosov – *texnika ilimleri boyınsha filosofiya doktori, docent*

P.Turdimuratov – *magistrant*

Berdaq atındaǵı Qaraqalpaq mámleketlik universiteti

M.J.Maxmudov – *texnika ilimleri doktori (DSc), professor*

Buxara injenerlik-texnologiya instituti

Tayanch so'zlar: yoqilg'ı, benzin, aromatik uglevodorodlar, benzol, gidroizomerizatsiya.

Ключевые слова: топливо, бензин, ароматические углеводороды, бензол, гидроизомеризация.

Key words: fuel, gasoline, aromatic hydrocarbons, benzene, hydroisomerization.

Kirisiw. Avtomobil benzinlerinde benzoldı azaytıw usılları. Zamanagóy neftti qayta islew sanaatın rawajlandırıwdıń tiykargı baǵdarı motor janılǵılarınıń ekologiyalıq qawıpsızlıǵın asırıw bolıp tabıladı. Avtomobil benzinleri ushın zamanagóy ekologiyalıq standartlar talaplarında aromatikalıq uglevodorodlardıń maksimal muǵdarı 35 %, sonıń ishinde, benzol bolsa 1 % dárejesinde bolıwı qatań belgilep qoyılǵan. Mısalı: Rossiyada kommerciyalıq benzinleri quramına 50% ka shekem, AQShta bolsa 30% ke shekem katalitikalıq riforming benzini komponentleri qosıladı. Olardıń oktan sanları bolsa aromatikalıq uglevodorodlardıń joqarı muǵdarı menen támiyinlenedi. Riforming processı benzinlerinen aromatikalıq uglevodorodlardı kemeytiwdiń zamanagóy hám perspektivalı usıllarınıń kópshiligi, birinshi nábette, benzoldı eń zárharlı komponent retinde ajratıp alıwǵa qaratılǵan. Ulıwma alǵanda eki bir-birinen túpten parq etiwshi baǵdar házir de qollanılp atır.

Birinshi baǵdarda, katalitikalıq riforming shiyki ónimin dáslepki frakciyalawǵa tiykarlangan (62-180°C qaynaw shegarası bolǵan, tuwrıdan-tuwrı aydap alıńǵan frakciya, quramında benzol prekursorları bolǵan hám C₆ uglevodorodların saqlaǵan). Shiyki ónimdi dáslepki frakciyalawǵa tiykarlangan texnologiyalardı ámelge asırıw júdá durıs, biraq olar bir neshe kemshilikler sebepli sanaatta keńnen qollanılmaydı, sebebi:

- birinshiden, olardan paydalanǵanda jeńil yaǵnıy joqarı oktanlı komponentler islep shıǵarıw kólemi sezilerli dárejede azayadı, bul bolsa tovar benzinlerdiń sapasına unamsız tásir etedi.

- ekinshiden, riforming ónimlerindegi benzol muǵdarı keń frakciyanı (62-180 °C tuwrıdan-tuwrı aydap alıńǵan frakciya) qayta islew variantlarına salıstırǵanda 60-70% dan aspaydı.

- úshinshiden, tómén oktanlı arnawlı shiyki ónim frakciyasınan paydalanıw mashqalası ámeldegi jáne onı sap formada birlestiriwge baǵdarlaw múmkin emes [1].