

# MUHANDISLIK

## & IQTISODIYOT

№8

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

2025  
avgust



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



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,  
273 sahifa, avgust, 2025-yil.

## Bosh muharrir:

**Zokirova Nodira Kalandarovna**, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

## Bosh muharrir o'rinbosari:

**Shakarov Zafar G'afarovich**, 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.





# 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

|                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Visualdsp++ platformasida raqamli signal protsessorlarini dasturlash texnologiyasi .....                                                                  | 12  |
| <b>Ibragimov Sanjarbek Salijanovich</b>                                                                                                                   |     |
| Tadbirkorlik tushunchasi: falsafiy-iqtisodiy va ijtimoiy-psixologik tahlil.....                                                                           | 19  |
| <b>Rajabov Sirojiddin Mansurovich</b>                                                                                                                     |     |
| Xorijiy davlatlar sog'liqni saqlash tizimida investitsiya loyihalarini davlat-xususiy sheriklik asosida moliyalashtirish mexanizmi.....                   | 26  |
| <b>Karabayev Sanjar Abdusamatovich</b>                                                                                                                    |     |
| Feasibility study and site optimization for small hydropower plants along the syr darya river in Uzbekistan.....                                          | 33  |
| <b>Karimov Mustafu Aminbayevich, Berdiyev Usmon Tolib o'g'li</b>                                                                                          |     |
| Agrar sohada risklarning o'zaro ta'sirchan tarzda namoyon bo'lish xususiyatlari.....                                                                      | 42  |
| <b>Baymirzaev Dilmurod Nematovich</b>                                                                                                                     |     |
| Parrandachilik mahsulotlari omilli tahlil qilishda indeks usulidan foydalanish. ....                                                                      | 47  |
| <b>Bobomuratov Imomkul Islamovich</b>                                                                                                                     |     |
| O'zbekiston telekommunikatsiya sohasida raqamlashtirish jarayonlarini samarali boshqarish: "O'zbektelekom" ak misolida .....                              | 56  |
| <b>Islamov Javlon Rasulovich</b>                                                                                                                          |     |
| Tijorat banklari amaliyotida jinoiy daromadlarni legallashtirishga qarshi kurashish yo'nalishlari.....                                                    | 59  |
| <b>Rustamov Sunnatillo Rustamovich</b>                                                                                                                    |     |
| Tadbirkorlikning mamlakat yaimdagi ulushi va uning o'zgarish tamoyillari .....                                                                            | 66  |
| <b>Ibragimova Gulchexra Toxirovna</b>                                                                                                                     |     |
| Norasmiy bandlikning yashirin iqtisodiyot shakllanishi va dinamikasiga ta'sirining nazariy va amaliy jihatlar .....                                       | 72  |
| <b>Xasanov Jaxongir Jamshidovich, Sharifxo'jayev Shavkat Oqilovich</b>                                                                                    |     |
| O'zbekiston Respublikasi tijorat banklari tomonidan kichik biznes subyektlariga ajratilgan kreditlarning amaliy holati va dinamikasi .....                | 80  |
| <b>Irgasheva Nigora Akbarovna</b>                                                                                                                         |     |
| Туристская мобильность стран персидского залива как устойчивый и перспективный источник въездного туризма в Узбекистан .....                              | 87  |
| <b>Гольшева Елена Вячеславовна; Додиев Феруз</b>                                                                                                          |     |
| O'zbekistonda sug'urta bozori holati va o'sish sur'ati .....                                                                                              | 96  |
| <b>Bazarov Zakir Xonqulovich</b>                                                                                                                          |     |
| Davlat xaridlarida narxning eng yuqori chegarasi: huquqiy mexanizm va amaliy ahamiyati .....                                                              | 101 |
| <b>Mamasoliyev Abrorbek Abdug'ani o'g'li</b>                                                                                                              |     |
| O'zbekiston respublikasida norasmiy sektor va aholini norasmiy mehnat bilan bandligining legallashtirishini boshqarishni istiqbolli ko'rsatkichlari ..... | 105 |
| <b>Qoraboev Nuriddin Pardaboy o'g'li</b>                                                                                                                  |     |
| Разработка инновационных инструментов и механизмов стратегического управления проектами.....                                                              | 110 |
| <b>Мансурова Севара Мансуровна</b>                                                                                                                        |     |
| Sug'urta kompaniyalarida moliyaviy barqarorlikni ta'minlashning metodologik asoslari: nazariy va amaliy jihatlar .....                                    | 114 |
| <b>Haqberdiyev Bekzod O'ktamovich</b>                                                                                                                     |     |
| Учёт и аудит обязательств на предприятиях: анализ зарубежного опыта и практики .....                                                                      | 120 |
| <b>Халыкназарова Гулназ Жалгасбай кызы</b>                                                                                                                |     |
| Theoretical Basis for Ensuring a Cotton Layer on a Conveyor Belt .....                                                                                    | 126 |
| <b>G'.R.Rakhmatov</b>                                                                                                                                     |     |



|                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Korxonalarning moliyaviy barqarorligini boshqarish .....                                                                                              | 132 |
| <b>Foziljonov Ibrohimjon Sotvoldix o'g'li</b>                                                                                                         |     |
| Targetlangan iqtisodiy siyosat orqali kambag'allikka qarshi kurash.....                                                                               | 138 |
| <b>Baratov J.N.</b>                                                                                                                                   |     |
| Jismoniy shaxslarning daromadlariga deklaratsiya asosida soliq solish mexanzmini takomillashtirish .....                                              | 144 |
| <b>Ibragimov Zafar Ismailovich</b>                                                                                                                    |     |
| Bekobod sement zavodida ishlab chiqarish jarayonlarida og'ir mehnat omillarini avtomatlashtirish orqali xavfni kamaytirish .....                      | 152 |
| <b>Ishchanov Atabay Reyimberdiyevich</b>                                                                                                              |     |
| Tadbirkorlikning mamlakat yaimdagi ulushi va uning o'zgarish tamoyillari .....                                                                        | 159 |
| <b>Ibragimova Gulchexra Toxirovna</b>                                                                                                                 |     |
| Практические подходы к выявлению и оценке налоговых рисков на основе сегментации деятельности налогоплательщиков .....                                | 164 |
| <b>Голубова Ольга Сергеевна, Элбаева Мукаддас Рашидовна</b>                                                                                           |     |
| Tijorat banklari faoliyatini transformatsiyalashuv jarayonlarini takomillashtirish .....                                                              | 170 |
| <b>Kulboyeva Nargiz Majitovna</b>                                                                                                                     |     |
| O'zbekistonda innovatsion faoliyatga ta'sir qiluvchi tashqi va ichki omillar.....                                                                     | 176 |
| <b>Anasxon Yunusov A'zamjon o'g'li</b>                                                                                                                |     |
| Применение метода анализа иерархий для выбора оптимальной экспортной стратегии: на примере Узбекских предприятий, экспортирующих товары в россию..... | 180 |
| <b>Муниса Мирзалиевна Турдибаева</b>                                                                                                                  |     |
| Processing of Sulfide Copper Ores With Copper and Silver Recovery. ....                                                                               | 185 |
| <b>Mamaisakova Zebo Bahodir qizi</b>                                                                                                                  |     |
| Korxonalar eksport salohiyatini rivojlantirishning xorij tajribasi.....                                                                               | 189 |
| <b>Naimxonov Ma'rufxon Zokirxon Og'li</b>                                                                                                             |     |
| Corporate Governance Reforms and Financial Performance Dynamics: Evidence From State-Owned Banks in Uzbekistan .....                                  | 194 |
| <b>Yusufjon Pulatov, Bakhtiyor Islamov</b>                                                                                                            |     |
| Tijorat banklari tomonidan kreditlash mexanizmining uslubiy jihatlari va o'ziga xos xususiyatlari .....                                               | 200 |
| <b>Kaxxarov Ulug'bek Xalmatovich</b>                                                                                                                  |     |
| Восстановление геологических сигналов с использованием кубических базисных сплайнов.....                                                              | 204 |
| <b>Гофуржонов Мухаммадали, Гофуржонова Маржона</b>                                                                                                    |     |
| Tijorat banklari moliyaviy barqarorligini ta'minlashning amaliy jihatlari .....                                                                       | 210 |
| <b>Madaminov Bekzod Allayarovich</b>                                                                                                                  |     |
| Aholi moliyaviy savodxonligini moliyaviy siyosat instrumentlari orqali oshirish imkoniyatlari .....                                                   | 215 |
| <b>Irgashev Anvar Farxodovich</b>                                                                                                                     |     |
| Yashil moliyalashtirishda moliyaviy instrumentlar.....                                                                                                | 220 |
| <b>Abduraxmonov Alimardon Sodiq o'g'li</b>                                                                                                            |     |
| Sanoatni rivojlanish tendensiyalari va o'ziga xos xususiyatlari (Xorazm viloyati misolida).....                                                       | 224 |
| <b>Salayev Jasurbek Komilovich</b>                                                                                                                    |     |
| Tijorat banklari raqobatbardoshlik qobiliyatini oshirish bo'yicha xorij tajribasi va uni O'zbekiston tijorat banklari faoliyatida qo'llanilishi.....  | 230 |
| <b>Shamsiyev Nurbek Fazliddin o'g'li</b>                                                                                                              |     |
| Mamlakatda yashirin iqtisodiyotga qarshi kurashish dastaklari .....                                                                                   | 237 |
| <b>Raxmonov Lochin To'xtamishovich</b>                                                                                                                |     |
| Theoretical principles of cluster formation in metallurgical industry enterprises.....                                                                | 243 |
| <b>Abdullayeva Matluba Nematovna</b>                                                                                                                  |     |
| Трансграничные денежные переводы в Республику Узбекистан и благосостояние граждан .....                                                               | 250 |
| <b>Садыков Азиз Миршапович</b>                                                                                                                        |     |



|                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tashkilot boshqaruv samardorligini oshirishning xorij tajribasi .....                                                        | 254 |
| <b>Usmonov Adxamjon A'zamjonovich</b>                                                                                        |     |
| Xizmatlar sohasining raqobatbardoshligini oshirish yo'llari (Samarqand viloyati misolida) .....                              | 261 |
| <b>Sheraliyev Axror Sodikovich</b>                                                                                           |     |
| Зависимость оптимального тока и коэффициента полезного действия термопреобразователя от геометрии ветвей термоэлемента ..... | 266 |
| <b>Норбутаев Маъсуджон Абдурасулович</b>                                                                                     |     |



# ЗАВИСИМОСТЬ ОПТИМАЛЬНОГО ТОКА И КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ОТ ГЕОМЕТРИИ ВЕТВЕЙ ТЕРМОЭЛЕМЕНТА

**Норбутаев Маъсуджон Абдурасулович**

Старший преподаватель Ферганского государственного технического университета,

Email: [nmasudjon@gmail.com](mailto:nmasudjon@gmail.com).

ORCID: [0000-0003-0471-2593](https://orcid.org/0000-0003-0471-2593)

**Аннотация:** В работе представлены методы исследования зависимости параметров термоэлектрического преобразователя энергии, от правильного выбора геометрических размеров ветвей термоэлемента и, результаты расчета. Показаны наличие сильного рассогласования между рабочим током и оптимальным током, позволяющий обеспечить высокое значение коэффициента полезного действия источника тока. Объяснены причины рассогласования токов на примерах расчета однокаскадных и двухкаскадных термоэлементов. Указаны обеспечение высокую точность расчета, методом решения уравнения теплопроводности, внедрением метода последовательных приближений. Приведенные результаты исследования доказывает предположения исследователей по этой проблеме.

**Ключевые слова:** преобразование энергии, полупроводник, термоэлемент, источник тока, оптимальный ток, рабочий ток, эффективность, рассогласование, каскады.

**Annotatsiya:** Ushbu ishda termoelektr energiya o'zgartirgich parametrlari va termoelektr element shoxobchalarining geometrik o'lchamlarini to'g'ri tanlash o'rtasidagi bog'liqlikni o'rganish metodlari hamda hisoblash natijalari taqdim etilgan. Ishchi tok va optimal tok o'rtasida sezilarli nomuvofiqlik mavjudligi ko'rsatilgan bo'lib, bu tok manbaining yuqori foydali ish koeffitsientini ta'minlash imkonini beradi. Bir pog'onali va ikki pog'onali termoelektr elementlar hisoblari misolida toklarning nomuvofiqlik sabablari tushuntirilgan. Hisoblashlarning yuqori aniqligi issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini yechish va ketma-ket yaqinlashuvlar usulini qo'llash orqali ta'minlangan. Olingan natijalar ushbu muammo yuzasidan olimlar taxminlarini tasdiqlaydi.

**Kalit so'zlar:** energiyani o'zgartirish, yarim o'tkazgich, termoelektr element, tok manbai, optimal tok, ishchi tok, samaradorlik, nomuvofiqlik, pog'onalar.

**Abstract:** This paper presents research methods for analyzing the dependence of thermoelectric energy converter parameters on the proper selection of the geometric dimensions of thermoelement branches, along with calculation results. A significant mismatch between the operating current and the optimal current is demonstrated, which determines the high efficiency of the current source. The causes of current mismatch are explained using examples of single-stage and two-stage thermoelements. High calculation accuracy is ensured through solving the heat conduction equation and applying the method of successive approximations. The obtained results confirm the assumptions of researchers regarding this issue.

**Keywords:** energy conversion, semiconductor, thermoelement, current source, optimal current, operating current, efficiency, mismatch, cascades.

## ВВЕДЕНИЕ

Среди множества альтернативных источников электрической энергии существует область аналогичной возможности, которая к сожалению в пределах нашей Республики Узбекистан остаётся практически вне поле зрения исследователей. Это - термоэлектрическая энергетика и, в настоящее время она, все так и, находится в центре внимания исследователей физиков, занимающихся полупроводниковыми материалами природы. Работы узбекских ученых [1÷3], которые имеются в открытой печати, не полностью раскрывают о наличии проблем в этом направлении и какие перспективы имеют источники электрической энергии на основе полупроводников, обладающие рядом преимуществ по сравнению с другими видами преобразователей энергии.

Термоэлектрическая энергетика, в основе развития которого лежит весомый труд выдающегося физика –ученого А.Ф Иоффе, является одним из альтернативных источников энергии [4], при внедрении



которого возможно используя вторичных источников тепловой энергии возможно получить электрическую энергию. Источниками тепловой энергии могут служить как углеродные топлива так и объекты в которых используются тепловая энергия с последующим бесполезным выбросом использованного тепла [5÷7]. Кроме того, имеются возможности энергии радиоактивных источников тепловой энергии и солнечного излучения [8÷9]. Самые главные преимущества этих преобразователей является автономность, экологическая чистота, долговечность и транспортабельность. Благодаря этим преимуществам они за рубежом нашли достаточно широкое применение [10÷13].

#### Постановка вопроса

Возникает вопрос: почему до сих пор термоэлектрические преобразователи энергии (ТЭП) не используются в широких масштабах и, в какой-то степени, остаётся вне поле интереса энергетиков и специалистов? Ответом на этот вопрос является относительно низкий коэффициент полезного действия (к.п.д.) агрегата и весогабаритные характеристики его [11]. С целью улучшения к.п.д. ТЭП, до сегодняшнего дня, проделаны много работ по созданию новых материалов и сплавов, введению легирующих примесей и модернизации технологии получения полупроводниковых материалов [14÷16] а так же изготовления ветвей термоэлементов (ТЭ). Несмотря на это, остаётся множество вопросов и проблем, на которые следует обратить внимание. На наш взгляд, от результатов положительного решения этих проблем, зависит возрождение термоэлектрической энергетики в рядах других источников электричества.

Исходя из вышеизложенного, и по результатам изучения новизны зарубежной научной литературы, полагается, что необходимо проверить влияние геометрических размеров ветвей ТЭ, коммутационных пластин на значений выходных параметров источника тока. Такое предположения основывается на общеизвестные законы Ома, Джоуля-Ленца, Томсона и физики электричества. Кроме того, в зависимости от отклонения значения рабочего тока от оптимального, конечны результат изменится в худшую сторону. На практике, в большинстве случаев, с целью получения больших токов и мощностей изготавливаются ТЭП с увеличенными геометрическими размерами. Однако, в основной литературе по термоэлектрической энергетике [7], в формулу к.п.д. входят как длина, так и поперечное сечение ветвей термоэлемента, что диктует важности глубокого изучения этого вопроса.

#### Методика расчета

Коэффициент полезного действия (КПД) термоэлектрического преобразования тепловой энергии в электрическую определяется сложной аналитической зависимостью. В наиболее общем виде данное выражение имеет следующий вид [7]:

$$\eta = \frac{\alpha^2 (T_r - T_x) \frac{m}{r(m+1)^2}}{\alpha^2 (T_r - T_x) \frac{l}{T_r r(m+1)} - \frac{1}{2} (T_r - T_x) - \frac{1}{2} \frac{\alpha^2 (T_r - T_x)}{r(m+1)^2}} = \frac{(T_r - T_x)}{T_r} * \frac{\frac{m}{m+1}}{1 + \frac{k_r}{\alpha^2} * \frac{m+1}{T_r} - \frac{1}{2} (T_r - T_x) \frac{1}{m+1}} \quad (1)$$

где,  $\alpha$  - коэффициент термоэлектродвижущей силы,  $T_r$  и  $T_x$  - соответственно, температуры горячих и холодных спаев ТЭ,  $m=R/r$  - соотношения внешней нагрузки ( $R$ ) к внутренней ( $r$ ),  $l$  - длина ветви термоэлемента,  $k_r$  - параметр, учитывающий значений удельного сопротивления  $\rho_n$  и  $\rho_p$  ветвей термоэлектрического материала  $\rho_n$ ,  $\rho_p$ , теплопроводности  $\chi_n$ ,  $\chi_p$  и поперечного сечения их  $S_n$ ,  $S_p$ .

Приведенная формула наглядно демонстрирует взаимосвязь КПД преобразователя с основными электрофизическими и геометрическими параметрами. Следует отметить, что температурные значения  $T_r$  и  $T_x$  могут регулироваться в процессе эксплуатации. Однако другие характеристики, такие как теплопроводность и удельное сопротивление материала, строго зависят от его природы и структуры.

Проведённый математический анализ показал, что для обеспечения максимальной эффективности работы преобразователя необходимо при фиксированных значениях  $T_r$ ,  $T_x$ ,  $\alpha$ ,  $m$ ,  $\rho$  выбирать такие размеры поперечного сечения ветвей, при которых параметр  $k_r$  принимает минимальное значение.

После проведения промежуточных вычислений получаем зависимость:

$$k_r = (\chi_n S_n + \chi_p S_p) \left( \frac{\rho_n}{S_n} + \frac{\rho_p}{S_p} \right). \quad (2)$$

Из формулы (2) очевидно следует, что для достижения высокой эффективности преобразователя требуется минимизация параметра  $k_r$ . При этом важно учитывать взаимное влияние удельного сопротивления, теплопроводности и геометрии ветвей.

Для решения данной задачи целесообразно использовать метод решения уравнения теплопроводности в полупроводниковых твёрдых телах. Применение этого метода оправдано возможностью учёта зависимости теплопроводности материала от температуры в различных сегментах ветви термоэлемента. Несомненно, связь между теплопроводностью материала и процессом преобразования тепловой энергии в электрическую является фундаментальной.



На рисунке 1 представлен общий вид термоэлемента, а на рисунке 2 – схема разбиения ветви на участки. Для анализа зависимости оптимального тока от длины ветви, одна из ветвей условно делится на несколько равных сегментов с длинами  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ . Подобное разбиение позволяет рассматривать распределение температуры и тока в каждом участке, что облегчает определение оптимального режима работы. При этом начало координат принимается в середине ветви, где ток практически совпадает с оптимальным.

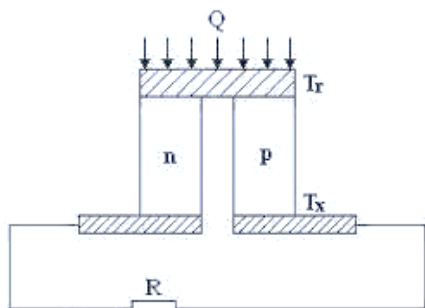


Рис.1. Общий вид термоэлемента.

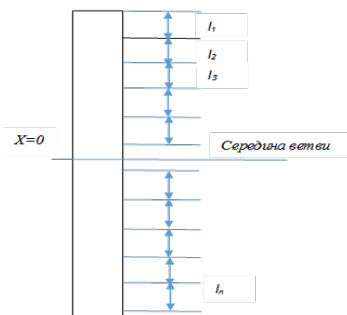


Рис.2. Схема распределения ветви.

Для каждого сегмента, исходя из соответствующих температур, решается уравнение теплопроводности. При этом учитывается, что температура на каждом малом участке отличается от температур горячего и холодного концов. Следовательно, оптимальный ток для каждого участка также будет различным. В данной постановке задачи решающую роль играют электрофизические параметры материала.

Как показано в работе [4], если продифференцировать выражение (2) по отношению  $d\left(\frac{S_n}{S_p}\right)$ , то получаем условие:

$$\frac{\rho_n \kappa_p}{\kappa_n \rho_p} = \left(\frac{S_n}{S_p}\right)_{opt}^2 \quad (3)$$

и находим, что будет

$$(k_r)_{min} = \left(\sqrt{\kappa_n \rho_n} + \sqrt{\kappa_p \rho_p}\right)^2 \quad (4)$$

В данном случае доказан тот факт, что величина, обратно пропорциональная к значению находящегося в знаменателе выражения (4), имеющее место в формуле (1), в термоэлектрической энергетике называется термоэлектрической добротностью полупроводникового материала. Она принята обозначением  $Z$ . Во всех исследовательских работах доказана положительное влияние этого параметра на к.п.д. ТЭП. И, в данном случае наше предположение с этим фактом совпадает.

Таким образом, для решения поставленной задачи, решаем уравнение теплопроводности [19]. Применим метод последовательных приближений. Этот метод, по сравнению с другими методами обладает высокой точностью. Особенно, использование компьютерного моделирования на современном технологии, способствует получить наиболее достоверных результатов искомой проблемы. Данную методику можно использовать для определения аналогичных задач двух и трехкаскадных термоэлементов. Последняя тоже является важной при создании термоэлектрических преобразователей из низко- и среднетемпературных материалов. Хотя на практике и теории встречается очень мало, однако не исключено использование трехкаскадных термоэлементов. Отметим, что реализация ТЭ трехкаскадного термоэлектрического материала зависит от спроса потребителя электрической энергии, экономических показателей и весогабаритных характеристик источника и области его применения. Поскольку эти проблемы также требуют создание ТЭП с оптимальными геометрическими размерами, то использованный метод можно считать выбранным правильно.

Последовательность применения метода такова: при исследовании двухкаскадного термоэлектрического преобразователя использованием точного решения уравнения теплопроводности, задавались условия фиксированных значений отношения длин каскадов  $n$  - и  $p$  - ветвей ТЭ. В начале расчета задавались приближенные значения температуры стыка каскадов ( $T_c$ ) из условия равенства термоэлектрической эффективности веществ каскадов на стыке и вычислялось отношение длин каскадов по приближенной формуле [14]:



$$L_1 = \frac{\bar{\chi}_\ell (T_{c\ell} - T_{c\ell-1})}{\sum_\ell \bar{\chi}_\ell (T_{c\ell} - T_{c\ell-1})} \cdot L \quad (5)$$

где  $\bar{\chi}_\ell$  - теплопроводность каскада за номером  $\ell$ ,  $T_{c\ell}$  и  $T_{c\ell-1}$  - соответственно температуры стыка ( $\ell$ )-го и ( $\ell-1$ )-го каскадов,  $L$  - длина каскада.

Разумеется, в перечень исходных данных входили электрофизические параметры конкретного полупроводникового материала. В нашем случае в качестве материалов ветвей однокаскадного и двухкаскадного ТЭП, в расчет вводились лучшие составы на основе тройных сплавов BiTeSb (р - тип) и BiTeSe (n - тип), получаемые методом зонной кристаллизации [14]. Этот сплав имел максимальное значение высокой термоэлектрической добротности при температуре 0°C. При комнатной температуре параметры ветвей имеют следующие значения: р - тип  $\alpha=230$  мкВ/град,  $\sigma=930$  см<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>,  $\chi=16,4$  мВт/см.град; n - тип  $\alpha=230$  мкВ/град,  $\sigma=975$  см<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>,  $\chi=16,3$  мВт/см.град. Для второго (высокотемпературного) каскада выбраны вещества с энергетическими параметрами при комнатной температуре, равными у n - типа:  $\alpha=160$  мкВ/град,  $\sigma=1650$  см<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>,  $\chi=18,1$  мВт/см.град.; у р - типа:  $\alpha=143$  мкВ/град,  $\sigma=2250$  см<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>,  $\chi=20,9$  мВт/см.град. Исходя из предполагаемой области температурного режима, расчетный интервал температуры, для определения значения рассогласования по току термоэлемента и к.п.д., принимались равными при температурах горячего спая от 373 до 533 К с шагом 20 К. Потери, связанные с коммутацией (спайванием ветвей и токопроводящими переключками) пренебрегались.

#### Результаты исследования и их обсуждение

По результатам исследования были получены графические зависимости значений оптимального тока и коэффициента полезного действия от длины ветвей термоэлемента. Они показаны на рисунках соответственно 3 (для n-ветви) и 4 (для р-ветви). График включает в себя зависимость рассогласования по току от  $T_r$  ветвей ТЭ для различной разности температур, когда рассогласование максимально. Как видно из рисунка, что рассогласование токов на горячей стороне полуветви ТЭ увеличивается высокими темпами. Это объясняется с сильной зависимостью удельного сопротивления термоэлектрического материала. Удельное сопротивление р- ветви, по сравнению полуветви с отрицательной проводимостью растет быстрее, что и в конечном итоге приводит резкому увеличению искомой характеристики (рис.4). Эти два графика наглядно включают в себя функциональную зависимость рассогласования по току горячих и холодных концов термоэлемента при зафиксированных значениях  $T_x$ . Видно, что на горячем конце ветви очень большая разница между значением оптимального тока, который способствовал бы обеспечению максимального значения коэффициента преобразования ТЭП, по сравнению с рабочим током. Этого явления можно объяснить тем, с ростом температуры горячего спая что оптимальный ток малого участка при температуре стыка растет быстрее, чем рабочий ток ветви. Рассогласование по к.п.д. на холодном конце первого и горячем конце второго каскада существенно отличаются у n - и р - ветвей. Однако этот параметр принимает очень близкие значения на горячем конце второго каскада.

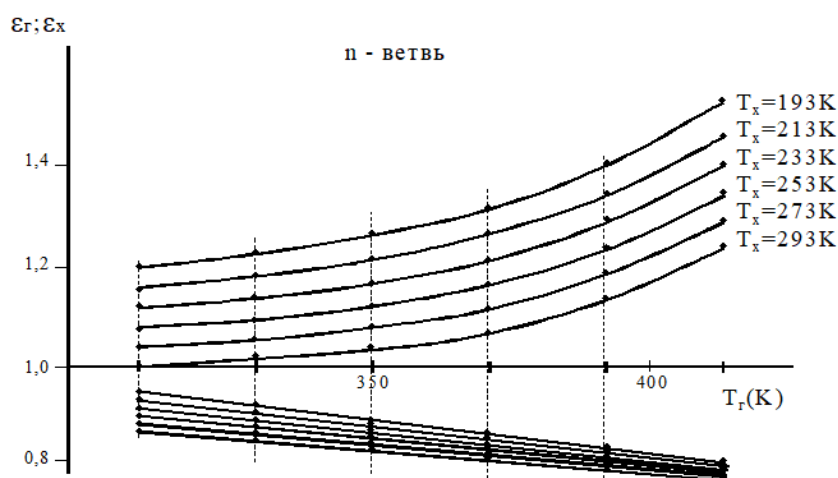


Рис.3. Рассогласования по току горячих и холодных концов термоэлемента при зафиксированных значениях  $T_x$  (n - ветвь).

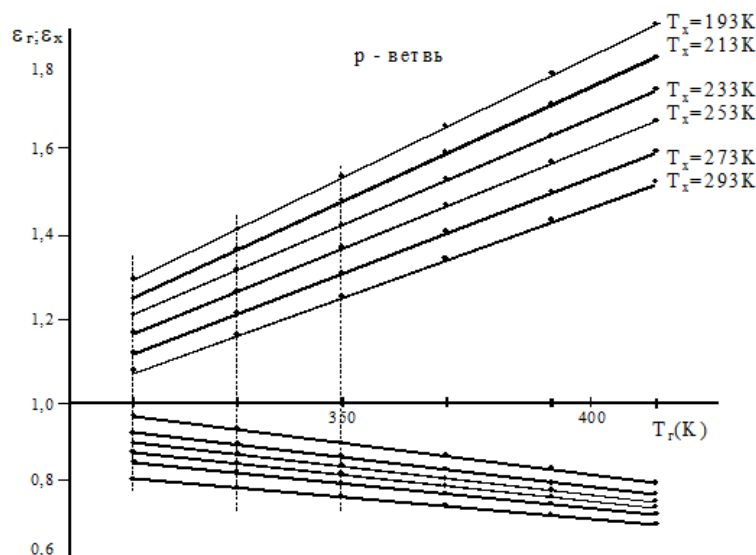


Рис 4. Рассогласования по току горячих и холодных концов термоэлемента при зафиксированных значениях  $T_x$  (p – ветвь).

На рисунке 5 приведены результаты расчета зависимости рассогласования по току горячих, холодных концов ветвей и стыка от температуры горячего спая для двухкаскадного термоэлемента: для n- и p- типа. Здесь так же наблюдается относительно быстрый рост рассогласования по току на «холодных» и «горячих» концах ветви второго каскада термоэлементов. Но, при каскадировании ветвей по каким – то причинам, рассогласование по току горячего конца первого каскада уменьшается (2, 2'). Такое явление, диктует полезности в некоторой степени, каскадирование ветвей ТЭ. Отметим, что поскольку горячий конец первого каскада имеет температуру относительно горячему концу второго каскада, мы используем термины «холодный» и «горячий». Сопоставление значений рассогласований горячим концом первого каскада (2,2') холодным концом (3,3') второго каскада показывает правильность растолкования результатов. Кроме того, на втором каскаде двухкаскадного варианта так же имеет место сильное отличие оптимальных и рабочих токов между холодными и горячими спаями. Обозначения  $T_c^n$  и  $T_c^p$  означают температуры стыка двухкаскадного ТЭ соответственно для n и p – ветви. Разница в температурах стыка связано с физическими свойствами полупроводника.

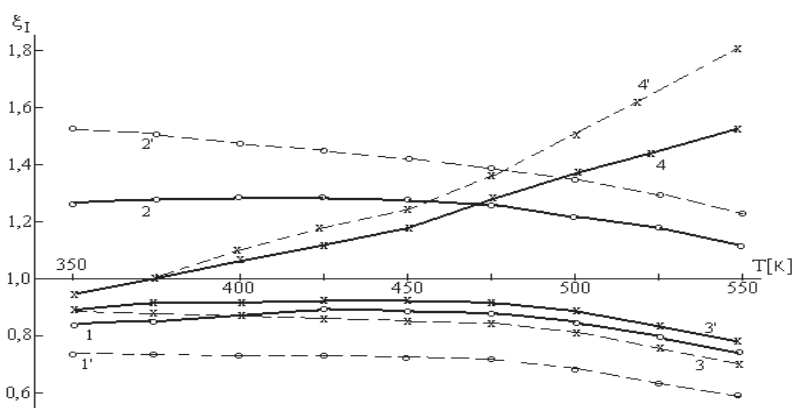


Рис. 5. Зависимость рассогласования по току горячих, холодных концов ветвей и стыка от температуры горячего спая для двухкаскадного термоэлемента: для n- и p- типа соответственно 1,1' -холодный конец первого каскада; 2,2',3,3' - горячий конец первого и холодный конец второго каскада. 4,4' - горячий конец второго каскада  $T_c^p = 342$ ;  $T_c^n = 351$ ;  $T_x = 193$  K.

Приведенные результаты, неявно включают в себя зависимости других электрических параметров ветвей термоэлемента и в целом термоэлектрического преобразователя, зависимости влияния геометрических размеров ветвей термоэлемента на другие электрические параметры источника питания. Если рассуждать хотя бы исходя из закона Ома, то можно понять, что отклонение от возможных максимальных значений оптимального тока, какие параметры могут потерять полезность в



внесении свой вклад преобразовании энергии. В наших исследованиях так же было проверено влияние геометрии ветвей на значений выходной электрической мощности, теплопроводности коэффициента термоэлектродвижущей силы материала. Все это проверялось для конкретных температурных интервалов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проделанных работ можно сделать следующие выводы. Создание высокоэффективных термоэлектрических преобразователей существенно зависит от геометрических размеров ветвей термоэлемента. Здесь смело можно добавить то, что такой же параметр, то есть размеры коммутационных пластин ветвей термоэлемента и токоотводящих проводов, может оказать существенной влияние на выходные параметры ТЭП. Прделанный расчет нами, позволяет определить ход физического процесса в объеме термоэлектрического материала для любого полупроводника в любом интервале температур. Теоретическое прогнозирование свойств ТЭП способствует правильному проектированию конструкции термоэлектрических источников тока. Использование моделирования для этих целей позволяет решать эту проблему за считанные минуты. Уменьшение разности в токах приводит к увеличению значения полезной генерируемой электрической мощности на нагрузке преобразователя, последствием которого является увеличение коэффициента полезного действия агрегата. Метод применим для всех полупроводниковых материалов и сплавов.

### Список использованной литературы:

1. L.O.Olimov, I.I.Anarboev, A.M.Mamirov "Method of manufacturing semiconductor granular thermoelectric materials". Journal of Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan No. 4, 2020. Pp. 20-24
2. Абдурахманов Б.М. Ашуров Х.Б. Адиллов М.М. Кучканов Ш.К. Максимов С.Е. Оксенгендлер Б.Л. Роль резонансного туннелирования в усилении термоэлектрических свойств гранулированного кремния. Материалы международной научно-практической конференции «Кремний-2014». Институт геохимии А.П.Виноградова СО РАН, г. Иркутск, 2014г. 7-12 июля.
3. H.O.Olimov, A.M.Kasimakhunov. Thermoelectric power sources ( uzb.). 1994 Fergana, Publishing House: FerPI, p. 212.
4. A.F. Ioffe. Semiconductor thermoelements. M.-L., 1956.
5. Okhotin A.S., Pushkarsky A.S., Borovikova R.P., Simonov V.A. Methods for measuring the characteristics of thermoelectric materials and converters. M.: Nauka, 1974.
6. Goltsman B. M., Kudinov V. A., Smirnov I. A. Edited by Moyzhes B. Ya. Semiconductor thermoelectric materials based on Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>. Nauka Publishing House, M., 1972.
7. E.K. Jordanishvili. Thermoelectric power sources. 1968 Publishing house: Soviet radio.
8. Anatychuk L.I. Thermoelements and thermoelectric devices. Directory. Publishing house: Nukovo dumka, Kiev, 1979.
9. A.M.Kasimahunova. Photothermoelectric converters and their application. Monograph. Publisher: Fer PI, 2003 P. 256.
10. Fernández - Yáñez, P.; \_ \_ \_ \_ Romero, V.; Armas, O.; Cerretti, G. \_ ( September 2021). "Thermal management of thermoelectric generators for waste energy recovery" . Applied Thermal Engineering. 196 :117291. doi : 10.1016/j.applthermaleng.2021.117291 .
11. Adroja, Mr. Nikunj ; B. Mehta, Prof Shruti ; Shah, Mr Pratik (2015-03-01). "Review of thermoelectricity to improve energy quality" . 2 - Issue 3 (March-2015). JETIR.
12. "New solar panels generate electricity long after the sun sets" . April 11, 2022.
13. Chen, Meng (2015-04-29). "The Deep Sea Water and Heat Energy of Thermoelectric Generation Study" . ECS Meeting Abstracts. The Electrochemical Society. MA2015-01(3):706. doi : 10.1149/MA2015-01/3/706 . Retrieved 11 March 2019.
14. Goltsman B.M., Sarkisyan V.Sh., Stilbans L.S., Shlykov V.N. Investigation of the influence of pores and grain boundaries on the electrical and thermal conductivity of thermoelectric materials // Inorganic Materials. 1969. V. 5, No. 2. S. 283-286.
15. Lukyanova L.N., Kutasov V.A., Konstantinov P.P. Activation of n-type thermoelectric material based on ( Bi, Sb )<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> for temperatures below 200 K // FTT. 2004. T. 46, No. 8. S. 1366-1370.
16. Yang RG and Chen G. Thermal conductivity modeling of periodic two-dimensional nanocomposites // Phys. Rev. \_ b. 2004 Vol.69.P. \_ \_ 195316/1-10.
17. A.M. Kasymakhunov. Theoretical calculation of efficiency. photothermal element with two and multistage converters. Scientific and technical journal FerPI 1998 No. 2,3 pp. 83-89.
18. Kasimahunova A.M., Usmanov Ya.U., Latipova M.I. Technology for obtaining thermoelectric materials based on Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>. (uzb.). Monograph. Publishing house: "Classic", Fergana, 2022
19. VG Pimenov, Numerical methods for solving the heat equation with delay, Vestn. Udmurt University. Section Math. Fur. Computer. Nauki, 2008, issue 2, 113–116.
20. A.M. Kasimahunova, S.I. Zokirov, M. Norbutaev. Investigation of the mechanism of current flow along the branches of one and two cascade thermoelements. Materials of the Republican conference "Modern problems of semiconductor physics". Karakalpakstan, KarSU. 2020



# **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:** Iskandar Islomov

---

**2025. № 8**

---

© 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](https://t.me/yait_2100)