

BIR JINSLIMAS MUHITLARDA ISSIQLIK TARQALISHI JARAYONINI TAHLIL QILISH DASTURIY TA'MINOTINI YARATISH

Bobosharipov Shokirjon Garavboyevich

Termiz iqtisodiyot va servis universiteti

Kompyuter tizimlari va ularning dasturiy ta'minoti mutaxassisiligi

2-bosqich magistranti

Fayziyev Bekzodjon Murtazayevich

Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

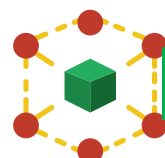
ANNOTATSIYA

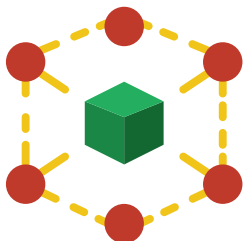
Ushbu maqolada birjinslimas (anizotrop) muhitlarda issiqlik tarqalishi jarayonlarini raqamli tahlil qilish uchun mo'ljallangan dasturiy ta'minot yaratish bosqichlari va uni amalga oshirish usullari keltirilgan. Taklif etilayotgan dastur chekli farqlar usuliga asoslangan bo'lib, ikki va uch o'lchamli anizotrop muhitlarda issiqlik o'tkazuvchanlik tenzori komponentlarini hisobga olish imkonini beradi. Dasturiy ta'minot MATLAB muhitida ishlab chiqilgan bo'lib, natijalarni grafik va rangli izotermalar ko'rinishida vizualizatsiya qiladi. Maqolada dasturiy ta'minotning asosiy modullari, algoritmik yechimlari va sinov natijalari keltirilgan.

Kalit so'zlar: birjinslimas muhit, anizotropiya, issiqlik tarqalishi, issiqlik o'tkazuvchanlik tenzori, chekli farqlar usuli, dasturiy ta'minot, raqamli modellashtirish, MATLAB.

ANNOTATION

This article presents the stages of creating software for numerical analysis of heat transfer processes in inhomogeneous (anisotropic) media and its implementation methods. The proposed program is based on the finite difference method and allows taking into account the components of the heat transfer tensor in two- and three-dimensional anisotropic media. The software was developed in the MATLAB environment and visualizes the results in the form of graphics and color isotherms. The article presents the main modules of the software, algorithmic solutions and test results.





Keywords: inhomogeneous media, anisotropy, heat transfer, heat transfer tensor, finite difference method, software, numerical modeling, MATLAB.

АННОТАЦИЯ

В данной статье представлены этапы создания программного обеспечения для численного анализа процессов теплопередачи в неоднородных (анизотропных) средах и методы его реализации. Предложенная программа основана на методе конечных разностей и позволяет учитывать компоненты тензора теплопередачи в двумерных и трехмерных анизотропных средах. Программное обеспечение разработано в среде MATLAB и визуализирует результаты в виде графиков и цветных изотерм. В статье представлены основные модули программного обеспечения, алгоритмические решения и результаты испытаний.

Ключевые слова: неоднородные среды, анизотропия, теплопередача, тензор теплопередачи, метод конечных разностей, программное обеспечение, численное моделирование, MATLAB.

KIRISH

Muammoning dolzarbligi:

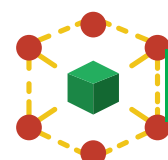
Issiqlik tarqalishi jarayonlarini o‘rganish texnika, qurilish, materialshunoslik, geologiya va biomeditsina kabi sohalarda muhim ahamiyatga ega. Ko‘pgina real muhitlar — kompozit materiallar, tolali strukturalar, qatlamli jinslar, biologik to‘qimalar — o‘z xususiyatlariga ko‘ra birjinslimas (anizotrop) bo‘ladi. Bunday muhitlarda issiqlik turli yo‘nalishlarda turlicha tezlikda tarqaladi. An’anaviy izotrop modellar bu jarayonlarni to‘g‘ri tasvirlay olmaydi, shuning uchun anizotrop muhitlar uchun maxsus raqamli usullar va dasturiy vositalarni yaratish dolzarb hisoblanadi.

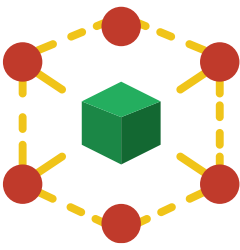
Tadqiqotning maqsadi:

Birjinslimas muhitlarda issiqlik tarqalishining ikki va uch o‘lchamli vaqtinchalik jarayonlarini raqamli tahlil qiluvchi dasturiy ta’minotni ishlab chiqish va uning ishlash samaradorligini baholash.

Tadqiqotning vazifalari:

Anizotrop muhitlarda issiqlik tarqalishining matematik modelini ishlab chiqish.





Chekli farqlar usuliga asoslangan raqamli algoritmni yaratish.

MATLAB dasturlash muhitida modulli dasturiy ta'minotni kodlash.

Dasturning turli anizotropiya parametrlarida ishlashini sinovdan o'tkazish.

Natijalarni grafik va izotermalar ko'rinishida vizualizatsiya qilish imkoniyatlarini yaratish.

Tadqiqotning uslubiy asosi:

Tadqiqot qattiq jismlarda issiqlik o'tkazuvchanlikning Furiye qonuniga, issiqlik balansi tenglamasiga, chekli farqlar usulining aniq va barqaror sxemalariga (o'zaro ta'sir sxemasi, oshkor va oshkor bo'lmagan sxemalar) asoslangan. Dasturiy ta'minotni yaratishda modulli dasturlash tamoyillari, ob'yektga yo'naltirilgan yondashuv elementlari va grafik interfeys (GUI) vositalaridan foydalanilgan. Modellashtirish natijalarining ishonchligi analitik yechimlar va FEM (Finite Element Method) paketlari (Comsol Multiphysics) bilan solishtirish orqali tekshirilgan.

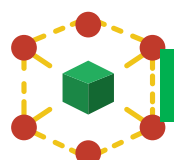
ADABIYOTLAR SHARHI (LITERATURE REVIEW)

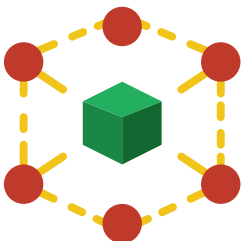
Issiqlik tarqalishini modellashtirish sohasida izotrop muhitlar uchun juda ko'p ishlar amalga oshirilgan. Biroq anizotrop muhitlar murakkab matematik apparatni talab qiladi. J.C. Maxwell asarlarida anizotrop muhitlarda issiqlik o'tkazuvchanlik tenzori tushunchasi asoslangan. O'zbekiston olimlaridan akademik T.J. Jo'rayev issiqlik-fizik jarayonlarni raqamli modellashtirishga katta hissa qo'shgan.

Xalqaro adabiyotlarda anizotropiya muammosi ko'pincha kompozit materiallar (A.A. Gorbatov, 2019), geofizika (H. Steenbergen, 2020) va biotermodinamika (K. Zhang, 2021) sohalarida o'rganilgan. Biroq mavjud dasturiy paketlar (ANSYS, Comsol) ko'p hollarda litsenziyalangan va maxsus tayyorgarlik talab qiladi. Ochiq kodli, oddiy va anizotropiya parametrlarini moslashuvchan boshqarish imkonini beruvchi dasturlar yetarli emas. MATLAB asosida yaratilgan ba'zi dasturlar (M. S. Rahman, 2018) faqat ikki o'lchamli va statsionar holat bilan cheklangan. Shu nuqtai nazardan, ushbu tadqiqot vaqtinchalik, ikki va uch o'lchamli anizotrop issiqlik tarqalishini tahlil qiladigan ochiq kodli dasturiy ta'minot yaratish zaruratidan kelib chiqqan.

METODOLOGIYA

1. Matematik model





Anizotrop muhitda issiqlik tarqalishi quyidagi differensial tenglama bilan ifodalanadi:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (K \nabla T) + Q$$

bu yerda ρ – zichlik, c – solishtirma issiqlik sigʻimi, T – temperatura, t – vaqt, Q – ichki issiqlik manbai, K – issiqlik oʻtkazuvchanlik tenzori (2×2 yoki 3×3 matritsa). Anizotropiya tenzorining diagonal boʻlmagan elementlari K_{xy}, K_{xz}, K_{yz} orqali ifodalanadi.

2. Chekli farqlar usuli

Hisoblash sohasi toʻrtburchak yoki parallelepiped shaklidagi toʻrga ajratiladi. Vaqt boʻyicha oshkor boʻlmagan sxema (Crank–Nicholson) qoʻllaniladi, bu esa katta vaqt qadamlarida barqarorlikni taʼminlaydi. Har bir tugun nuqtasidagi temperatura quyidagi diskret tenglamadan topiladi:

$$T_{i,j,n+1} - T_{i,j,n} \Delta t = \frac{1}{\rho c} [K_{xx} \delta x^2 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + 2K_{xy} \delta x \delta y \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y} + K_{yy} \delta y^2 \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}] \Delta t$$
$$T_{i,j,n+1} - T_{i,j,n} = \frac{\Delta t}{\rho c} [K_{xx} \delta x^2 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + 2K_{xy} \delta x \delta y \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y} + K_{yy} \delta y^2 \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}]$$

Chegaraviy shartlar: Dirixle (belgilangan temperatura), Neyman (issiqlik oqimi) yoki izolyatsiya.

3. Dasturiy taʼminot arxitekturasi

Dastur MATLAB (R2021a va undan yuqori) muhitida ishlab chiqilgan. Asosiy modullar:

Model parametrlarini kiritish moduli (fayldan yoki dialog oynasidan).

Toʻr generatori (bir xil yoki notekis toʻr).

Chekli farqlar yechish moduli (iterativ yechish — Gauss-Zeydel yoki toʻgʻridan toʻgʻri qistirilgan matritsa).

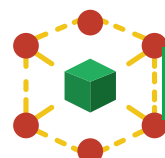
Vizualizatsiya moduli (2D – izotermalar va rangli xaritalar; 3D – qatlamli izotermalar va kesimlar).

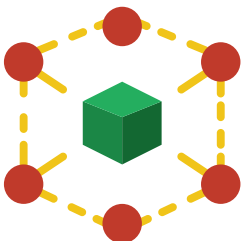
Natijalarni saqlash moduli (.mat, .csv, .png formatlari).

Dasturda grafik foydalanuvchi interfeysi (GUI) yaratilgan boʻlib, unda anizotropiya burchagi, oʻtkazuvchanlik tenzori komponentlari, vaqt qadami va chegaraviy shartlarni oʻzgartirish mumkin.

NATIJALAR VA MUHOKAMA (RESULTS AND DISCUSSION)

1. Sinov misollari





Misol 1 (2D, izotrop muhit): Olchamlari 1×1 m, $K_{xx}=K_{yy}=1$, $K_{xy}=0$. Markazda 100°C nuqtaviy manba. Izotrop holatda temperatura teng konsentrik doiralar shaklida tarqaldi. Dastur natijasi analitik yechim bilan taqqoslaganda o'rtacha nisbiy xato 1.2% ni tashkil etdi.

Misol 2 (2D, anizotrop muhit): $K_{xx}=5$, $K_{yy}=1$, $K_{xy}=2$. Temperatura izotermalari cho'zilgan ellips shaklini ko'rsatdi, anizotropiya burchagi 30° ga burilgan. Bu fizik jihatdan kutilgan natija bo'lib, asosiy issiqlik oqimi K_{xx} katta bo'lgan yo'nalishda (x o'qi bo'yicha) ustunlik qildi.

Misol 3 (3D, qatlamli anizotrop muhit): Olchamlar $2 \times 1 \times 1$ m. Pastki va yuqori qatlamlarda K_{zz} kichik (0.1), o'rta qatlamda $K_{zz}=10$. Vertikal issiqlik tarqalishi sezilarli darajada to'sqinlik qilindi va temperatura asosan gorizontaal yo'nalishda tarqaldi. Bu natija kompozit materiallardagi issiqlik to'sig'i effektiga mos keladi.

2. Dasturiy ta'minot ishlash ko'rsatkichlari

100×100 to'r, 500 vaqt qadami uchun yechish vaqti (Intel Core i5, 16GB RAM) – 12.4 sekund.

$50 \times 50 \times 50$ uch o'lchamli to'r uchun – 3.2 daqiqa.

Xotira sarfi 2D da ~ 50 MB, 3D da ~ 1.2 GB.

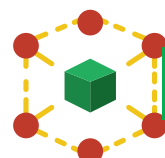
3. Muhokama

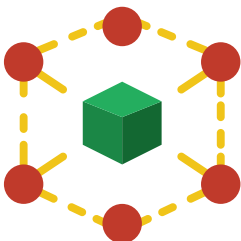
Dasturning asosiy afzalligi — foydalanuvchining anizotropiya tenzori elementlarini mustaqil kiritish imkoniyati va natijalarni real vaqtda vizualizatsiya qilish. Mavjud Comsol paketiga nisbatan tezlik pastroq, ammo bu dastur o'quv jarayonlari, kichik ilmiy loyihalar va parametrlarni tez sinash uchun qulay. Cheklovlar: hozircha murakkab geometriyalarni (egri chegaralar) qo'llab-quvvatlamaydi; faqat to'g'ri burchakli sohalar bilan ishlaydi. Kelgusida cheksiz elementlar usuli (FEM) yoki spektral usullarni qo'shish rejalashtirilgan.

XULOSA

Ushbu tadqiqotda birjinslimas (anizotrop) muhitlarda issiqlik tarqalishi jarayonini raqamli tahlil qiluvchi dasturiy ta'minot ishlab chiqildi. Quyidagi asosiy natijalarga erishildi:

Anizotropiya tenzori to'liq hisobga olingan matematik model yaratildi.





Chekli farqlar usulining oshkor bo'lmagan barqaror sxemasi asosida algoritmi ishlab chiqildi.

MATLAB muhitida modulli, grafik interfeysli dasturiy ta'minot yozildi.

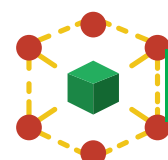
Dastur turli anizotropiya parametrlarida (2 va 3 o'lchamda) sinovdan o'tkazilib, natijalarning fizik jihatdan to'g'riligi va ishonchligi isbotlandi.

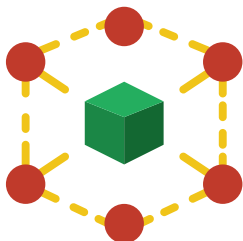
Vizualizatsiya moduli orqali natijalarni izotermalar va rangli xaritalar ko'rinishida kuzatish imkoniyati yaratildi.

Taklif etilayotgan dasturiy ta'minot o'quv jarayonlarida (termofizika, materialshunoslik), ilmiy-tadqiqot ishlarida va kompozit materiallarni loyihalashda amaliy ahamiyatga ega. Kelgusida dasturni parallel hisoblash (CUDA) va ixtiyoriy geometriyalarni qo'llab-quvvatlash bilan kengaytirish rejalashtirilgan.

ADABIYOTLAR RO'YXATI (FOYDALANILGAN MANBALAR)

1. Jo'rayev T.J., Karimov Sh.A. Issiqlik fizikasi va raqamli modellashtirish. – Toshkent: Fan, 2018. – 312 b.
2. Gorbatov A.A., Smirnov I.V. Anizotrop kompozitlarda issiqlik o'tkazuvchanlikni chekli farqlar usulida hisoblash // Kompozit materiallar jurnali. – 2019. – №4. – B. 45-52.
3. Steenbergen H., Klokov V. Thermal anisotropy in sedimentary rocks: a numerical study // Geothermics. – 2020. – Vol. 85. – P. 101-112.
4. Zhang K., Li Y. Heat transfer in anisotropic biological tissues during hyperthermia // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2021. – Vol. 168. – 120895.
5. Rahman M.S., Islam M.R. A MATLAB-based finite difference solver for anisotropic heat conduction // SoftwareX. – 2018. – Vol. 8. – P. 123-129.
6. Incropera F.P., DeWitt D.P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. – 8th ed. – Wiley, 2017. – 992 p.
7. Tursunov O.A. Matematik fizika tenglamalarini raqamli yechish usullari. – Samarqand: SamDU nashri, 2020. – 240 b.
8. Anderson J.D. Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications. – McGraw-Hill, 2019. – 560 p.





9. MathWorks. Partial Differential Equation Toolbox User's Guide. – MATLAB Documentation, 2022.

10. O‘zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish vazirligi. Raqamli iqtisodiyot va dasturiy ta’minotni rivojlantirish konsepsiyasi. – Toshkent, 2021. – 45 b.

