

ISSN 2181-7200

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ТАЪЛИМ, ФАН  
ВА ИННОВАЦИЯЛАР ВАЗИРЛИГИ**

---

**ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ**

# **И Л М И Й – Т Е Х Н И К А Ж У Р Н А Л И**



===== 2024. Том 28. № 5 =====

***НАУЧНО–ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ ФерПИ***

***SCIENTIFIC – TECHNICAL  
JOURNAL of FerPI***

**ФАРҒОНА – 2024**

## ФарПИ ИЛМИЙ-ТЕХНИКА ЖУРНАЛИ ТАҲРИРИЯТИ

1997 йилдан буён нашр этилади.  
Йилига 6 марта чоп қилинади.

ЎзР Олий аттестация комиссияси  
Раёсатининг 2013 йил 30 декабрдаги  
№201/3 қарори билан журнал ОАК нинг  
илмий нашрлари рўйхатига киритилган

Бош муҳаррир

Ў.Р. САЛОМОВ

### Тахрир хайъати:

#### Физика-математика фанлари:

1. Вайткус Ю.Ю., академик, ф.-м.ф.д., проф. – Вильнюс, Литва ДУ
2. Тарасенко С.А., ф.-м.ф.д., проф. – С-Пб. ФТИ, РФА
3. Мўминов Р.А., академик, ф.-м.ф.д., проф. – Ўз ФА ФТИ
4. Сиддиқов Б.М., Prof. of Mathem. – Ferris State University, USA
5. Нуриддинов И., ф.-м.ф.д., проф. – Ўз ФА ЯФИ
6. Юлдашев Н.Х., ф.-м.ф.д., проф. – Фар ПИ

#### Механика:

1. Алиматов Б.А., т.ф.д., проф. – Белгород ДТУ, Россия
2. Сиваченко Л.А., академик, т.ф.д., проф. – Бел.-Рос. Университет, Беларусия
3. Тожиёв Р.Ж., т.ф.д., проф. – Фар ПИ
4. Тўхтақўзиёв А., т.ф.д., проф. – Ўз ФА МЭИ
5. Файзиматов Ш.Н., т.ф.д., проф. – Фар ПИ
6. Валиёв Г.Н., т.ф.д., проф. – Фар ПИ

#### Қурилиш:

1. Аббасов Ё.С., т.ф.д. – Фар ПИ
2. Ақромов Х.А., т.ф.д., проф. – Тош АҚИ
3. Одилжаев А.Э., т.ф.д., проф. – Тош ТЙТМИ
4. Раззаков С.Ж., т.ф.д., проф. – НамМҚИ
5. Шинкова Н.Б. т.ф.д. проф. – Москва Арх. Инст., Россия

#### Энергетика, электротехника, электрон қурилмалар ва ахборот технологиялар

1. Арипов Н.М., т.ф.д., проф. – Тошкент ТЙТМИ
2. Хайриддинов Б.Э., т.ф.д., проф. – Қарши ДУ
3. Қасымаҳунова А.М., т.ф.д., проф. – Фар ПИ
4. Расулов А.М., т.ф.д. – ТАТУ ФФ
5. Эргашев С.Ф., т.ф.д. – Фар ПИ

#### Кимёвий технология ва экология

1. Салиханова Д.С., т.ф.д. проф. – Ўз ФА УНКИ
2. Ибрагимов А.А., к.ф.д., проф. – Фар ДУ
3. Ибрагимов О.О., к.х.ф.д. проф. – Фар ПИ
4. Омонов Т.С., ф.-м.ф.д., проф. – Альберта Университети, Эдмонтон, Канада.
5. Хамдамова Ш.Ш., т.ф.д. – Фар ПИ
6. Хамроқулов З.А., т.ф.д. – Фар ПИ

#### Ижтимоий-иқтисодий фанлар

1. Ертаев К.Е., и.ф.д. проф. – Тараз ДУ, Қозоғистон
2. Иқромов М.А., и.ф.д., проф. – Тош ИУ
3. Искандарова Ш.М., фил.ф.д., проф. – Фар ДУ
4. Исманов И.Н., и.ф.д., проф. – Фар ПИ
5. Қудбиев Д., и.ф.д., проф. – Фар ПИ

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ФерПИ

Издаётся с 1997 года.  
Выходит 6 раз в год.

Постановлением Президиума Высшей  
аттестационной комиссии РУз №201/3  
от 30 декабря 2013 г. журнал включен в  
список научных изданий ВАК.

Главный редактор

У.Р. САЛОМОВ

### Редакционная коллегия:

Ё.С. Аббасов, Б.А. Алиматов, Х.А. Ақромов, Н.М. Арипов, Ю.Ю. Вайткус, Г.Н. Валиёв, К.Е. Ертаев, А.А. Ибрагимов, О.О. Ибрагимов, М.А. Иқромов, Ш.М. Искандарова, И.Н. Исманов, А.М. Қасымаҳунова, Д. Қудбиев, Р.А. Муминов, И. Нуриддинов, А.Э. Одилжаев, Т.С. Омонов, А.М. Расулов, С.Ж. Раззаков, Б. Сиддиқов, Л.А. Сиваченко, Д.С. Салиханова, С.А. Тарасенко, Р.Ж. Тожиёв, А.А. Тухтақўзиёв, Ш.Н. Файзиматов, Б.Э. Хайриддинов, Ш.Ш. Хамдамова, З.А. Хамроқулов, Н.Б. Шинкова, С.Ф. Эргашев, Н.Х. Юлдашев (ответственный редактор)

## SCIENTIFIC – TECHNICAL JOURNAL of FerPI

It has been published since 1997.  
It is printed 6 times a year.

The decision of Presidium of the Supreme  
Attestation Committee of the RUz №201/3  
from December, 30th, 2013 Journal is included  
in the list of scientific editions of the SAC.

Editor-in-chief

U.R. SALOMOV

### Editorial board members:

Yo.S. Abbasov, B.A. Alimatov, X.A. Akromov, N.M. Aripov, Yu.Yu. Vaitkus, G.N. Valiev, K.E. Ertaev, A.A. Ibragimov, O.O. Ibragimov, M.A. Ikramov, Sh.M. Iskandarova, I.N. Ismanov, A.M. Kasimahunova, D. Kudbiev, R.A. Muminov, I. Nuriddinov, A.O. Odilxajev, T.S. Omonov, A.M. Rasulov, S.J. Razzakov, B. Siddikov, L.A. Sivachenko, D.S. Salikhanova, S.A. Tarasenko, R.J. Tojiev, A.A. Tuxtakuziev, Sh.N. Fayzimatov, B.E. Hayriddinov, Sh.Sh. Xamdamova, Z.A. Xamroqulov, N.B. Shinkova, S.F. Ergashev, N.Kh.Yuldashev (Executive Editor)

**ФУНДАМЕНТАЛ ФАНЛАР**

Акбаров Д.Е., Кўчқоров М.Х., Собиров А.А., Мадаминов М.М. Эллиптик эгричизикнинг криптографик тадбиқлари масалалари ечимларида Виет теоремаси кўлланиши .....	9
Boltayev Z.I., Hojiyev A.X., Sabirova R.A. Qovushoq-elastik silindrik qobiqda xos to‘lqinni tarqalish xususiyatlari .....	14

**МЕХАНИКА**

Тожиев Р.Ж., Ортикалиев Б.С. Саралаш жараёнларининг элак турларига боғлиқлиги	20
Ахтямов А.В., Алиматов Б.А. Чекли элементлар услуги ёрдамида юпка пластинка хисоби .....	24
Ro‘zmetov R.I., Tuychiyev T.O., Turdiyev X.E. Quritish agenti sarfini paxta tolasidan namlikni ajralishiga, tozalash samaradorligiga ta’siri .....	35
Комилов Ш., Жураева Г., Мурадов Р. Аррали жин машинасининг ишчи камерасидаги чигит тароғи бўйича олиб борилган тадқиқотлар таҳлили .....	40
Bazarov B.I., Ernazarov A.A. Shahar atrofida yo'lovchi tashishni tashkil etish mexanizmlarini optimallashtirish .....	45
Qosimov K.Z., Mo‘yidinov A.Sh., Maxmudov I.R., Obidov O.S. Chizel – kultivator ishchi qismlari materiallarini o‘rganish natijalari .....	52
Tosheva Sh.A., Norqobilova M.B., Mansurova M.A. Neftchilarning himoyalovchi maxsus kiyimini loyihalash masalalari .....	55
Tilabov B.K., Olimjonov R.Z., Borixonov A.D., Sobirjonov N.Sh., Ergasheva Sh.A. Mashinalarning quyma detallari uchun qattiq qotishmali sirt qoplamasi va ularga keyingi termik ishlov berish .....	60
Abdurahmonov J.B. Lint tozalash moslamasining to‘rli yuzasini tanlash bo‘yicha tadqiqot natijalari .....	65
Мирзаумидов А.Ш. Шлицали аррали вални статик ҳолада мустаҳкамликка таҳлил этиш .....	72

**ҚУРИЛИШ**

Раззаков С.Ж., Мартазаев А.Ш. Темир-бетон тўсинларнинг қия кесим бўйича мустаҳкамлигини экспериментал тадқиқ қилиш натижалари таҳлили .....	77
Otaqulov B.A. Tutashish choklari mustahkamligini beton qorishmasining quyugligi (konsistensiya)ga bog‘liqligi .....	83

**ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОН ҚУРИЛМАЛАР ВА АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАР**

Zaxidov R.A., Saloydinov S.Q. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari hisobiga suv ombori yaqinida qurilgan geslarning energiya salohiyatini oshirish .....	87
Muxamedieva D.T., Raupova M.H., Vasiyeva D.D. Energiya tizimlarida kvant optimallashtirish usullari .....	96
Safarova L.U. Qoramollar kasalligini aniqlash uchun mutaxasis bilimlar bazasiga asoslanib noravshan algoritmi ishlab chiqish .....	105
Ibragimov U.X., Qodirov J.R., Abdinazarov S.B. To‘siq turbulizatorli quyosh havo kollektorida turbulentslik samarasini sonli tadqiqot qilish .....	112
Pirmatov N.B., Panoyev A.T. Yem maydalash qurilmalarida qo‘llanilayotgan asinxron motorning statik va dinamik rejimlarida matematik ifodalarini “Matlab” paketi dasturida modellashtirish .....	119
Qodirov J.R., Ibragimov U.X. Quyosh quritgichlarining konstruksiyalari tahlili .....	130

Olimov J.S., Shirinov S.G'. Rotori qisqa tutashirilgan asinxron motor validagi yuklama o'zgarishi asosida quvvatini avtomatik boshqarish .....	135
Uzoqov G'.N., Quziyev O.A. Ko'p funksiyali geliotexnik qurilmani inkubatsiya rejimida tadqiq qilish .....	142
Boynazarov B.B., Uzbekov M.O. Suvning oqim energiyasi asosida ishlovchi gidroturbinali nasos va elektr energiya olish tizimini hisoblash .....	149
Tovboyev A.N., Tog'ayev I.B. Elektr tarmoqlarida reaktiv quvvat kompensatsiyasi va uning elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlariga ta'sirini tizimli tahlil qilish .....	154
Karimov A.I. Ba'zi iqtisodiy masalalrni yechishda, «Maple-17» dasturining tadbirlari .....	160
Uskenboev D.E., Mendibaev S.A., Toshmurodov Yo.K. Tekshirish mashinasi asosida teskari konvertorni boshqarish tizimini ishlab chiqish .....	165
Uzbekov M.O., O'rmonov S.R. Gidroturbina sopolosining geometrik shaklini optimallashtirish ....	173
Muhammedova M.O. Oyoqning boldir tovon bo'g'imidagi patologik o'zgarishlarning morfometrik parametrlar tahlili .....	180

**КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ ВА ЭКОЛОГИЯ**

Хаметов З.М., Хурмаматов А.М., Юсупова Н.К., Алимов Н.П. Нефтшлами фракцияларга ажратиш ва тажриба қурилмасининг режим кўрсаткичларини ҳисоблаш .....	187
Hakimova S.Sh., Mirzayev Sh.M., Qodirov J.R. Qovunlarga dastlabki ishlov berish usullari (sharh) .....	193
Xusenov A.Sh., Ashurov M.M., Abdullayev O.X., Rahmonberdiev G. Karboksimetilinulin va jelatin asosli kompozitsiyalar olish, fizik-kimyoviy xususiyatlarini o'rganish .....	199
Dehkanov Z.K., Umarova M.M. Ammoniy sulfat va kaliy xlorid konversiyasiga monoetanolaminning ta'sirini o'rganish .....	203
Мамаджанова Р.Т., Хамракулов З.А., Дехканов З.К. Суспензиялашган NPK- ўғитларини тозаланган фосфат кислота ва калий нитрат асосида олишнинг хусусиятлари .....	207
Narzullayeva A.M., Umarov B.N., Voxidov E.A. Ekologik toza plastifikator sintezining istiqbollari va dolzarbligi .....	214
Orazboyeva A.A., Zokirov B.S., Saparova G.D. Geksametilentetramin, aminoetanol va mis(II) asetat pentagidratining urug' dorilovchi vositalar uchun eritmalar xususiyatlariga ta'sirini o'rganish .....	219
Тошбоев Х.М., Нуруллаев Ш.П., Ахмедова О.Б., Караев Ш.Т. Этилен мономерини пирогаз таркибидан ажратиш олиш қурилмасини такомиллаштириш .....	223

**ИЖТИМОЙ-ИҚТИСОДИЙ ФАҢЛАР**

Камилов А.А. 1917 йилги икки инқилоб даврида Туркистондаги ижтимоий-сиёсий вазият .....	230
---	-----

**ҚИСҚА ХАБАРЛАР**

Тожиев Р.Ж., Ортикалиев Б.С. Қурилиш материаллари саноатида ишлатилган оловга чидамли материаллардан қайта фойдаланиш .....	234
Salomova M.A. Paxta separatorida sidirgichlar sonining tahlili .....	237
Inamova M.D. Arra tishining old qirrasini og'ish burchagining jinlash texnologik jarayoniga ta'siri .....	240
Atambayev D.D. Pishirilgan ip tarkibidagi yakka iplarni uzunlik bo'yicha farqining ip sifatiga ta'siri .....	244
Obidov J.G'. Pilla qobig'ining perimetri bo'ylab mustahkamligini har tomonlama baholash uchun amplituda modulyatsiyasi skanerlashiga asoslangan sensor tizimini ishlab chiqish va uni metrologik ta'minoti .....	247
Муаллифлар диққатига ! .....	251

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ НАУКИ**

Акбаров Д.Е., Кучкоров М.Х., Собиров А.А., Мадаминов М.М. Применение теоремы Вьетса при решении задач криптографического применения эллиптической кривой ....	9
Болтаев З.И., Хожиев А.Х., Сабирова Р.А. Характеристики распространения оборудованной волны в толстой упругой цилиндрической оболочке .....	14

**МЕХАНИКА**

Тожиев Р.Ж., Ортикалиев Б.С. Зависимость процессов сортировки от типов сит .....	20
Ахтямов А.В., Алиматов Б.А. Расчёт тонкой пластины методом конечных элементов ..	24
Розметов Р.И., Туйчиев Т.О., Турдиев Е.П. Влияние расхода сушильного средства на отделение влаги из хлопкового волокна и эффективность очистки .....	35
Комилов Ш., Жураева Г., Мурадов Р. Анализ исследований, проведенных на семенах в рабочей камере пилящего машины .....	40
Базаров Б.И., Эрнараров А.А. Оптимизация механизмов организации пригородных пассажирских перевозок .....	45
Косимов К.З., Мўйдинов А.Ш., Махмудов И.Р., Обидов О.С. Результаты исследования материалов рабочих частей чизел-культиваторов .....	52
Тошева Ш.А., Норқобилова М.Б., Мансурова М.А. Вопросы проектирования защитной спецодежды для нефтяников .....	55
Тилабов Б.К., Олимжонов Р.З., Борийхонов А.Д., Собиржонов Н.Ш., Эргашева Ш.А. Наплавочная твердосплавная покрытия для литых деталей машин и их последующая термическая обработка .....	60
Абдурахмонов Ж.Б. Результаты исследований по выбору сетчатой поверхности ворсоочистительного устройства .....	65
Мирзаумидов А.Ш. Анализ шлицового пильного вала на прочность в статическом состоянии .....	72

**СТРОИТЕЛЬСТВО**

Раззаков С.Ж., Мартазаев А.Ш. Анализ результатов экспериментальных исследований прочности железобетонных балок по наклонным сечениям .....	77
Отакулов Б.А. Зависимость прочности швов от толщины (консистенции) бетонной смеси .....	83

**ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И  
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Захидов Р.А., Салойдинов С.К. Увеличение энергетического потенциала гидроэлектростанций, построенных вблизи водохранилища, за счет возобновляемых источников энергии .....	87
Мухамедиева Д.Т., Раупова М.Х., Васиева Д.Д. Квантовые методы оптимизации в энергетических системах .....	96
Сафарова Л.У. Разработка нечеткого алгоритма для определения заболеваний крупного рогатого скота, основанная на экспертной базы знаниях .....	105
Ибрагимов У.Х., Кодиров Ж.Р., Абдиназаров С.Б. Численное исследование турбулентная эффективность в солнечных воздушных коллекторах с перегородочными турбулизаторами .....	112
Пирматов Н.Б., Паноев А.Т. Моделирование математических выражений в статическом и динамическом режимах асинхронного двигателя, используемого в кормоизмельчающих устройствах, в пакете программ «Matlab» .....	119
Кодиров Ж.Р., Ибрагимов У.Х. Обзор конструкции солнечных сушилок .....	130

## СОДЕРЖАНИЕ

Олимов Ж.С., Ширинов С.Г. Автоматическое регулирование мощности по изменению нагрузки на валу асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором .....	135
Узоков Г.Н., Кузиев О.А. Исследование многофункционального гелиотехнического устройства в инкубационном режиме .....	142
Бойназаров Б.Б., Узбеков М.О. Расчет рабочего гидротурбинного насоса и системы сбора электроэнергии на основе энергии водного потока .....	149
Товбоев А.Н., Тогаев И.Б. Систематический анализ компенсации реактивной мощности в электрических сетях и ее влияния на показатели качества электроэнергии .....	154
Каримов А.И. Применение программы «Maple-17» в решении некоторых экономических задач .....	160
Ускенбаев Д.Е., Мендыбаев С.А., Тошмуродов Ё.К. Разработка системы управления реверсивного преобразователя на базе управляющего автомата .....	165
Узбеков М.О., Урмонов С.Р. Оптимизация геометрической формы сопла гидротурбины ....	173
Мухаммедова М.О. Анализ морфометрических параметров патологических изменений голеностопного сустава нижней конечности .....	180

### ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Хаметов З.М., Хурмаматов А.М., Юсупова Н.К., Алимов Н.П. Разделение нефтешламов на фракции и расчет режимных показателей экспериментальной установки .....	187
Хакимова С.Ш., Мирзаев Ш.М., Кодиров Ж.Р. Способы предварительной обработки дыни (обзор) .....	193
Хусенов А.Ш., Ашууров М.М., Абдуллаев О.Х., Рахманбердиев Г. Получение композиции на основе карбоксиметилинулин и желатина, исследование их физико-химических свойств ....	199
Дехканов З.К., Умарова М.М. Исследование влияния моноэтаноламина на конверсию сульфата аммония и хлорида калия .....	203
Мамаджанова Р.Т., Хамракулов З.А., Дехканов З.К. Получение и свойства суспендированных NPK-удобрений на основе очищенной фосфорной кислоты и нитрата калия .....	207
Нарзуллаева А.М., Умаров Б.Н., Вохидов Э.А. Перспективы и актуальность синтеза экологически чистого пластификатора .....	214
Оразбаева А.А., Закиров Б.С., Сапарова Г.Д. Исследование влияния гексаметилентетрамина, аминокэтанола и ацетата меди пентагидрата на свойства растворов для разработки протравителей семян .....	219
Тошбоев Х.М., Нуруллаев Ш.П., Ахмедова О.Б., Караев Ш.Т. Совершенствование установки разделения мономера этилена из состава пирогаза .....	223

### СОЦИАЛЬНО - ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Камилов А.А. Социально-политическое положение в Туркестане в период двух революций 1917 г. ....	230
---	-----

### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Тожиев Р.Ж., Ортикалиев Б.С. Повторное использование использованных огнеупорных материалов в промышленности строительных материалов .....	234
Саломова М.А. Анализ количества сепараторов на сепараторе хлопка .....	237
Инамова М.Д. Влияние угла отклонения передней кромки зуба пилы на технологический процесс дженирование .....	240
Атамбаев Д.Д. Влияние разницы длины отдельных нитей курченой пряжи на качество пряжи .....	244
Обидов Ж.Г. Разработка и метрологическое обеспечение сенсорной системы на основе амплитудно-модуляционного сканирования для комплексной оценки прочности оболочки кокона по его периметру .....	247
К сведению авторов ! .....	252

## CONTENTS

---

### FUNDAMENTAL SCIENCES

- Akbarov D.Y., Kuchkorov M.Kh., Sobirov A.A., Madaminov M.M. Application of Viet's theorem in solving problems of cryptographic applications of the elliptic curve 9
- Boltaev Z.I., Khozhiev A.Kh., Sabirova R.A. Characteristics of propagation of an equiped wave in a thick elastic cylindrical shell 14

### MECHANICS

- Tojiev R.J., Ortikaliev B.S. Dependence of sorting processes on types of sieves ..... 20
- Akhtyamov A.V., Alimatov B.A. Calculation of a thin plate by the finite element method ..... 24
- Rozmetov R.I., Tuychiyev T.O., Turdiyev H.E. Effect of drying agent consumption on moisture separation from cotton fiber and cleaning efficiency ..... 35
- Komilov Sh., Juraeva G., Muradov R. Analysis of research conducted on the seed comb in the working chamber of the sawing machine ..... 40
- Bazarov B.I., Ernazarov A.A. Optimization of mechanisms for the organization of suburban passenger transportation ..... 45
- Qasimov K.Z., Mo'ydinov A.Sh., Makhmudov I.R., Obidov O.S. Research results of materials of working parts of chisel cultivators ..... 52
- Tosheva Sh.A., Norqobilova M.B., Mansurova M.A. Design issues of protective clothing for oil workers ..... 55
- Tilabov B.K., Olimjonov R.Z., Boriikhonov A.D., Sobirzhonov N.Sh., Ergasheva Sh.A. Carbide surface coating for cast machine parts and their subsequent heat treatment ..... 60
- Abdurahmonov J.B. The results of the research on the selection of the mesh surface of the lint cleaning device ..... 65
- Mirzaumidov A.Sh. Analysis of the saw blade shaft for strength in the static state ..... 72

### BUILDING

- Razzakov S.J., Martazaev A.Sh. Analysis of the results of experimental research of shear strength of reinforced concrete beams ..... 77
- Otakulov B.A. Dependence of the strength of the joints on the thickness (consistency) of the concrete mixture ..... 83

### ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

- Zakhidov R.A., Saloydinov S.Q. Increasing the energy potential of hydropower plants built near the reservoir through renewable energy sources ..... 87
- Mukhamedieva D.T., Raupova M.H., Vasiyeva D.D. Quantum optimization methods in energy systems ..... 96
- Safarova L.U. Development of a fuzzy algorithm for determining cattle diseases based on an expert knowledge base ..... 105
- Ibragimov U.X., Qodirov J.R., Abdinazarov S.B. Numerical study of turbulent efficiency in solar air collectors with baffle turbulators ..... 112
- Pirmatov N.B., Panoev A.T. Modeling of mathematical expressions in static and dynamic modes of an asynchronous motor used in feed grinding devices, in the Matlab software package ..... 119
- Qodirov J.R., Ibragimov U.X. Overview of solar dryer design ..... 130

## CONTENTS

Olimov J.S., Shirinov S.G. Automatic control of power based on load changes on the shaft of an asynchronous motor with a short-circuited rotor .....	135
Uzokov G.N., Kuziev O.A. Investigation of multifunctional heliotechnical device in incubation mode .....	142
Boynazarov B.B., Uzbekov M.O. Calculation of the working hydroturbine pump and electrical energy acquisition system based on water flow energy .....	149
Tovboyev A.N., Togaev I.B. Systematic analysis of reactive power compensation in electric networks and its impact on electricity quality indicators .....	154
Karimov A.I. Applications of the «Maple-17» program in solving some economic problems .....	160
Uskenbaev D.E., Mendybaev S.A., Toshmurodov Yo.K. Development of a control system for a reversing converter based on a control machine .....	165
Uzbekov M.O., Urmonov S.R. Optimizing the geometric shape of the hydro turbine nozzle .....	173
Mukhamedova M.O. Analysis of morphometric parameters of pathological changes in the ankle joint of the foot .....	180

### CHEMICAL TECHNOLOGY AND ECOLOGY

Khametov Z.M., Khurmamatov A.M., Yusupova N.K., Alimov N.P. Separation of oil sludge into fractions and calculation of operating parameters of an experimental installation .....	187
Khakimova S.Sh., Mirzaev Sh.M., Kodirov Zh.R. Coding Methods for pre-treatment of melon (review) .....	193
Khusenov A.Sh., Ashurov M.M., Abdullayev O.Kh., Rakhmanberdiyev G. Obtaining a composition based on carboxymethylulin and gelatin, study of their physicochemical properties .....	199
Dekhkanov Z.K., Umarova M.M. The effect of monoethanolamine on the conversion of ammonium sulfate and potassium chloride .....	203
Mamadzhanova R.T., Khamrakulov Z.A., Dekhkanov Z.K. Characteristics of making suspension NPK fertilizers based on purified phosphate acid and potassium nitrate .....	207
Narzullaeva A.M., Umarov B.N., Vohidov E.A. Prospects and relevance of the synthesis of environmentally friendly plasticizer .....	214
Orazbayeva A.A., Zakirov B.S., Saparova G.D. Study of the effect of hexamethylenetetramine, aminoethanol, and copper(II) acetate pentahydrate on the properties of solutions for the development of seed treatments .....	219
Toshboyev Kh.M., Nurullaev Sh.P., Akhmedova O.B., Karaev Sh.T. Improvement of the installation for separation of ethylene monomer from pyrogas composition .....	223

### SOCIAL AND ECONOMIC SCIENCES

Kamilov A.A. The Socio-Political Situation in Turkestan during the Two Revolutions of 1917 .....	230
--	-----

### SHORT MESSAGES

Tojiev R.J., Ortikaliev B.S. Reuse of used refractory materials in the building materials industry .....	234
Salomova M.A. Analysis of the number of scrapers in the cotton separator .....	237
Inamova M.D. The influence of the angle of deviation of the front edge of the saw tooth on the technological process of grinding .....	240
Atambaev D.D. The influence of the difference in length of individual yarns in cooked yarn on yarn quality .....	244
Obidov J. Development and metrological support of a sensor system based on amplitude-modulation scanning for a comprehensive assessment of the strength of the cocoon shell along its perimeter .....	247
Information to the authors ! .....	253



systems, which would allow them to maintain a steady energy supply while minimizing the environmental impact of energy production.

In particular, developing countries with limited access to reliable electricity grids could benefit from this hybrid approach, reducing their dependence on expensive and environmentally harmful diesel generators. Furthermore, regions with abundant wind resources, such as coastal and mountainous areas, are prime candidates for this type of energy system, as they can leverage their natural resources to enhance energy security and independence.

### **6. Future Research and Optimization**

While the current study provides valuable insights into the benefits of wind-hydro integration, future research should focus on optimizing the hybrid system further. This could include exploring advanced energy storage systems that could be paired with the hybrid model to address periods of low energy production from both sources. Additionally, advancements in wind turbine technology, such as the development of more efficient turbines for low-wind-speed environments, could further enhance the viability of these systems in regions with variable wind conditions.

Furthermore, a detailed environmental impact assessment is necessary to ensure that the installation of wind turbines does not have a negative effect on local ecosystems. Wind turbine placement in mountainous regions must carefully consider factors such as bird migration patterns, noise pollution, and the visual impact on the landscape.

### **7. Conclusion**

In conclusion, this study shows that integrating wind energy into existing hydroelectric systems is a highly effective means of increasing energy output and improving the efficiency of power plants, especially in areas where seasonal variations in water usage for irrigation constrain hydroelectric production. Despite the challenges of capital costs and technical integration, the hybrid system offers substantial economic and environmental benefits. By leveraging the natural synergy between wind and hydropower, this approach presents a sustainable solution to the energy challenges faced by regions with both strong wind resources and variable water availability.

#### **Conclusions:**

This study demonstrates the significant potential of integrating wind energy into existing hydroelectric power plants to enhance overall energy production, particularly in regions where seasonal variations in water availability for power generation create operational inefficiencies. Using the case of a 750 kW hydroelectric power plant situated near a reservoir with a capacity of 33 million cubic meters, the analysis reveals several key conclusions:

1. **Hybrid System Efficiency:** By combining wind energy with hydropower, the hybrid system mitigates the seasonal drop in hydroelectric generation, particularly during the summer months when water is primarily used for irrigation. The inclusion of wind turbines capitalizes on the stable wind speeds in the area, with wind speeds averaging between 5-23 m/s in summer and 7-20 m/s in winter. This hybrid approach significantly improves the annual energy output and reduces the dependency on reservoir water levels.

2. **Increased Energy Output:** The integration of wind turbines into the hydroelectric system resulted in a substantial increase in total energy production. The hybrid system increased the monthly energy output during summer months by more than 50% compared to the hydroelectric plant alone, ensuring that energy demand is met even during peak irrigation periods. Winter months also saw a notable boost due to the consistent wind patterns, further stabilizing the energy supply throughout the year.

3. **Improved Capacity Factor:** The hybrid system demonstrated a higher capacity factor compared to the hydroelectric plant alone. The capacity factor of the hybrid system ranged from 0.60 to 0.80 in various months, while the standalone hydro plant's capacity factor fluctuated between 0.35 and 0.75. This increase reflects the hybrid system's improved ability to maintain a higher proportion of its rated output, even during periods when water flow is restricted.

4. **Economic Feasibility:** The economic analysis shows that the hybrid system is financially viable, with a payback period of approximately 8 years and an internal rate of return

(IRR) of 12%. The initial capital investment for wind turbine installation is offset by the increased energy production and the resulting revenue. The hybrid system provides a cost-effective solution to address the seasonal limitations of hydroelectric power generation.

5. **Environmental Benefits:** In addition to improving energy production, the hybrid system contributes to environmental sustainability by reducing reliance on non-renewable energy sources and minimizing greenhouse gas emissions. The use of wind energy, a clean and renewable resource, enhances the overall environmental performance of the power plant.

6. **Sensitivity to Wind Speed Variations:** Sensitivity analysis shows that variations in wind speed significantly affect the total energy output of the hybrid system. However, due to the stable and strong wind patterns in the region, the system remains robust under various wind conditions, ensuring a reliable energy supply.

In conclusion, integrating wind energy into hydroelectric power plants located near reservoirs offers a practical and sustainable solution for increasing energy production and addressing the seasonal limitations of hydroelectric power. The hybrid system not only enhances energy output and operational efficiency but also contributes to the economic and environmental sustainability of the power generation facility. This approach can serve as a model for similar installations in regions with favorable wind conditions and fluctuating water availability.

#### **References:**

- [1]. Zahidov, R. (2019). *Energy Potential of Renewable Resources in Mountainous Regions of Central Asia*. Journal of Renewable Energy and Sustainable Development, 18(2), 67-82.
- [2]. Muhammadiyev, A. (2021). *Optimization of Hydro and Wind Energy Systems for Sustainable Irrigation*. Uzbekistan Water and Energy Review, 7(4), 32-44.
- [3]. Ackermann, T., & Soder, L. (2002). *Wind Power in Power Systems*. Wiley, Chichester, UK.
- [4]. Lund, H., & Mathiesen, B. V. (2009). *Energy System Analysis of 100% Renewable Energy Systems—The Case of Denmark in Years 2030 and 2050*. Energy, 34(5), 524-531.
- [5]. Chen, H., Cong, T. N., Yang, W., Tan, C., Li, Y., & Ding, Y. (2009). *Progress in Electrical Energy Storage System: A Critical Review*. Progress in Natural Science, 19(3), 291-312.
- [6]. Jacobson, M. Z., & Delucchi, M. A. (2011). *Providing All Global Energy with Wind, Water, and Solar Power*. Energy Policy, 39(3), 1154-1169.
- [7]. International Energy Agency (IEA). (2021). *World Energy Outlook 2021*. International Energy Agency, Paris.
- [8]. Bhattacharya, S. C., & Jana, C. (2009). *Renewable Energy in India: Historical Developments and Prospects*. Energy, 34(8), 981-991.
- [9]. Krohn, S., Morthorst, P. E., & Awerbuch, S. (2010). *The Economics of Wind Energy: A Report by the European Wind Energy Association*. European Wind Energy Association.

УДК 519.71

## **КВАНТОВЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Д.Т. Мухамедиева<sup>1</sup>, М.Х. Раупова<sup>2</sup>, Д.Д. Васиева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства,  
[dilnoz134@rambler.ru](mailto:dilnoz134@rambler.ru) тел: 99 831 12 58

<sup>2</sup>Чирчикский государственный педагогический университет, [r.mokhinur@gmail.com](mailto:r.mokhinur@gmail.com) тел: 90 336 37 11

<sup>3</sup>Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства,  
[Vasiyevadilfuzal1997@gmail.com](mailto:Vasiyevadilfuzal1997@gmail.com) тел: 90 901 06 97

(Получена 26.06.2024 г.)

**Аннотация.** В работе рассматривается применение квантовых алгоритмов для оптимизации энергетических систем, сфокусированное на решении задачи маршрутизации в контексте энергетики. Предлагается квантовый подход, использующий принципы суперпозиции и инверсии относительно среднего для эффективного поиска оптимальных энергетических маршрутов. Проведены исследования по разработке специального квантового оракула для представления структуры энергетических сетей и энергетических потоков между узлами.

*Применение инверсии относительно среднего обеспечивает эффективное сближение к оптимальным решениям в пространстве возможных маршрутов. Реализован квантовый алгоритм в виде квантовой схемы, визуализированы результаты и предоставлен анализ оптимальных энергетических маршрутов. Работа представляет собой важный шаг в развитии квантовых методов оптимизации для решения сложных задач в области энергетики и может иметь перспективы в практическом применении в будущем.*

**Ключевые слова:** квантовые методы, оптимизация, энергетическая система, алгоритм Гровера, функция oracle.

**Abstract.** *The paper examines the application of quantum algorithms to optimize energy systems, focusing on solving the routing problem in the context of energy. A quantum approach is proposed that uses the principles of superposition and inversion with respect to the mean to effectively search for optimal energy routes. Research has been carried out to develop a special quantum oracle to represent the structure of energy networks and energy flows between nodes. The use of inversion relative to the mean provides effective convergence to optimal solutions in the space of possible routes. The quantum algorithm is implemented in the form of a quantum circuit, the results are visualized and an analysis of optimal energy routes is provided. The work represents an important step in the development of quantum optimization methods for solving complex problems in the field of energy and may have prospects for practical application in the future.*

**Keywords:** quantum methods, optimization, energetic system, Grover's algorithm, oracle function.

**Аннотация.** *Maqolada energiya kontekstida marshrutlash muammosini hal qilishga qaratilgan energiya tizimlarini optimallashtirish uchun kvant algoritmlarini qo'llash o'rganilgan. Optimal energiya yo'llarini samarali izlash uchun o'rtachaga nisbatan superpozitsiyaya va inversiya tamoyillaridan foydalanadigan kvant yondashuvi taklif etilgan. Energiya tarmoqlari strukturasi va tugunlar orasidagi energiya oqimlarini ifodalovchi maxsus kvant orakulini yaratish bo'yicha tadqiqotlar olib borilgan. O'rtachaga nisbatan inversiyadan foydalanish mumkin bo'lgan marshrutlar fazosida optimal yechimlarga samarali yaqinlashishni ta'minlaydi. Kvant algoritmi kvant sxemasi shaklida amalga tasvirlangan, natijalar keltirilib va optimal energiya yo'nalishlarining tahlili taqdim etilgan. Ish energetika sohasidagi murakkab muammolarni hal qilish uchun kvant optimallashtirish usullarini ishlab chiqishda muhim qadam bo'lib, kelajakda amaliy qo'llash istiqbollari ega.*

**Калит so'zlar:** kvant usullari, optimallashtirish, energetik tizim, Grover algoritmi, oracle funktsiyasi.

**1. Введение.** Проблемы в области энергетики требуют разработки инновационных подходов для оптимизации структуры и управления энергетическими системами. В свете этого, квантовые вычисления предоставляют новые перспективы для решения сложных задач оптимизации, включая задачу маршрутизации в энергетическом контексте, которая означает поиск оптимального пути для передачи энергии между узлами сети с минимизацией затрат. В классическом подходе эта задача является NP-полной, что ограничивает эффективность классических методов оптимизации. Квантовый алгоритм оптимизации, предложенный в данной работе, основан на использовании принципов квантовой суперпозиции и инверсии относительно среднего. Мы разрабатываем квантовый оракул для представления структуры энергетических сетей, что позволяет эффективно выделять оптимальные энергетические маршруты. Цель исследования - предложить и реализовать квантовый алгоритм, способный эффективно решать задачу маршрутизации в энергетическом контексте. Мы надеемся, что разработка и анализ квантового метода оптимизации могут привести к новым практическим решениям в сфере энергетики, обеспечивая устойчивость и эффективность в управлении энергетическими системами [1-3].

В данной работе представлена математическая модель, адаптированная для квантового алгоритма, предназначенного для эффективного анализа и оптимизации схемных решений в энергетической сфере. Эта модель учитывает различные аспекты энергетических систем, включая стоимость, потребление первичных энергоресурсов и экологические показатели, и обладает потенциалом значительного ускорения вычислений благодаря

использованию квантовых принципов. Для численного анализа и оптимизации схемных решений в квантовом контексте разработан квантовый алгоритм, способный обрабатывать задачи с большими объемами данных и учитывать изменения в нагрузках потребителя. Программное обеспечение, разработанное в рамках исследования, основывается на принципах квантовых вычислений и может эффективно решать оптимизационные задачи, используя квантовые суперпозиции состояний. Для минимизации целевой функции, коэффициенты которой зависят от выбранного критерия оптимизации, предложен квантовый итерационный процесс. Этот процесс включает в себя квантовую процедуру, использующую квантовые вентили и квантовые биты, что позволяет выполнять вычисления параллельно и эффективно использовать квантовые преимущества. Предложенная методология, основанная на квантовых принципах, и программное обеспечение могут стать ключевыми инструментами для принятия обоснованных решений в области энергетической оптимизации, открывая новые возможности для более быстрого и эффективного анализа и оптимизации сложных энергетических систем [4-5].

**2. Методы.** Рассмотрим оптимизационную задачу для эффективного управления передачей энергии между различными узлами энергетической сети. Каждый узел представляет собой энергетический объект, такой как электростанция, подстанция или потребитель энергии. Узел может потреблять или генерировать определенное количество энергии. Это может быть представлено как генерация или потребление. Каждый узел может иметь определенный запас энергии, который представляет собой начальное количество энергии, доступное в узле. Расстояния между узлами отражают стоимость передачи энергии между ними, которая может зависеть от физического расстояния, характеристик линий передачи, или других параметров. Задача состоит в оптимизации маршрута передачи энергии таким образом, чтобы минимизировать общую стоимость передачи, удовлетворяя при этом энергетическим требованиям каждого узла [6-7].

Для построения модели использованы следующие переменные:

$x_{ij}$  - бинарная переменная, равная 1, если существует энергетический путь (линия передачи) между узлами  $i$  и  $j$ , и 0 в противном случае.

$P_i$  - мощность, потребляемая (если  $P_i < 0$ ) или генерируемая (если  $P_i > 0$ ) узлом  $i$ .

$u_i$  - переменная, представляющая порядковый номер узла  $i$ .

$c_{ij}$  - стоимость передачи энергии между узлами  $i$  и  $j$ .

$s_i$  - запас энергии узла  $i$

Целевой функцией является минимизация общей стоимости маршрута:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min,$$

при следующих ограничениях:

Каждая линия передачи должна быть использована ровно один раз:

$$\sum_{j=1, j \neq i}^N x_{ij} = 1, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, N\}.$$

Каждая линия передачи должна быть использована ровно один раз на выходе из узла:

$$\sum_{i=1, i \neq j}^N x_{ij} = 1, \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, N\}.$$

Исключение подциклов:

$$u_i - u_j + Nx_{ij} \leq N - 1, \quad \forall i, j \in \{2, 3, \dots, N\}, \quad i \neq j.$$

Если узел  $i$  связан с узлом  $j$  (т.е.,  $x_{ij} = 1$ ), то переменные  $u_i$  и  $u_j$  должны быть различными. Это условие предотвращает образование циклов меньшего размера и обеспечивает, что маршрут будет представлять собой полный цикл по всем узлам [8-9].

Уравнения для баланса энергии в каждом узле [10-11]:

$$\sum_{j=1, j \neq i}^N p_j x_{ij} - \sum_{j=1, j \neq i}^N p_i x_{ij} = s_i, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, N\}.$$

Эта модель представляет собой комбинацию задачи маршрутизации и оптимизации энергетической системы.

Предложен алгоритм Гровера для решения задачи маршрутизации [10-12].

Функция oracle создает матрицу оракула для заданного маршрута и координат узлов. Матрица оракула используется в алгоритме Гровера для выделения правильного решения, то есть маршрута с минимальной общей длиной.

Предположим, у нас есть  $N$  узлов, которая представляется как узел графа, а ребра графа представляют расстояние между узлами. Пусть  $D$  - матрица расстояний между энергетическими узлами, где  $d_{ij}$  - расстояние между узлами  $i$  и  $j$ .

Матрица оракула  $O$  строится следующим образом [13-14]:

$$O_{ij} = \begin{cases} -1, & \text{если } j \text{ является битом } i \text{ в двоичной записи, и } j \text{ встречается в маршруте,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где  $i$  и  $j$  принимают значения от  $0$  до  $2^N - 1$  (включительно). Таким образом, оракул помечает все битовые строки, которые представляют неправильные маршруты,  $-1$ , и оставляет правильный маршрут без изменений ( $0$ ).

Также важно учесть, что для правильной работы алгоритма Гровера матрица оракула должна быть нормализованной (все значения в матрице должны быть в интервале от  $-1$  до  $1$ ). Нормализация обычно производится путем деления каждого элемента матрицы на корень из общего числа элементов в матрице. Таким образом, матрица оракула для задачи маршрутизации имеет следующий вид:

$$U_{oracle} = \frac{1}{\sqrt{2^N}} \begin{bmatrix} -1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix},$$

где количество строк и столбцов равно  $2^{N-1}$ .

Следующим шагом является применение матрицу оракула к квантовому состоянию [15].

Пусть  $\Psi$  - вектор-столбец квантового состояния (амплитуды вероятностей), а  $U_{oracle}$  - матрица оракула.

Тогда операция применения оракула к состоянию записывается как:

$$\Psi_{oracle} = U_{oracle} \Psi,$$

где  $\Psi_{oracle}$  - новый вектор-столбец квантового состояния после применения оракула.

Если  $U_{oracle}$  - нормализованная матрица оракула (все значения в интервале от  $-1$  до  $1$ ), то применение оракула может быть записано как:

$$\Psi_{oracle} = \frac{1}{\sqrt{2^N}} U_{oracle} \Psi,$$

где  $\sqrt{2^N}$  - нормализующий множитель для сохранения нормы состояния.

В контексте алгоритма Гровера, этот процесс применяется итеративно, что усиливает амплитуды вероятностей правильных состояний.

Следующий шаг применение инверсии относительно среднего на квантовом состоянии выполняется следующим образом.

Пусть  $\Psi$  - вектор-столбец квантового состояния, и  $\bar{\Psi}_{oracle}$  - среднее значение амплитуд этого состояния. Среднее значение вычисляется как:

$$\bar{\Psi}_{oracle} = \frac{1}{2^N} \sum_{i=0}^{2^N-1} \Psi_{ioracle},$$

где  $N$  - количество кубитов в системе.

Операция инверсии относительно среднего затем применяется следующим образом:

$$\Psi_{inversion} = U_{inversion} \Psi_{oracle} = 2\bar{\Psi}_{oracle} - \Psi_{oracle},$$

где  $\Psi_{inversion}$  - новый вектор-столбец квантового состояния после инверсии относительно среднего.

Эта операция играет ключевую роль в алгоритме Гровера, где она увеличивает амплитуды вероятностей правильных состояний.

Следующим этапом является генерация случайного начального маршрута. Для этого использован генетический алгоритм, который генерирует случайный начальный маршрут, перемешивая индексы узлов.

Генетический алгоритм для генерации случайных начальных маршрутов в контексте задачи маршрутизации может быть представлен следующим образом:

Пусть  $N$  - количество узлов. Генетический алгоритм создает популяцию случайных маршрутов, где каждый маршрут представляет собой перестановку узлов.

Для инициализации популяции случайным образом создаются начальные маршруты в виде перестановок узлов.

$$Pop = \{R_1, R_2, \dots, R_{pop\_size}\},$$

где  $R_i$  представляет собой случайный маршрут.

Для каждого маршрута в популяции рассчитывается его приспособленность. Приспособленность может быть определена как обратное значение общего расстояния маршрута. Таким образом, маршруты с меньшим общим расстоянием будут иметь более высокую приспособленность. Затем из популяции выбираются маршруты для создания нового поколения. Вероятность выбора маршрута пропорциональна его приспособленности. Следующим шагом является скрещивание. Пары родителей выбранных маршрутов скрещиваются, чтобы создать новых потомков. Различные методы кроссовера могут использоваться, например, одноточечный кроссовер или многоточечный кроссовер. Затем производится мутация. Некоторые гены в потомстве случайным образом изменяются с небольшой вероятностью, чтобы внести разнообразие в популяцию. Новое поколение формируется путем объединения родителей и потомства, затем отбираются наилучшие маршруты.

Следующим шагом является применение алгоритм Гровера. Алгоритм итеративно применяет операции оракула и инверсии относительно среднего.

$$\Psi_{final} = U_{inversion} U_{oracle} \Psi_i.$$

Затем вычисляются вероятности различных маршрутов на основе конечного квантового состояния. Обозначим конечное квантовое состояние после применения алгоритма Гровера как  $\Psi_{final}$ . Вероятность измерения каждого состояния в этом финальном состоянии можно вычислить, возведя в квадрат амплитуду этого состояния.

Если  $N$  - количество кубитов в системе, и  $\Psi_{final}$  - это вектор состояния, то вероятность  $P_i$  измерения состояния  $i$  можно выразить следующим образом:

$$P_i = |\Psi_{final_i}|^2.$$

Здесь  $\Psi_{final_i}$  - компонента вектора состояния  $\Psi_{final}$  для состояния  $i$ . Это число, которое можно получить из конечного квантового состояния после алгоритма Гровера. Важно отметить, что индексы  $i$  представляют битовые строки, представляющие возможные перестановки маршрута в задаче маршрутизации.

**3. Результаты.** Использование квантовых схем в оптимизации энергетических систем представляет собой инновационный подход к решению сложных задач. Квантовые схемы обладают уникальными свойствами, такими как параллелизм, интерференция и квантовые ворота, что делает их мощным инструментом для эффективного и точного решения оптимизационных задач в энергетике. Квантовые схемы для оптимизации энергетических систем включают в себя квантовые ворота, квантовые перестановки и алгоритмы Гровера. Квантовые перестановки могут быть использованы для представления возможных маршрутов или конфигураций системы. Вероятностные оракульные операции, представляющие матрицу оракула для задачи коммивояжера в энергетике, могут быть реализованы с использованием квантовых ворот. Например, операция Permutation может быть представлена с использованием квантовых перестановок. Операции оракула и инверсии среднего значения могут быть применены к квантовым состояниям, представляющим различные маршруты или конфигурации энергетической системы. Применение этих операций итеративно помогает сблизиться с оптимальным решением. Визуализированы квантовые схемы и результаты квантовых вычислений (рис1-5). Визуализация помогает понять структуру схемы, последовательность операций и их воздействие на квантовые состояния.

Квантовый алгоритм успешно оптимизировал маршрут для заданной энергетической системы. Полученный маршрут представляет собой решение задачи маршрутизации, учитывая специфику энергетических узлов и расстояний между ними. Итеративное применение операций оракула и инверсии относительно среднего с использованием квантового алгоритма позволило эффективно исследовать пространство возможных маршрутов и сходиться к оптимальному решению. При этом, генетический алгоритм успешно использовался для генерации случайных начальных маршрутов, предоставляя отправную точку для оптимизации и дополняя квантовый алгоритм. Модель учитывает различные критерии оптимизации, такие как стоимость, потребление первичных энергоресурсов и экологические параметры. Квантовый алгоритм итеративно находит баланс между этими критериями, позволяя принимать обоснованные решения в контексте энергетической системы. Применение квантового алгоритма для задач оптимизации в энергетике предоставляет потенциальные выигрыши в эффективности использования энергоресурсов, сокращении затрат и улучшении экологических показателей.

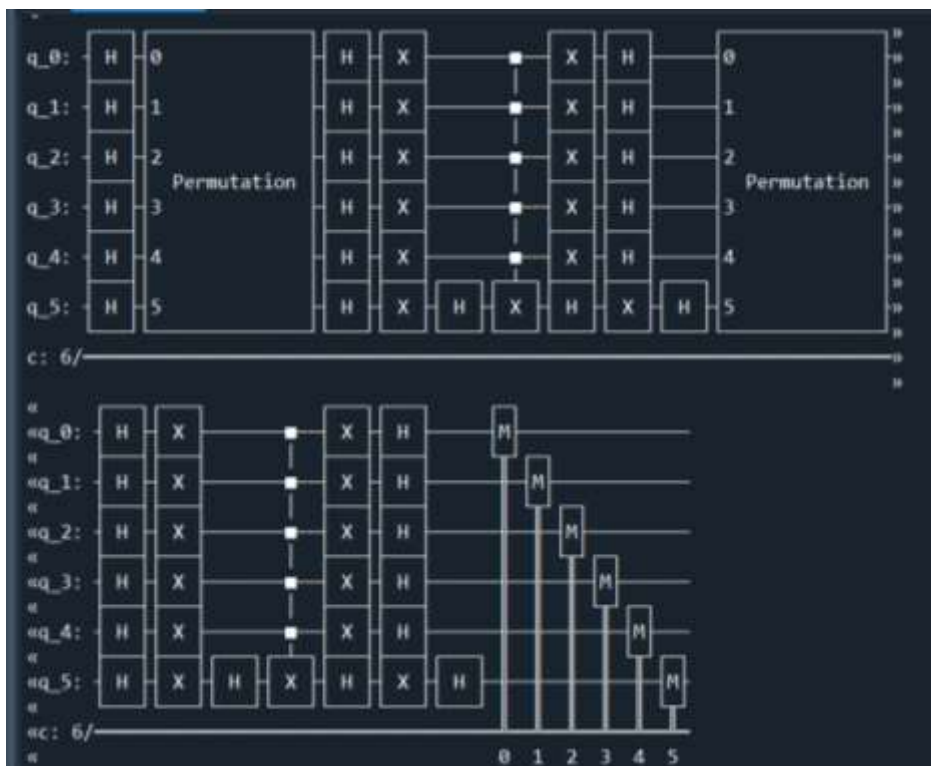


Рис.1. Квантовые схемы 5 узлов.

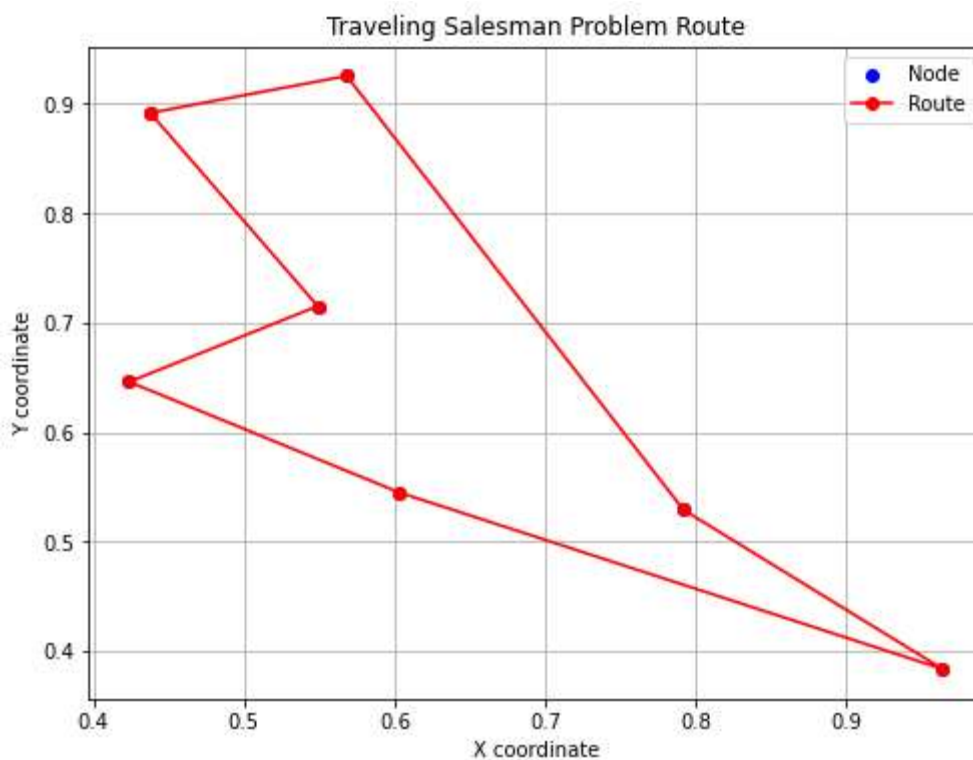


Рис.2. Решение задачи маршрутизации для 7 узлов.



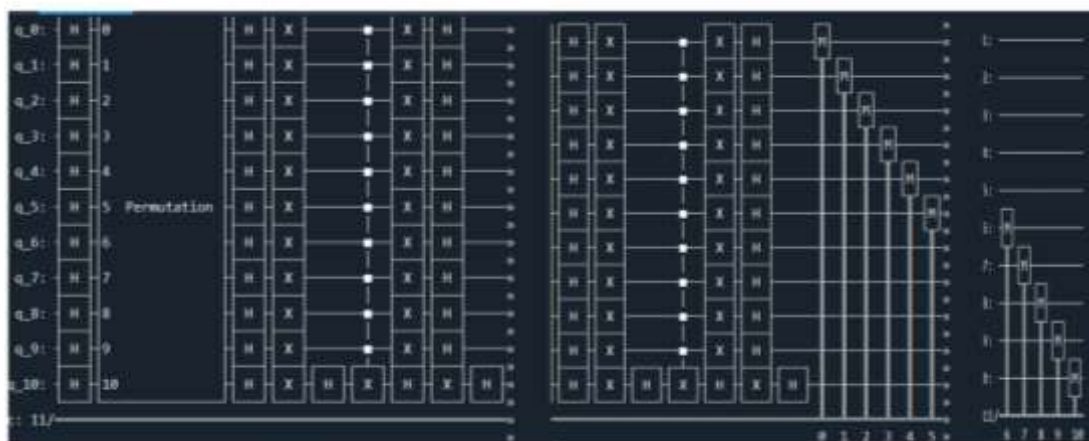


Рис.3. Квантовые схемы 10 узлов.

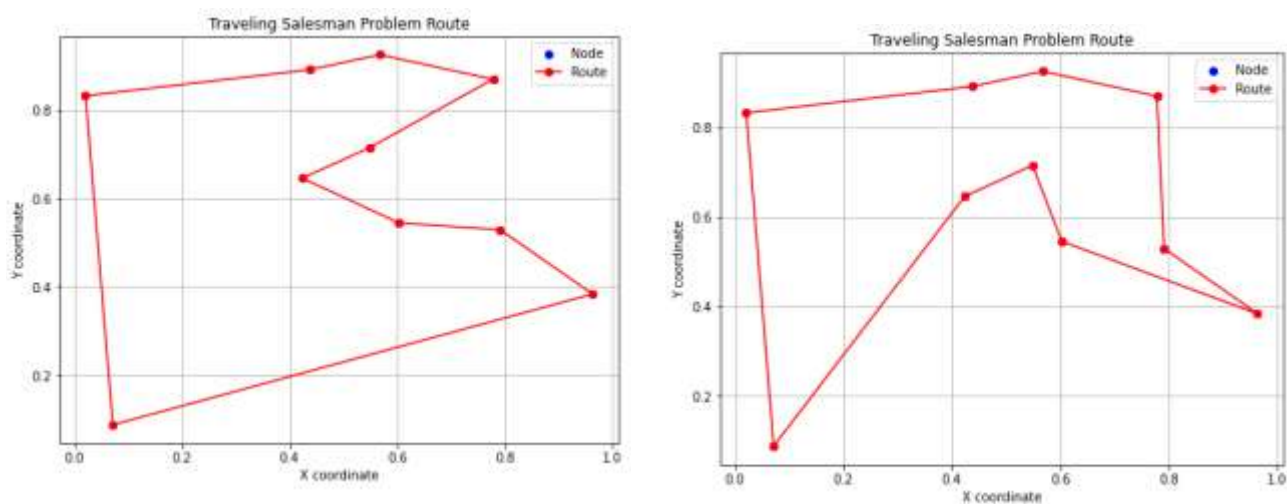


Рис.4. Решение задачи маршрутизации для 10 узлов.

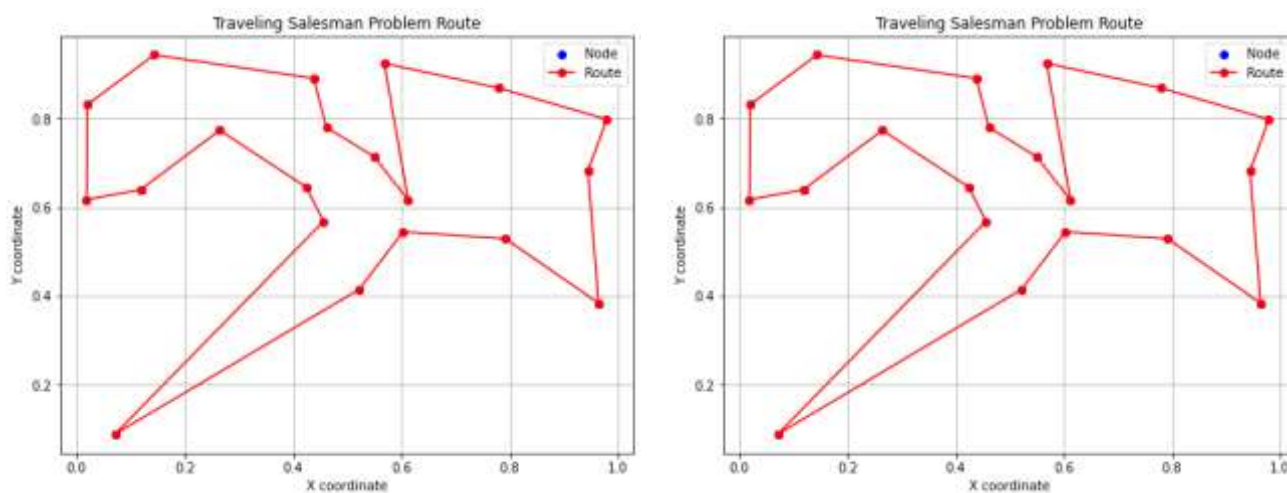


Рис.5. Решение задачи маршрутизации для 20 узлов.

Алгоритм Гровера предназначен для использования на квантовых компьютерах и может не обеспечивать существенного преимущества по сравнению с классическими алгоритмами для небольших экземпляров задачи маршрутизации.

**4. Заключение.** В ходе разработки и исследования квантового алгоритма оптимизации для решения задачи коммивояжера в энергетической системе была разработана математическая модель обобщенной схемы энергокомплекса, которая учитывает особенности энергетических сетей, определяя узлы и расстояния между ними в контексте энергетической системы. Применен квантовый алгоритм Гровера для оптимизации задачи маршрутизации в энергетике. Алгоритм итеративно применяет операции оракула и инверсии относительно среднего к квантовому состоянию, эффективно исследуя пространство возможных маршрутов. Реализован генетический алгоритм для генерации случайных начальных маршрутов, что представляет собой важный этап для итерационного улучшения маршрута в контексте задачи коммивояжера. Произведена оптимизация структуры энергетической сети с использованием квантового алгоритма, что может привести к улучшению эффективности использования энергоресурсов, снижению стоимости и учету экологических критериев. Введены математические условия, такие как "Исключение подциклов", которые гарантируют корректность решения задачи коммивояжера и отсутствие циклов меньшего размера. В целом, предложенный квантовый алгоритм представляет собой перспективное решение для оптимизации задачи коммивояжера в энергетике, обеспечивая эффективное использование ресурсов и учет экологических аспектов. Дальнейшие исследования могут включать в себя расширение модели, более сложные сценарии и учет дополнительных критериев оптимизации.

#### Список литературы

- [1] E. Farhi and A. W. Harrow, Quantum supremacy through the quantum approximate optimization algorithm, arXiv preprint arXiv:1602.07674 (2016).
- [2] D. Guery-Odelin, A. Ruschhaupt, A. Kiely, E. Torrontegui, S. Mart'inez-Garaot, and J. G. Muga, Shortcuts to adiabaticity: Concepts, methods, and applications, *Reviews of Modern Physics* 91, 045001 (2019).
- [3] E. Torrontegui, S. Ibanez, S. Mart'inez-Garaot, M. Modugno, A. del Campo, D. Guery-Odelin, A. Ruschhaupt, X. Chen, and J. G. Muga, Shortcuts to adiabaticity, *Advances in atomic, molecular, and optical physics* 62, 117 (2013).
- [4] X. Chen, A. Ruschhaupt, S. Schmidt, A. del Campo, D. Guery-Odelin, and J. G. Muga, Fast optimal frictionless atom cooling in harmonic traps: Shortcut to adiabaticity, *Physical Review Letters* 104, 063002 (2010).
- [5] X. Chen, E. Torrontegui, and J. G. Muga, Lewis-riesenfeld invariants and transitionless quantum driving, *Physical Review A* 83, 062116 (2011).
- [6] L. Zhu, H. L. Tang, G. S. Barron, F. Calderon-Vargas, N. J. Mayhall, E. Barnes, and S. E. Economou, An adaptive quantum approximate optimization algorithm for solving combinatorial problems on a quantum computer, arXiv preprint arXiv:2005.10258 (2020).
- [7] S. Masuda and K. Nakamura, Fast-forward of adiabatic dynamics in quantum mechanics, *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 466, 1135 (2010).
- [8] M. Demirplak and S. A. Rice, Adiabatic population transfer with control fields, *The Journal of Physical Chemistry A* 107, 9937 (2003).
- [9] J. Weidenfeller, L. C. Valor, J. Gacon, C. Tornow, L. Bello, S. Woerner, and D. J. Egger, Scaling of the quantum approximate optimization algorithm on superconducting qubit based hardware, arXiv preprint arXiv:2202.03459 (2022).
- [10] M. V. Berry, Transitionless quantum driving, *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* 42, 365303 (2009).
- [11] A. del Campo, Shortcuts to adiabaticity by counterdiabatic driving, *Physical Review Letters* 111, 100502 (2013).
- [12] K. Takahashi, Hamiltonian engineering for adiabatic quantum computation: Lessons from shortcuts to adiabaticity, *Journal of the Physical Society of Japan* 88, 061002 (2019).
- [13] S. Hadfield, Z. Wang, B. O'Gorman, E. G. Rieffel, D. Venturelli, and R. Biswas, From the quantum approximate optimization algorithm to a quantum alternating operator ansatz, *Algorithms* 12 (2019).
- [14] D. Headley, T. Muller, A. Martin, E. Solano, M. Sanz, and F. K. Wilhelm, Approximating the quantum approximate optimisation algorithm, arXiv preprint arXiv:2002.12215 (2020).
- [15] N. Killoran, T. R. Bromley, J. M. Arrazola, M. Schuld, N. Quesada, and S. Lloyd, Continuous-variable quantum neural networks, *Physical Review Research* 1, 033063 (2019).

