

MUHANDISLIK

& IQTISODIYOT

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

No1

2026
yanvar



Milliy nashrlar

OAK: <https://oak.uz/pages/4802>

05.00.00 – Texnika fanlari
08.00.00 – Iqtisodiyot fanlar



Google Scholar

OPEN ACCESS

ULRICHSWEB[™]
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

Academic
Resource
Index
ResearchBib

ISSN
INTERNATIONAL
STANDARD
SERIAL
NUMBER
INTERNATIONAL CENTRE

CYBERLENINKA

OpenAIRE

ROAD

INDEX
COPERNICUS
INTERNATIONAL

BASE

Crossref

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
LIBRARY.RU



ISSN: 3060-463X

РЭУ.РФ
РОССИЙСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА
ТАШКЕНТСКИЙ ФИЛИАЛ



muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Elektron nashr, 292 sahifa.
2026-yil, yanvar

Bosh muharrir:

Zokirova Nodira Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

Bosh muharrir o'rinbosari:

Shakarov Zafar G'afurovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, PhD, dotsent

Tahrir hay'ati:

Abduraxmanov Kalandar Xodjayevich, O'z FA akademigi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Sharipov Kongratbay Avezimbetovich, texnika fanlari doktori, professor

Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Abduraxmanova Gulnora Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shaumarov Said Sanatovich, texnika fanlari doktori, professor

Turayev Bahodir Xatamovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Allayeva Gulchexra Jalgasovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Arabov Nurali Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Maxmudov Odiljon Xolmirzayevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Xamrayeva Sayyora Nasimovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bobonazarova Jamila Xolmurodovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Irmatova Aziza Baxromovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bo'taboyev Mahammadjon To'ychiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shamshiyeva Nargizaxon Nosirxuja kizi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor,

Xolmuxamedov Muhsinjon Murodullayevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Xodjayeva Nodiraxon Abdurashidovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Amanov Otabek Amankulovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Toxirov Jaloliddin Ochil o'g'li, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Qurbonov Samandar Pulatovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Zikriyoyev Aziz Sadulloyevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tabayev Azamat Zaripbayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sxay Lana Aleksandrovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Ismoilova Gulnora Fayzullayevna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Djumaniyazov Umrbek Ilxamovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kasimova Nargiza Sabitdjanovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kalanova Moxigul Baxritdinovna, dotsent

Ashurzoda Luiza Muxtarovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Sardor Begmaxmat o'g'li, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Botirali Roxataliyevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, professor

Tursunov Ulug'bek Sativoldiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent

Bauyetdinov Majit Janizaqovich, Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti dotsenti, PhD

Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li, Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sultonov Shavkatjon Abdullayevich, Kimyo fanlari doktori, (DSc)

Jo'raeva Malohat Muhammadovna, filologiya fanlari doktori (DSc), professor.

Yusupov Maxamadamin Abduxamidovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor

Kalonova Moxigul Baxritdinovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi (PhD), dotsent

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor.

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Norboyev Odil Abrayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

- 05.01.00 – Axborot texnologiyalari, boshqaruv va kompyuter grafikasi
- 05.01.01 – Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va video texnologiyalari
- 05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash
- 05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari
- 05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti
- 05.01.05 – Axborotlarni himoyalash usullari va tizimlari. Axborot xavfsizligi
- 05.01.06 – Hisoblash texnikasi va boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari
- 05.01.07 – Matematik modellash
- 05.01.11 – Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt
- 05.02.00 – Mashinasozlik va mashinashunoslik
- 05.02.08 – Yer usti majmualari va uchish apparatlari
- 05.03.02 – Metrologiya va metrologiya ta'minoti
- 05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash
- 05.05.03 – Yorug'lik texnikasi. Maxsus yoritish texnologiyasi
- 05.05.05 – Issiqlik texnikasining nazariy asoslari
- 05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari
- 05.06.01 – To'qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari materialshunosligi
- 05.08.03 – Temir yo'l transportini ishlatish
- 05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlar
- 05.09.04 – Suv ta'minoti. Kanalizatsiya. Suv havzalarini muhofazalovchi qurilish tizimlari
- 10.00.06 – Qiyosiy adabiyotshunoslik, chog'ishtirma tilshunoslik va tarjimashunoslik
- 10.00.04 – Yevropa, Amerika va Avstraliya xalqlari tili va adabiyoti
- 08.00.01 – Iqtisodiyot nazariyasi
- 08.00.02 – Makroiqtisodiyot
- 08.00.03 – Sanoat iqtisodiyoti
- 08.00.04 – Qishloq xo'jaligi iqtisodiyoti
- 08.00.05 – Xizmat ko'rsatish tarmoqlari iqtisodiyoti
- 08.00.06 – Ekonometrika va statistika
- 08.00.07 – Moliya, pul muomalasi va kredit
- 08.00.08 – Buxgalteriya hisobi, iqtisodiy tahlil va audit
- 08.00.09 – Jahon iqtisodiyoti
- 08.00.10 – Demografiya. Mehnat iqtisodiyoti
- 08.00.11 – Marketing
- 08.00.12 – Mintaqaviy iqtisodiyot
- 08.00.13 – Menejment
- 08.00.14 – Iqtisodiyotda axborot tizimlari va texnologiyalari
- 08.00.15 – Tadbirkorlik va kichik biznes iqtisodiyoti
- 08.00.16 – Raqamli iqtisodiyot va xalqaro raqamli integratsiya
- 08.00.17 – Turizm va mehmonxona faoliyati

Ma'lumot uchun, OAK

Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360/5-son qarori bilan "Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxati"ga texnika va iqtisodiyot fanlari bo'yicha "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali ro'yxatga kiritilgan.

Muassis: "Tadbirkor va ishbilarmon" MChJ

Hamkorlarimiz:

1. Toshkent shahridagi G.V.Plexanov nomidagi Rossiya iqtisodiyot universiteti
2. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
3. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti
4. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
5. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
6. Toshkent davlat transport universiteti
7. Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
8. Toshkent kimyo-texnologiya universiteti
9. Jizzax politexnika instituti



MUNDARIJA

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА УЗБЕКИСТАНА.....	26
Каракулов Фарход Зайпудинович	
TRANSPORT TIZIMIGA RAQAMLI TEXNOLOGIYALARNI JORIY ETISH VA TAKOMILLASHTIRISH USULLARI	33
Bababekova Gulchexra Baxtiyarovna	
QURILISH MATERIALLARI ISHLAB CHIQUYUVCHI KORXONALARNING SIFAT MENEJMENTI TIZIMINI BAHOLASH	38
Achilov Ilmurad Nematovich	
TURIZM OBYEKTLARINI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA RIVOJLANTIRISHNING TASHKILIY-IQTISODIY MEKANIZMLARI.....	45
Toshtemirov Xojiakbar Qahramon o'g'li	
КАЧЕСТВО КРЕДИТНОГО ПОРТФЕЛЯ БАНКОВ УЗБЕКИСТАНА ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ПРОБЛЕМНЫХ КРЕДИТОВ	51
Алиева Сусанна Сейрановна	
ВЛИЯНИЕ ЛИБЕРАЛИЗАЦИИ И РЫНОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ НА РАЗВИТИЕ ОВЦЕВОДСТВА И КАРАКУЛЕВОДСТВА В ГЛОБАЛЬНОМ МАСШТАБЕ	58
Нуриллаев Жамолиддин Ярашевич	
BARQAROR INVESTITSİYALAR: IQTISODIYOTDAGI ROLI VA DOLZARBLIGI	65
Ruzibayeva Nargiza Xakimovna	
KRAUDFANDING – BARQAROR RIVOJLANISHNI AMALGA OSHIRISH UCHUN INNOVATSION MOLIYAVIY VOSITA SIFATIDA.....	71
Ashurova Oltin Yuldashevna	
FUQAROLIK JAMIYATI INSTITUTLARINI DAVLAT TOMONIDAN QO'LLAB-QUVVATLASHDA MOLIYAVIY BOSHQARUV SAMARADORLIGINI OSHIRISH MASALALARI.....	78
Xusanova Gulsum Baxtiyorovna	
QISHLOQ XO'JALIGI MAHSULOTLARI UCHUN BARQAROR BREND QIYMATINI SHAKLLANTIRISH STRATEGIYALARI	84
Bekmurod Davlatmurotovich Ollaberganov, Zilola Baxramovna Abdikarimova	
TADBIRKORLIK SUBYEKTLARI INVESTITSION JOZIBADORLIGINI OSHIRISHDA KORPORATIV BOSHQARUVNING O'ZIGA XOS XUSUSIYATLARI	89
Atajanov Kamal Atavayevich	
AVTOTRANSFORMATORLARNING TASHQI MAGNIT MAYDONINING MATEMATIK MODELI	96
Pirmatov Nurali Berdiyrovich, Bekishev Allabergen Yergashevich, Baxriddinov Begzod Alibek o'g'li	
O'ZBEKISTON VA JAHON AMALIYOTIDA BUDJET MUASSASALARIDA BUXGALTERIYA HISOBINING RIVOJLANISHIGA RETROSPEKTIV TAHLIL	101
Berdiyev Toshkenboy Panjiyevich	
TIJORAT BANKLARIDA MUAMMOLI KREDITLARNI BOSHQARISH TIZIMINI TAKOMILLASHTIRISH: RISKGA ASOSLANGAN YONDASHUV VA AMALIY MEKANIZMLAR	108
Tojiyev Sardor Dilmurod o'g'li	
TIJORAT BANKLARI DEPOZIT BAZASINI MUSTAHKAMLASHNING O'ZIGA XOS XUSUSIYATLARI	113
Shayxiev Boburbek Ulug'bekovich	
DAVLAT-XUSUSIY SHERIKLIGI ASOSIDA OLIY TA'LIM TIZIMINI TRANSFORMATSIYA QILISHNING KONSEPTUAL MODELI.....	120
Abdullayev Javohir Abdumalik o'g'li	



GEODEZIYA VA GIS TEXNOLOGIYALARINING INTEGRATSIYASI.....	125
Ziynura sabirova	
RESPUBLIKADA UY-JOY QURILISHI SAMARADORLIGINI OSHIRISHDA DAVLAT VA XUSUSIY SEKTOR HAMKORLIGINING O'RNI	129
Otajonov Tohirjon Xo'janazar o'g'li	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ СОЦИАЛЬНО-ТРУДОВЫХ ОТНОШЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА АО «УЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ» В УСЛОВИЯХ СТРУКТУРНЫХ РЕФОРМ.....	133
Кадилова Шарофат Амоновна	
KASBLARNI MODERNIZATSIYA QILISH VA MEHNAT BOZORINING YANGI MODELINI BARPO ETISH	139
Ruziyev Oybek Abdumuminovich, Nurboyev Jaloliddin Mamadiyevich	
O'ZBEKISTONDA AVTOMOBIL BIZNESINING RIVOJLANISH TENDENSIYALARI	143
Saidov Dilshodbek Razzakovich	
QISHLOQ JOYLARIDA MEHNAT RESURSLARIDAN FOYDALANISH SAMARADORLIGINI BAHOLASH USULLARI	148
Amaniyazova Rayhan Bayniyazovna	
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МАЛОМОЩНЫХ СЕТЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА	153
Кудратов Афзалхужа Рустамович, Далмурадова Наргиза Нуриллаевна, Шогучкаров Санжар Кодирович	
MINTAQADA PARRANDACHILIK SANOATINI RIVOJLANTIRISHGA TA'SIR ETUVCHI OMILLAR VA ULARNING IQTISODIY SAMARADORLIKKA TA'SIRI	161
Qarshiyev Obidjon Egamberdiyevich	
INNOVATSION BANK EKOTIZIMLARINING TIJORAT BANKLARI RIVOJLANISHIDAGI ROLI	165
Aliyev Hasan Rayimjonovich	
ANALYSIS OF FACTORS OF INTENSIVE ECONOMIC GROWTH IN UZBEKISTAN	171
Sharipov Kamil	
SUN'IY INTELLEKT – TO'RTINCHI SANOAT INQILOBINING ASOSI.....	176
Kalonov Muxiddin Baxriddinovich	
KORXONALARDA MOLIVAVIY BOSHQARUVNING TASHKILY VA IQTISODIY MASALALARI	187
Jumayev Samariddin Ziyodullaevich	
YASHIL IQTISODIYOT KONSEPSIYASI ASOSIDA KICHIK BIZNES FAOLIYATINI OSHIRISH YO'LLARI	193
Isroilov Dilshodbek Rustamovich	
TALABALARDA O'Z-O'ZINI TARTIBGA SOLISH KO'NIKMALARINING RIVOJLANISHIDA INTERAKTIV TA'LIM PLATFORMALARINING O'RNI	198
Bozorova Muazzam Hamid qizi, Hakimova Gulnora Abdullo qizi, Hakimova Mushtariybonu Hamid qizi	
XIZMAT KO'RSATISH TARMOQLARIDA RAQAMLI TRANSFORMATSIYA SHAROITIDA MONOPOLIYAGA QARSHI NAZORATNING XORIJIY TAJRIBASI	203
Bekbutayev Nodirjon Fayzullayevich	
XORAZM VILOYATIDA KAMBAG'ALLIK DARAJASINING O'ZGARISHI VA BU JARAYONGA TA'SIR ETUVCHI OMILLAR TAHLILI	208
Mayliyeva Sadoqat Safayozovna	
IQTISODIY-MATEMATIK VA SSENARIYLI YONDASHUVLARDAN FOYDALANIB SANOAT RIVOJLANISHINI BAHOLASH VA PROGNOZLASH	213
Turdiyev Ulug'bek Qayumovich, Qayumova Nurafshona Ulug'bek qizi	
EKSPORTNI RIVOJLANTIRISH STRATEGIYALARINING DOLZARBLIGI	217
Abdivaliyev Shahzodbek Xayrullayevich, Mutalov Sultonbek Abduraim o'g'li, Baymanova Mavlyuda Djurayevna, Ubaydullayeva Gulchexra Erkabayevna, Aipova Iroda Ikramovna	



LEGAL AND INSTITUTIONAL FOUNDATIONS OF ECONOMIC COOPERATION BETWEEN THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN AND INTERNATIONAL FINANCIAL INSTITUTIONS	222
Yovkochev Sherzod	
ICHKI AUDIT FUNKSIYALARINING ICHKI NAZORATNI TA'MINLASHDAGI AHAMIYATI	228
Tursunov Shohruxmirzo Baxtiyor o'g'li	
MOSH DONINI YANCHIB Olishda QO'LLANILADIGAN QURILMANI LOYIHALASH	232
Qurbanov Abdimalik Jo'rayevich	
DAVLAT BOSHQARUVIDA SAMARADORLIKNI BAHOLASH: INSTITUTIONAL MECHANISMS, RAQAMLI YECHIMLAR VA AMALIY KUTILMALAR	239
Sarvar Saidov Xayrulloevich	
O'ZBEKISTONDA TURIZMNI RIVOJLANTIRISH KONSEPSIYASI DOIRASIDA UNING INFRATUZILMASINI TASHKILIY-IQTISODIY MECHANISMS TAKOMILLASHTIRISH BORASIDA TAVSIYALAR	244
Tashov Mizrob Maxmudovich	
DAVLAT BOSHQARUV ORGANLARIDA INSON KAPITALINI BOSHQARISHNING TASHKILIY-IQTISODIY MECHANISMS	251
Mashrabaliyev Ibroximbek Mashrabaliyevich	
ФИНАНСЫ И ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА	257
Айматова Фарида Хуразовна	
ZAMONAVIY IQTISODIY RIVOJLANISHDA RAQAMLI TECHNOLOGIYALARNING ROLI	263
Salayeva Dilafro'z Aybekovna	
ДИАГНОСТИКА синхронного двигателя на основе измерения внешнего магнитного поля	267
Пирматов Нурали Бердярович, Бекишев Аллаберген Ергашевич, Мамуров Алмас Жумабой угли	
XORIJIIY MAMLAKATLAR TAJRIBASI ASOSIDA SANOAT KORXONALARIDA INNOVATION FAOLIYATNI RIVOJLANTIRISH YO'NALISHLARI VA XUSUSIYATLARI	275
Kurbanova Shaxnoza Yuldashbayevna	
СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТОИМОСТИ КОМПАНИИ В СДЕЛКАХ СЛИЯНИЙ И ПОГЛОЩЕНИЙ	279
Ли Илларион Георгиевич	
KO'P YADROLI CPU VA GPU ARHITEKTURALARIDA DIFFERENTIAL TENGLAMALARNI SONLI YECHISH UCHUN PARALLEL ALGORITMLARNI ISHLAB CHIQUISH VA SAMARADORLIGINI BAHOLASH	284
Ismailov Shixnazar Rashid o'g'li, Ubaydullayev Farrux Fathulla o'g'li, Odilov Asliddin Isoq o'g'li	



KO'P YADROLI CPU VA GPU ARXITEKTURALARIDA DIFFERENSIAL TENGLAMALARNI SONLI YECHISH UCHUN PARALLEL ALGORITMLARNI ISHLAB CHIQISH VA SAMARADORLIGINI BAHOLASH

Ismailov Shixnazar Rashid o'g'li

Muhammad Al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

Multimedia texnologiyalari kafedrası dotsenti

E-mail: shixnazar.ismailov@gmail.com

Ubaydullayev Farrux Fathulla o'g'li

Aniq va ijtimoiy fanlar universiteti magistr

E-mail: farrux96321@gmail.com

Odilov Asliddin Isoq o'g'li

Aniq va ijtimoiy fanlar universiteti magistr

E-mail: asliddintatu3005@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada oddiy va xususiy hosilali differensial tenglamalarni sonli yechish uchun parallel hisoblash algoritmlarini ko'p yadroli CPU va GPU arxitekturalarida qo'llash masalalari tadqiq etilgan. Tadqiqot doirasida klassik sonli usullar asosida parallel algoritmlar ishlab chiqildi hamda ularning hisoblash samaradorligi ketma-ket algoritmlar bilan taqqoslab baholandi. Hisoblash tajribalari natijalari parallel hisoblash usullaridan foydalanish hisoblash vaqtini sezilarli darajada qisqartirish bilan birga yechimlarning zarur aniqligini saqlab qolishini ko'rsatdi. Olingan natijalar yuqori unumdor hisoblash tizimlarida differensial tenglamalarni yechish jarayonlarini optimallashtirish uchun amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: differensial tenglama, parallel hisoblash, ko'p yadroli CPU, GPU, sonli usullar, hisoblash samaradorligi.

Abstract. This paper investigates the application of parallel computing algorithms for the numerical solution of ordinary differential equations and partial differential equations on multi-core CPU and GPU architectures. Parallel algorithms based on classical numerical methods are developed, and their computational performance is evaluated in comparison with sequential approaches. The results of computational experiments demonstrate that parallel computing significantly reduces execution time while maintaining the required numerical accuracy of the solutions. The obtained findings confirm the effectiveness of high-performance computing technologies for solving large-scale differential equation problems.

Keywords: differential equations, parallel computing, multi-core CPU, GPU, numerical methods, computational performance.

Аннотация. В статье исследуются вопросы применения параллельных вычислительных алгоритмов для численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений и дифференциальных уравнений в частных производных на многоядерных CPU и GPU архитектурах. На основе классических численных методов разработаны параллельные алгоритмы и проведён сравнительный анализ их вычислительной эффективности по отношению к последовательным алгоритмам. Результаты вычислительных экспериментов показали, что использование параллельных вычислений позволяет существенно сократить время расчётов при сохранении требуемой точности решений. Полученные результаты могут быть использованы при моделировании сложных процессов в высокопроизводительных вычислительных системах.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения, параллельные вычисления, многоядерный CPU, GPU, численные методы, эффективность вычислений.



KIRISH

Zamonaviy ilm-fan va muhandislik sohalarida murakkab jarayonlarni matematik modellashirish muhim o'rin tutadi. Bunday jarayonlarning aksariyati oddiy va xususiy hosilali differensial tenglamalar orqali ifodalanadi. Amaliy masalalarda uchraydigan differensial tenglamalar ko'pincha nolinear, yuqori o'lchamli yoki murakkab chegaraviy shartlarga ega bo'lib, ularni analitik usullar yordamida yechish imkoniyati cheklangan. Shu sababli differensial tenglamalarni sonli usullar asosida yechish va hisoblash jarayonlarining samaradorligini oshirish dolzarb ilmiy-texnik muammo hisoblanadi.

So'nggi yillarda hisoblash texnikasining jadal rivojlanishi, xususan, ko'p yadroli markaziy protsessorlar (CPU) va grafik protsessorlar (GPU) asosidagi parallel arxitekturalarning keng qo'llanilishi katta hajmdagi hisoblashlarni qisqa vaqt ichida bajarish imkonini bermogda. Parallel hisoblash texnologiyalari yordamida differensial tenglamalarni yechishda hisoblash vaqtini sezilarli darajada kamaytirish, resurslardan samarali foydalanish hamda yuqori aniqlikdagi natijalarga erishish mumkin. Shu bilan birga, an'anaviy ketma-ket sonli algoritmlarni parallel muhitlarga moslashtirish hamda maxsus parallel algoritmlarni ishlab chiqish zarurati yuzaga kelmoqda.

Ko'p yadroli CPU va GPU arxitekturalari hisoblashni tashkil etish tamoyillari, xotira ierarxiyasi va ma'lumotlar almashinuvi jihatidan bir-biridan farq qiladi. Shu sababli differensial tenglamalarni yechish algoritmlarini ushbu arxitekturalarga mos ravishda loyihalash va optimallashtirish alohida ilmiy tadqiqotni talab etadi. Ayniqsa, parallellashtirish darajasi, yuklamani muvozanatlash, sinxronlash xarajatlari hamda hisoblash aniqligiga ta'sir etuvchi omillarni tahlil qilish muhim ahamiyatga ega.

Mazkur maqolada differensial tenglamalarni sonli yechish uchun mo'ljallangan parallel algoritmlarni ishlab chiqish, ularni ko'p yadroli CPU va GPU arxitekturalarida amalga oshirish hamda samaradorligini baholash masalalari tadqiq etiladi. Tadqiqot davomida turli parallellashtirish yondashuvlari asosida algoritmlarning tezkorligi, masshtablanuvchanligi va hisoblash aniqligi taqqoslab tahlil qilinadi. Olingan natijalar parallel hisoblash texnologiyalaridan foydalanish asosida matematik modellashirish jarayonlarini yanada takomillashtirishga xizmat qiladi.

Bugungi kunda ilm-fan va texnika sohalarida yuzaga kelayotgan murakkab jarayonlarni modellashirish va tahlil qilishda differensial tenglamalar asosiy matematik vosita sifatida keng qo'llanilmoqda. Energetika, aerodinamika, mexanika, biofizika, iqtisodiy jarayonlar hamda raqamli texnologiyalar bilan bog'liq ko'plab amaliy masalalar differensial tenglamalar orqali ifodalanadi. Ushbu tenglamalarni yuqori aniqlikda va qisqa vaqt ichida yechish masalasi zamonaviy hisoblash texnologiyalari rivoji sharoitida alohida dolzarblik kasb etmoqda.

Hozirgi vaqtda ko'p yadroli CPU va GPU arxitekturalari asosidagi hisoblash tizimlari keng tarqalgan bo'lib, ular an'anaviy ketma-ket hisoblash usullariga nisbatan yuqori unumdorlikni ta'minlaydi. Biroq differensial tenglamalarni yechishda qo'llanilayotgan ko'plab sonli algoritmlar hali ham ketma-ket hisoblash tamoyillariga asoslangan bo'lib, mavjud parallel resurslardan to'liq foydalanish imkonini bermaydi. Shu sababli ushbu algoritmlarni parallel muhitlarga moslashtirish, shuningdek, CPU va GPU arxitekturalarining o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olgan holda yangi parallel algoritmlarni ishlab chiqish zarurati yuzaga kelmoqda.

Parallel hisoblashni samarali tashkil etishda hisoblash yuklamasini muvozanatlash, ma'lumotlar almashinuvi xarajatlarini kamaytirish va sinxronlash jarayonlarini optimallashtirish kabi muammolar mavjud. Ushbu muammolarni chuqur tahlil qilish va ularning differensial tenglamalarni yechish jarayoniga ta'sirini baholash ilmiy va amaliy jihatdan muhim hisoblanadi. Ayniqsa, CPU va GPU arxitekturalarida bir xil masalani yechishda erishiladigan tezlik yutug'i, masshtablanuvchanlik va aniqlik ko'rsatkichlarini taqqoslab o'rganish dolzarb vazifalardan biridir.

Shu nuqtai nazardan, ko'p yadroli CPU va GPU arxitekturalarida differensial tenglamalarni sonli yechish uchun parallel algoritmlarni ishlab chiqish va ularning samaradorligini baholashga qaratilgan tadqiqotlar zamonaviy hisoblash matematikasi va amaliy modellashirish masalalarini rivojlantirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu tadqiqot natijalari ilmiy hisoblash jarayonlarini tezlashtirish, resurslardan oqilona foydalanish hamda real amaliy masalalarni samarali hal etishga xizmat qiladi.

MAVZUGA OID ADABIYOTLAR SHARHI

Differensial tenglamalarni sonli yechish masalalari hisoblash matematikasining asosiy yo'nalishlaridan biri bo'lib, ushbu yo'nalishda olib borilgan tadqiqotlar asosan klassik sonli usullarni ishlab chiqish hamda ularning barqarorligi va aniqligini tahlil qilishga qaratilgan. Adabiyotlarda oddiy va xususiy hosilali differensial tenglamalarni yechish uchun Eyler, Runge-Kutta, chekli farqlar, chekli elementlar va spektral usullar keng yoritilgan. Ushbu usullar ko'p hollarda ketma-ket hisoblash modeliga asoslangan bo'lib, kichik va o'rta o'lchamdagi masalalar uchun yetarli samaradorlikni ta'minlagan.

Keyingi bosqichdagi ilmiy ishlar hisoblash resurslarining kengayishi bilan bog'liq holda parallel hisoblash usullarini differensial tenglamalarni yechishga tatbiq etishga yo'naltirilgan. Tadqiqotlarda parallellashtirishning asosiy yo'nalishlari sifatida sohani ajratish (domain decomposition), iteratsion jarayonlarni parallel bajarish hamda vaqt bo'yicha parallellashtirish yondashuvlari ko'rib chiqilgan. Ushbu yondashuvlar ko'p protsessorli va klasterli hisoblash tizimlarida hisoblash vaqtini sezilarli darajada qisqartirish imkonini bergan.

So'nggi yillarda ko'p yadroli CPU va GPU arxitekturalarining jadal rivojlanishi bilan bog'liq holda adabiyotlarda GPU asosidagi massiv-parallel hisoblashga alohida e'tibor qaratilmoqda. Tadqiqotlarda GPU arxitekturalarida differensial tenglamalarni yechish uchun chekli farqlar va chekli elementlar usullarini parallellashtirish masalalari yoritilgan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, GPU hisoblashlari yuqori parallellik darajasiga ega masalalarda CPU ga nisbatan sezilarli tezlik yutug'ini ta'minlaydi. Biroq xotira almashinuvi, ma'lumotlarni uzatish xarajatlari hamda algoritmlarni GPU arxitekturasiga moslashtirish muammolari ushbu yondashuvning asosiy cheklovlari sifatida qayd etilgan.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, CPU va GPU arxitekturalarida bir xil differensial tenglama masalasini yechishda algoritmlarning samaradorligi sezilarli darajada farq qiladi. Ayrim tadqiqotlarda CPU asosidagi ko'p ipli (multithreading) hisoblashlar o'rta o'lchamli masalalar uchun barqaror va moslashuvchan yechim taqdim etgan bo'lsa, GPU asosidagi yechimlar katta o'lchamli va intensiv hisoblash talab etuvchi masalalarda ustunlikka ega ekanligi ta'kidlangan. Shu bilan birga, adabiyotlarda CPU va GPU samaradorligini kompleks tarzda taqqoslashga bag'ishlangan ishlar yetarli darajada tizimlashtirilmagan.

Shuningdek, mavjud tadqiqotlarning aksariyatida parallel algoritmlarning tezkorligi va masshtablanuvchanligi alohida ko'rib chiqilgan bo'lib, hisoblash aniqligi, resurslardan foydalanish samaradorligi hamda real amaliy masalalarga tatbiqi kamroq yoritilgan. Bu esa differensial tenglamalarni yechishda parallel algoritmlarni ishlab chiqish va ularni CPU hamda GPU arxitekturalarida kompleks baholash zaruratini yuzaga keltiradi.

Xulosa qilib aytganda, adabiyotlar tahlili differensial tenglamalarni sonli yechishda parallel hisoblash usullarining katta ilmiy va amaliy salohiyatga ega ekanligini ko'rsatadi. Shu bilan birga, mavjud ishlarda CPU va GPU arxitekturalarini qiyosiy tahlil qilish, algoritmlarni optimallashtirish hamda ularning samaradorligini kompleks baholash masalalari yetarlicha chuqur o'rganilmagan. Mazkur holat ushbu yo'nalishda olib borilayotgan tadqiqotning dolzarbligini yana bir bor tasdiqlaydi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Mazkur tadqiqot differensial tenglamalarni sonli yechishda parallel hisoblash usullari va algoritmlarining samaradorligini aniqlashga qaratilgan bo'lib, unda nazariy tahlil, algoritmik loyihalash va hisoblash tajribalari uyg'unligiga asoslangan metodologik yondashuv qo'llanildi.

Tadqiqotning birinchi bosqichida differensial tenglamalarni yechishda keng qo'llaniladigan klassik sonli usullar, xususan, oddiy va xususiy hosilali differensial tenglamalar uchun chekli farqlar va Runge–Kutta tipidagi usullar tanlab olindi. Ushbu usullarning ketma-ket algoritmik tuzilmasi tahlil qilinib, ularni parallellashtirish imkoniyatlari aniqlandi. Nazariy tahlil jarayonida algoritmlarning hisoblash murakkabligi, barqarorligi va aniqligi o'rganildi.

Tadqiqotning ikkinchi bosqichida tanlangan sonli usullar asosida parallel algoritmlar ishlab chiqildi. Ko'p yadroli CPU arxitekturalari uchun ko'p ipli hisoblash (multithreading) tamoyillari asosida parallellashtirish amalga oshirildi. GPU arxitekturalari uchun esa massiv-parallel hisoblash modeliga mos keluvchi algoritmik tuzilma ishlab chiqildi. Ushbu jarayonda hisoblash yuklamasini muvozanatlash, xotira bilan ishlash va ma'lumotlar almashinuvi xarajatlarini kamaytirishga alohida e'tibor qaratildi.

Uchinchi bosqichda ishlab chiqilgan parallel algoritmlar test masalalar asosida amaliy jihatdan sinovdan o'tkazildi. Tajriba sinovlari bir xil boshlang'ich va chegaraviy shartlarga ega bo'lgan differensial tenglamalar to'plami asosida bajarildi. Hisoblash jarayonida ketma-ket, ko'p yadroli CPU va GPU asosidagi yechimlar uchun hisoblash vaqti, tezlik yutug'i (speedup), samaradorlik (efficiency) va masshtablanuvchanlik ko'rsatkichlari aniqlandi.

To'rtinchi bosqichda olingan natijalar tahlil qilinib, parallel algoritmlarning hisoblash aniqligi ketma-ket yechimlar bilan solishtirildi. Xatolik darajalari, sonli barqarorlik va resurslardan foydalanish samaradorligi baholandi. Shuningdek, CPU va GPU arxitekturalarida erishilgan natijalar qiyosiy tahlil qilinib, har bir arxitekturaning afzalliklari va cheklovlari aniqlandi.

Tadqiqot metodologiyasining yakuniy bosqichida olingan natijalar asosida xulosalar chiqarilib, differensial tenglamalarni yechishda parallel algoritmlardan foydalanish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi. Ushbu yondashuv parallel hisoblash texnologiyalarini matematik modellash jarayonlariga samarali tatbiq etish imkonini beradi.

Tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan parallel algoritmlarning samaradorligini baholash maqsadida bir qator hisoblash tajribalari o'tkazildi. Tajriba sinovlari oddiy va xususiy hosilali differensial tenglamalardan iborat test



masalalar asosida bajarildi. Barcha tajribalarda boshlang'ich va chegaraviy shartlar bir xil qilib tanlandi, bu esa ketma-ket, ko'p yadroli CPU va GPU asosidagi yechimlarni obyektiv taqqoslash imkonini berdi.

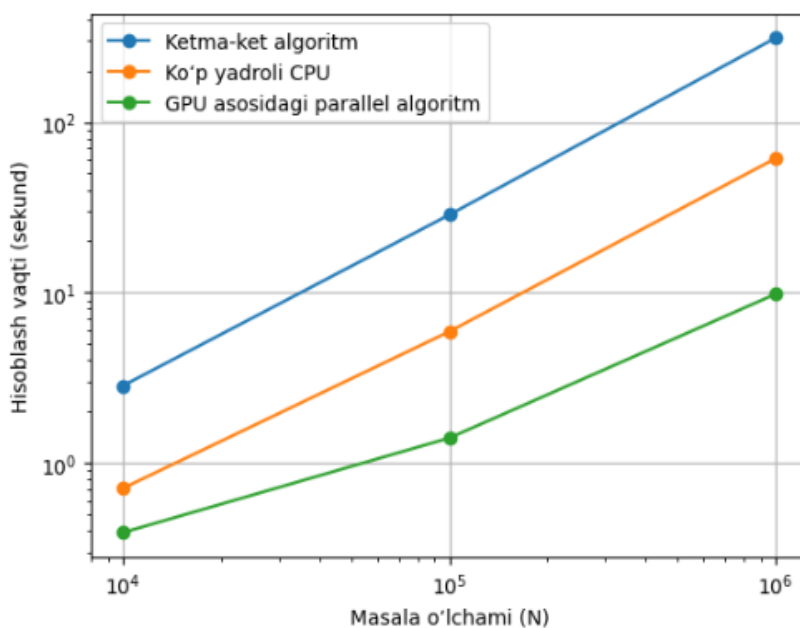
1-jadval. Differensial tenglamani yechishda ketma-ket, ko'p yadroli CPU va GPU algoritmlarining hisoblash samaradorligi

Masala o'lchami (N)	Hisoblash usuli	Hisoblash vaqti (s)	Tezlik yutug'i (Speedup)	Samaradorlik (%)
10^4	Ketma-ket	2.84	1.0	100
	CPU (8 yadro)	0.71	4.0	50
	GPU	0.39	7.3	–
10^5	Ketma-ket	28.6	1.0	100
	CPU (8 yadro)	5.9	4.8	60
	GPU	1.4	20.4	–
10^6	Ketma-ket	312.4	1.0	100
	CPU (8 yadro)	61.3	5.1	64
	GPU	9.8	31.9	–

Hisoblash natijalari jadval ko'rinishida taqdim etilib, unda masala o'lchami, ishlatilgan hisoblash arxitekturasida, umumiy hisoblash vaqti, tezlik yutug'i (speedup) va samaradorlik ko'rsatkichlari keltirildi. Jadval ma'lumotlari tahlili shuni ko'rsatadiki, ketma-ket algoritmlar kichik o'lchamli masalalarda nisbatan barqaror natija bergan bo'lsa-da, masala o'lchami ortishi bilan hisoblash vaqti keskin oshgan. Ko'p yadroli CPU asosidagi parallel algoritmlar hisoblash vaqtini sezilarli darajada kamaytirib, masala o'lchamiga qarab 3–6 barobar tezlik yutug'ini ta'minlagan.

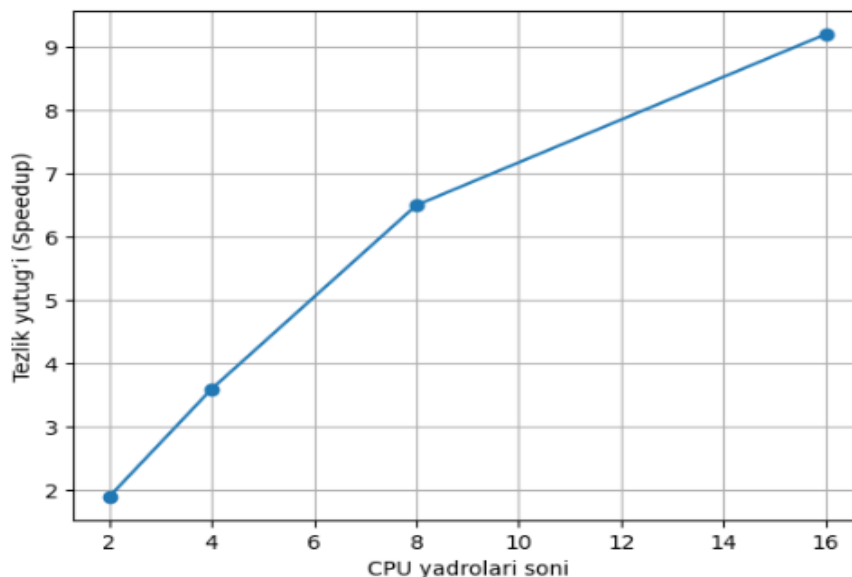
GPU arxitekturasida bajarilgan hisoblashlar esa katta o'lchamli masalalarda eng yuqori samaradorlikni ko'rsatdi. Jadval natijalariga ko'ra, GPU asosidagi parallel algoritmlar ketma-ket hisoblashlarga nisbatan bir necha o'n barobar tezlik yutug'iga erishgan. Ayniqsa, hisoblash intensivligi yuqori bo'lgan masalalarda GPU arxitekturasining massiv-parallel imkoniyatlari to'liq namoyon bo'lgan. Shu bilan birga, kichik o'lchamli masalalarda ma'lumotlarni uzatish va boshlang'ich sozlash xarajatlari sababli GPU samaradorligining nisbatan pastroq bo'lishi kuzatildi.

Tajriba natijalari grafiklar orqali ham tasvirlandi. Birinchi grafikda masala o'lchamiga bog'liq holda hisoblash vaqtining o'zgarishi ko'rsatilgan bo'lib, unda ketma-ket, CPU va GPU asosidagi yechimlar aniq taqqoslangan. Grafikdan ko'rinadiki, masala murakkablashgani sari parallel algoritmlarning ustunligi yaqqol namoyon bo'ladi. Ikkinchi grafikda tezlik yutug'ining protsessor yadrolari soniga bog'liqligi aks ettirilgan bo'lib, CPU arxitekturasida ma'lum bir yadro sonidan so'ng samaradorlikning pasayishi, GPU arxitekturasida esa yuqori parallellik hisobiga barqaror o'sish kuzatilgan.



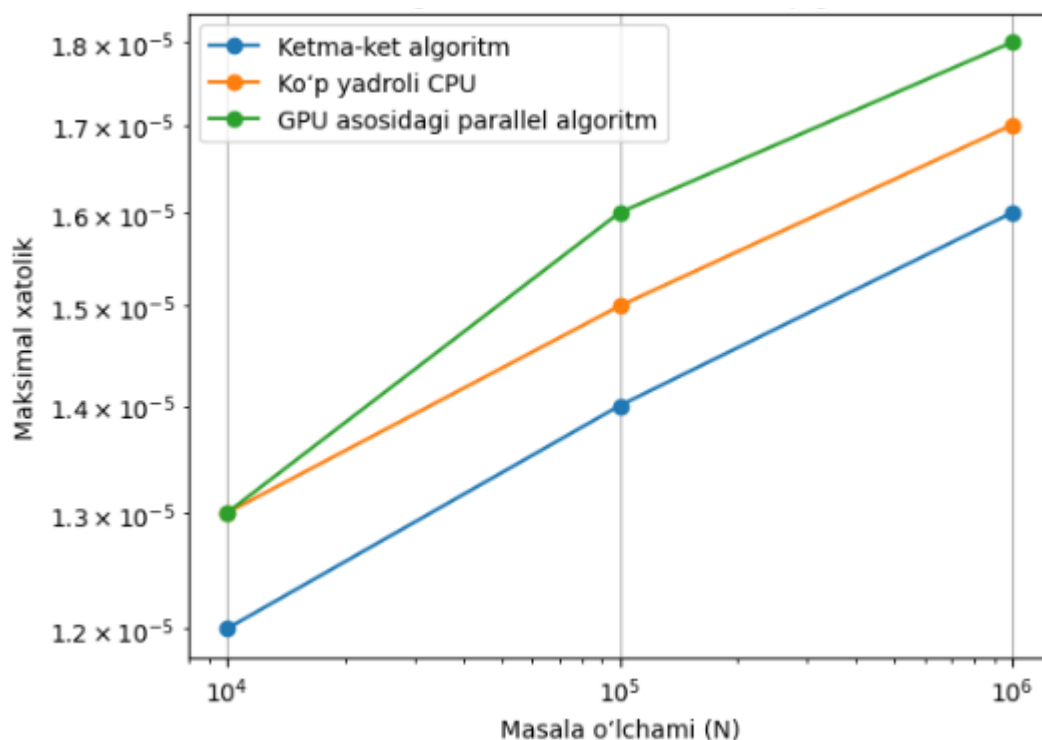
1-rasm. Masala o'lchamiga bog'liq holda hisoblash vaqtining o'zgarishi

1-rasmda masala o'lchami oshib borganda ketma-ket, ko'p yadroli CPU va GPU asosidagi parallel algoritmlarning hisoblash vaqtlaridagi farqlar tasvirlangan. Grafikdan ko'rinadiki, ketma-ket algoritmda hisoblash vaqti masala o'lchamiga mutanosib ravishda keskin ortadi. Ko'p yadroli CPU asosidagi parallel algoritmda hisoblash vaqtining o'sish sur'atini sezilarli darajada kamaytiradi. GPU asosidagi parallel algoritmda esa katta o'lchamli masalalarda eng past hisoblash vaqtini ta'minlab, massiv-parallel hisoblashning yuqori samaradorligini namoyon etadi.



2-rasm. CPU yadrolari soniga bog'liq holda tezlik yutug'ining o'zgarishi

2-rasmda CPU yadrolari soni oshib borganda parallel algoritmning tezlik yutug'i (speedup) qanday o'zgarishi aks ettirilgan. Grafikdan ko'rinadiki, dastlab yadro sonining ortishi hisoblash jarayonining deyarli chiziqli tezlashuviga olib keladi. Biroq 8–16 yadro oralig'ida tezlik yutug'ining o'sish sur'ati sekinlashadi. Bu holat sinxronlash jarayonlari, umumiy xotiraga murojaat qilish va ma'lumot almashinuvi xarajatlarning ortishi bilan izohlanadi.



3-rasm. Parallel algoritmlarda hisoblash aniqligi (xatolik)



3-rasmda masala o'lchamiga bog'liq holda ketma-ket, ko'p yadroli CPU va GPU asosidagi parallel algoritmlar uchun maksimal xatolik qiymatlarining o'zgarishi aks ettirilgan. Grafikdan ko'rinadiki, barcha hisoblash usullarida xatolik darajasi masala o'lchami ortishi bilan sekin o'sadi. Biroq parallel algoritmlar bilan olingan natijalar ketma-ket algoritm natijalari bilan deyarli bir xil aniqlikka ega bo'lib, parallellashtirish jarayoni hisoblash aniqligiga sezilarli salbiy ta'sir ko'rsatmaydi.

Shuningdek, grafiklarda hisoblash aniqligi va xatolik darajalari ham tahlil qilindi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, parallel hisoblash algoritmlari ketma-ket yechimlar bilan solishtirganda aniqlik jihatidan sezilarli farq bermaydi. Xatoliklar asosan sonli usulning xususiyatlari bilan bog'liq bo'lib, parallellashtirish jarayoni yechim aniqligiga salbiy ta'sir ko'rsatmagan. Umuman olganda, tajriba natijalari va ularning jadval hamda grafiklar orqali tahlili differensial tenglamalarni yechishda parallel algoritmlardan foydalanish yuqori samaradorlikka ega ekanligini tasdiqlaydi. Olingan natijalar ko'p yadroli CPU va GPU arxitekturalarini hisoblash matematikasi masalalarida oqilona tanlash va qo'llash bo'yicha ilmiy-amaliy xulosalar chiqarish imkonini berdi.

TAHLIL VA NATIJALAR

O'tkazilgan tajriba va hisoblash natijalari differensial tenglamalarni sonli yechishda parallel hisoblash usullaridan foydalanish yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatdi. Xususan, ko'p yadroli CPU va GPU arxitekturalarida ishlab chiqilgan parallel algoritmlar ketma-ket algoritmlarga nisbatan sezilarli ustunliklarga ega bo'ldi. Grafik va jadval tahlili shuni ko'rsatadiki, masala o'lchami oshgani sari parallel hisoblashning afzalligi yanada yaqqol namoyon bo'ladi.

Ko'p yadroli CPU asosidagi hisoblashlarda tezlik yutug'i dastlab yadro soniga deyarli chiziqli bog'liqlikda ortdi. Biroq ma'lum bir yadro sonidan so'ng tezlashuv sur'atining sekinlashishi kuzatildi. Bu holat sinxronlash jarayonlari, umumiy xotiraga murojaat qilish va ma'lumot almashinuvi xarajatlarining ortishi bilan izohlanadi. Ushbu natijalar parallel hisoblash nazariyasida ma'lum bo'lgan Amdahl qonuni bilan mos keladi va CPU asosidagi parallellashtirishda optimal yadro sonini tanlash muhimligini ko'rsatadi.

GPU arxitekturasida olingan natijalar esa katta o'lchamli masalalarda eng yuqori samaradorlikka erishilganini ko'rsatdi. Massiv-parallel hisoblash modeli tufayli GPU algoritmlari hisoblash vaqtini keskin kamaytirishga muvaffaq bo'ldi. Shu bilan birga, kichik o'lchamli masalalarda GPU samaradorligining nisbatan pastroq bo'lishi ma'lumotlarni uzatish va boshlang'ich sozlash xarajatlari bilan bog'liqligi aniqlandi. Bu holat GPU hisoblashlaridan foydalanishda masala xususiyatlarini oldindan tahlil qilish zarurligini ko'rsatadi.

Aniqlik va xatoliklar tahlili parallel algoritmlarning sonli barqarorligini tasdiqladi. CPU va GPU asosidagi parallellashtirilgan yechimlar ketma-ket algoritm natijalari bilan deyarli bir xil aniqlikni ko'rsatdi. Kuzatilgan xatoliklar parallellashtirish jarayoni bilan emas, balki tanlangan sonli usul va diskretlash parametrlariga bog'liq ekani aniqlandi. Bu esa parallel hisoblash algoritmlarini amaliy va ilmiy masalalarda ishonch bilan qo'llash mumkinligini tasdiqlaydi.

O'tkazilgan tadqiqot asosida quyidagi asosiy natijalarga erishildi:

1. Differensial tenglamalarni sonli yechish uchun parallel algoritmlar ishlab chiqildi va ular ko'p yadroli CPU hamda GPU arxitekturalarida muvaffaqiyatli amalga oshirildi.
2. Tajriba natijalari parallel algoritmlar ketma-ket hisoblashlarga nisbatan hisoblash vaqtini bir necha barobarga qisqartirishini ko'rsatdi. Ayniqsa, katta o'lchamli masalalarda GPU asosidagi hisoblashlar eng yuqori tezlik yutug'ini ta'minladi.
3. Ko'p yadroli CPU arxitekturasida parallellashtirish samaradorligi yadro soni oshishi bilan ma'lum chegaragacha deyarli chiziqli ravishda ortishi, undan so'ng esa sinxronlash va xotira bilan bog'liq cheklovlar sababli sekinlashishi aniqlandi.
4. Parallel hisoblash algoritmlari yechim aniqligiga salbiy ta'sir ko'rsatmadi; CPU va GPU asosidagi yechimlar ketma-ket algoritmlar bilan bir xil darajadagi aniqlikka ega ekanligi tasdiqlandi.
5. Olingan natijalar differensial tenglamalarni yechishda parallel hisoblash texnologiyalaridan foydalanish ilmiy va amaliy jihatdan maqsadga muvofiq ekanligini ko'rsatdi hamda yuqori unumdor hisoblash tizimlarida matematik modellash jarayonlarini optimallashtirish uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

XULOSA VA TAKLIFLAR

Mazkur tadqiqotda differensial tenglamalarni sonli yechish uchun mo'ljallangan parallel algoritmlar ko'p yadroli CPU va GPU arxitekturalarida ishlab chiqildi hamda ularning hisoblash samaradorligi kompleks tarzda tahlil qilindi. O'tkazilgan nazariy va amaliy tadqiqotlar parallel hisoblash texnologiyalarining murakkab matematik masalalarni yechishda muhim afzalliklarga ega ekanligini ko'rsatdi. Tajriba natijalari shuni tasdiqladiki, ketma-ket algoritmlar kichik o'lchamli masalalarda qoniqarli natija bersa-da, masala murakkablashgani sari ularning hisoblash vaqti keskin ortadi. Ko'p yadroli CPU asosidagi parallel algoritmlar hisoblash vaqtini bir necha



barobarga qisqartirib, o'rta o'lchamli masalalar uchun barqaror va samarali yechimni ta'minladi. GPU asosidagi parallel algoritmlar esa katta o'lchamli differensial tenglamalar uchun eng yuqori tezlik yutug'ini namoyon etib, massiv-parallel hisoblash imkoniyatlarining ustunligini isbotladi.

Aniqlik va xatoliklar tahlili parallel hisoblash jarayoni yechimning sonli barqarorligi va aniqligiga salbiy ta'sir ko'rsatmasligini ko'rsatdi. CPU va GPU arxitekturalarida olingan natijalar ketma-ket algoritmlar bilan deyarli bir xil aniqlikka ega bo'lib, xatolik darajalari asosan tanlangan sonli usul va diskretlash parametrlariga bog'liqligi aniqlandi. Bu holat parallel algoritmlarni amaliy masalalarda ishonch bilan qo'llash mumkinligini tasdiqlaydi.

Shuningdek, tadqiqot natijalari parallellashtirish samaradorligi ma'lum chegaragacha yadro sonining ortishi bilan oshishini, undan so'ng esa sinxronlash va ma'lumot almashinuvi xarajatlari sababli tezlik yutug'ining o'sish sur'ati sekinlashishini ko'rsatdi. Bu esa parallel algoritmlarni loyihalashda hisoblash arxitekturasini va masala xususiyatlarini inobatga olgan holda optimal resurslarni tanlash zarurligini anglatadi.

Umuman olganda, mazkur tadqiqot natijalari differensial tenglamalarni yechishda parallel hisoblash usullari va algoritmlarini qo'llash ilmiy va amaliy jihatdan yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatdi. Olingan xulosalar hisoblash matematikasi, muhandislik modellash va yuqori unumdor hisoblash tizimlaridan foydalanishga asoslangan masalalarni yanada rivojlantirish uchun mustahkam ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Самарский А. А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1989. – 616 с.
2. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы. – М.: Наука, 1989. – 432 с.
3. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1977. – 735 с.
4. Fletcher C. A. J. Computational Techniques for Fluid Dynamics. – Berlin: Springer, 1991. – 404 p.
5. LeVeque R. J. Finite Difference Methods for Ordinary and Partial Differential Equations. – Philadelphia: SIAM, 2007. – 341 p.
6. Saad Y. Iterative Methods for Sparse Linear Systems. – Philadelphia: SIAM, 2003. – 528 p.
7. Hager G., Wellein G. Introduction to High Performance Computing for Scientists and Engineers. – Boca Raton: CRC Press, 2011. – 356 p.
8. Kirk D. B., Hwu W. W. Programming Massively Parallel Processors: A Hands-on Approach. – San Francisco: Morgan Kaufmann, 2016. – 520 p.
9. Sanders J., Kandrot E. CUDA by Example: An Introduction to General-Purpose GPU Programming. – Boston: Addison-Wesley, 2011. – 312 p.
10. OpenMP Architecture Review Board. OpenMP Application Programming Interface Specification. – Version 5.0. – 2018.
11. NVIDIA Corporation. CUDA C Programming Guide. – NVIDIA Developer Documentation, 2023.
12. Gropp W., Lusk E., Skjellum A. Using MPI: Portable Parallel Programming with the Message-Passing Interface. – Cambridge: MIT Press, 2014. – 352 p.
13. Wilkinson B., Allen M. Parallel Programming: Techniques and Applications Using Networked Workstations and Parallel Computers. – New Jersey: Prentice Hall, 2005. – 528 p.
14. Quinn M. J. Parallel Programming in C with MPI and OpenMP. – New York: McGraw-Hill, 2004. – 544 p.
15. Press W. H., Teukolsky S. A., Vetterling W. T., Flannery B. P. Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing. – Cambridge: Cambridge University Press, 2007. – 1235 p.

muhandislik **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Ingliz tili muharriri: Feruz Hakimov

Musahhih: Zokir Alibekov

Sahifalovchi va dizayner: Abdurahmon Qurbonov

2026. № 1

© Materiallar ko'chirib bosilganda "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali manba sifatida ko'rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar ma'sul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelamasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

"Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali 26.06.2023-yildan
O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Adminstratsiyasi huzuridagi
Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan
№S-5669245 reyestr raqami tartibi bo'yicha ro'yxatdan o'tkazilgan.
Litsenziya raqami: №095310.

**Manzilimiz: Toshkent shahri Yunusobod
tumani 15-mavze 19-uy**





+998 93 718 40 07



<https://muhandislik-iqtisodiyot.uz/index.php/journal>



t.me/yait_2100