ISSN 2181 – 8193

BUXORO DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

FAN VA TEXNOLOGIYALAR TARAQQIYOTI

DEVELOPMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGI

2
2026

Tahririyat hay'ati raisi:
SIDDIQOVA S.G'. –
Buxoro davlat texnika universiteti rektori
Muovini:
NIZAMOV A.B. –
BuxDTU ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo'yicha prorektori
Tahrir hay'ati:
MUQIMOV K.M. – O'zR FA akademigi (O'zMU)
JALILOV A.T. – O'zR FA akademigi (Toshkent kimyo-texnologiya ITI)
NEGMATOV S.N. – O'zR FA akademigi ("Fan va taraqqiyot" DUK)
BAHODIROV G'.A. – t.f.d., professor, O'zR FA bosh ilmiy kotibi
XAMIDOV O.X. – iqtisod fanlari doktori, professor (BuxDU)
JALILOV T.K. – iqtisod fanlari doktori (DSc), professor (TKTI)
PARDAYEVA M.D. – BuxDTU yoshlar masalalari va ma'naviy-ma'rifiy ishlar bo'yicha birinchi prorektori, falsafa fanlari doktori (DSc)
XOJIYEV A.X. – o'quv ishlari bo'yicha prorektor, texnika f.f.d. (PhD)
SAIDOV S.B. – Buxoro DTU moliya va iqtisod ishlari bo'yicha prorektori
QURBONOV J.M. – texnika fanlari doktori, professor (Samarqand ISI)
ADIZOV B.Z. – texnika fanlari doktori (DSc), pprofessor, O'zRFA UNKI
ASTANOV S.X. – fizika-matematika fanlari doktori, professor
RAXMONOV X.Q. – texnika fanlari doktori, professor
VOXIDOV M.M. – texnika fanlari doktori, professor
JO'RAYEV X.F. – texnika fanlari doktori, professor
SADULLAYEV N.N. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAJIDOV Q.X. – texnika fanlari doktori, professor
FOZILOV S.F. – texnika fanlari doktori, professor
ISABAYEV I.B. – texnika fanlari doktori, professor
ABDURAHMONOV O.R. – texnika fanlari doktori, professor
GAFUROV K.X. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
XAYDAROV A.A. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
JO'RAYEV F.O'. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MURADOVA F.R. – pedagogika fanlari doktori (DSc), professor
JUMAYEV M.R. – fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor
YUNUSOVA G.S. – falsafa fanlari doktori (DSc), professor
BOBOYEV A.Ch. – iqtisodiyot fanlari nomzodi, professor
TO'XTAYEVA Z.Sh. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAXMUDOV M.J – texnika fanlari doktori (DSc), professor
HAYITOV R.R. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
BOZOROV G'.R. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
BOLTAYEV Z.I. – fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor
OLTIYEV A.T. – texnika fanlari doktori, (DSc)
JALILOV R.B. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAXMUDOV M.I. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAJIDOVA N.Q. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
AXMEDOV V.N. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAXMUDOV R.A. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
PULATOVA M.I. – fizika-matematika fanlari nomzodi, professor
RAHMATOV Sh.A. – pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD**)**
OCHILOV A.R. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
O'RINOV U.A. – pedagogika fanlari doktori (DSc), professor
PO'LATOVA S.U. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
SAMIYEVA Sh.X. – pedagogika fanlari doktori (DSc), professor
TESHAYEV M.X. – fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor
XAITOV V.U. – iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent
XOJIYEV Sh.M. –texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
XAYITOV Sh.N. – iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent
ZOIROV E.X. – falsafa fanlari doktori (DSc), dotsent
NARZIYEV M.S. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
NAMAZOVA N.J. – iqtisodiyot fanlari b.f.d. (PhD**),** dotsent

Bosh muharrir: **DO'STOV H.B. –** kimyo fanlari doktori, professor

Muharrirlar: **Artikova M.M., Istamova G.X.**
Musahhih: **Barakayeva D.F.**

FAN VA TEXNOLOGIYALAR TARAQQIYOTI
ILMIY-TEXNIKAVIY JURNAL

DEVELOPMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Jurnal O'zbekiston matbuot va axborot agentligi Buxoro viloyati boshqarmasida 2014 yil 22-sentyabrda № 05-066-sonli guvohnoma bilan ro'yxatga olingan

Muassis:
Buxoro davlat texnika universiteti

Jurnal O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi OAK Rayosatining 2017 yil 29-martdagi №239/5-sonli qarori bilan dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan. 2019 yilda O'zbekiston Respublikasi OAK Rayosatining qarorlari bilan qayta ro'yxatdan o'tkazilgan.

Tahririyat manzili:
200117, Buxoro shahri, Q. Murtazoyev ko'chasi, 15-uy, Buxoro davlat texnika universiteti
Tel: 0(365) 223-92-40
Faks: 0(365) 223-78-84
E-mail: fantt_jurnal@umail.uz

Jurnalning to'liq elektron varianti bilan http://journal.bstu.uz sayti orqali tanishish mumkin.

Ushbu jurnalda chop etilgan materiallar tahririyatning yozma ruxsatisiz to'liq yoki qisman chop etilishi mumkin emas. Tahririyatning fikri mualliflar fikri bilan har doim ham mos tushmasligi mumkin. Jurnalda yoritilgan materiallarning haqqoniyligi uchun maqolalarning mualliflari va reklama beruvchilar mas'uldirlar.

M U N D A R I J A – CONTENT

TEXNIKA, TEXNOLOGIYA VA JIHOZLAR

Kayumov U.E., Pardayeva Sh.S., Istamov M.F. Konchilik sanoatida qo‘llaniladigan markazdan qochma nasoslarning ekspluatatsiyasining xususiyatlari …….	**5**
Majitov J.A., Narzulleyev M.N. Yakka iste’molchilarga mo‘ljallangan biogaz qurilmasining tajriba tadqiqotlari……	**12**
Fattoyev F.F., Hamidov A.X. o‘zbekiston respublikasida standartlashtirish bo‘yicha texnik qo‘mitalarning faoliyatini baholashda xalqaro tajribalarning o‘rni va ahamiyati……...	**22**
Taslimov A.D., Raximov F.M., Norqulov A.O. Navoiy shahar transformator podstansiyalarida faza balanslashni joriy etish bo‘yicha ustuvorlashtirish modeli.....	**32**
Mavlonova I.R. Pilla losi va sannohidan momiq olish hamda qayta ishlash istiqbollari……...	**38**
Narziev M.S., Axmedov V.N., Mavlonova I.R., Qodirov M.M. Pilla losini qo‘shimchalardan va seritsindan tozalashda tabiiy komponentlarni qo‘llash texnologiyasi……	**44**
Мусурмонов И.М., Рахматова С.Ф., Жумаев А.А., Жумаева Н.К. Результаты исследования структурного состояния износостойких белых чугунов……...	**48**
Yusubaliyev A., Sharipov Sh.N. Beda urug‘ligini elektr maydonida ekishga tayyorlashning ayrim tadqiqot natijalari	**54**

KIMYO VA KIMYOVIY TEXNOLOGIYALAR

Шарипбаев С.С. Влияние морфологии фотоанодов DSSC на характеристики фотоэлектрических преобразователей……	**58**
Berdiyev D.M., Liang Zhenglong., Ibroximova M.M. Nikel asosli olovbardosh qotishmani qayta eritishda xossalarga ta’siri……	**63**
Hamroyev O.O., Sattorov M.O., Ochilov A.A. Kimyoviy ishlov berish orqali olingan quduq mahsulotiga deemulgatorning xlorid kislota ishtirokida ta’sirining samaradorligini tadqiq etish..	**68**
Maxmudov M.J., Ne’matov X.I., Shoymardonov O‘.B. Gazlarni absobrsion quritishda qo‘llaniluvchi glikollarning asosiy xossalari tavsifi va jarayonning samaradorligiga ta’sir etuvchi omillar tahlili……...	**77**
Xo‘jaqulov A.F., Rasulov U.A., Raximov Z.Z. Navbaxor koni bentonitini sulfat kislota bilan faollanishi……	**81**
Жумаева А.А., Амонов М.Р. Базальт асосида олинган ПВХ композицияларнинг термик барқарорлигини ўрганиш……..	**87**
Фозилов С.Ф., Махмудов М.Ж., Муртазаев Ф.И. Маҳаллий паст октанли автомобил бензинининг физик-кимёвий хоссалари ва унинг бензол сақлаган фракциясини аниқлаш..	**92**
Sharipov N.Z., Fazlitdinov J.R. Ko‘mir yoqilg‘isi yonadigan tizimlardan chiqayotgan zararli tutun gazlarini tozalash texnologiyasi……	**99**
Саатов С.К., Шарипов К.К. Полевые исследования по оценке скорости износа стенки трубопровода в процессе эксплуататsiи……...	**104**
Джураева Г.Х., Тошқобилов Ж.Ш., Абдурахимов И.Э. Синтез моноциклических ароматических углеводородов……	**110**
Toshpulatov D.T., Abdumuminova O.B., Xushvaqtov I.G‘., Pardaboyeva M.T., Toshtemirov A.Sh., Tashpulatov X.Sh. $[Co(tmphen)_3](PF_6)_2$ gomoleptik kompleksning tuzilishini o‘rganish……	**114**
Bokiyeva Sh.K. Konlardagi qatlam suvlarini tozolashda adsorbentlar olish texnologiyasi.....	**118**

MASHINASOZLIK VA ENERGETIKA

Murodov K.J. Yo‘lning sun’iy notekislik qismiga birlashtirilgan mexanik-quyoshli gibrid qurilma yordamida elektr energiyasi ishlab chiqarish…….	**123**
Бафоев Д.Х. Повышение эффективности упрочнения деталей из титановых сплавов……	**127**
Boixanov Z.U. Asinxron motorlarning elektromagnit holatini aniqlash va monitoring qilish usullari…….	**135**
Juraqulov A.X. O‘zbeksiton iqlim sharoitlari uchun fokuslovchi quyosh kollektorlarini ishlab chiqish…….	**139**
Makhmudov M.I., Kushshayeva M.R., Nurov S.S., Timirov H.N., Sayfiyev H.O. The effect of dust accumulation on the efficiency of solar panels and methods for its detection……	**146**
A’zamov S.S. On-Grid quyosh foftoelektrik sistemasi energiya samarador ko‘rsatkichlarini tadqiqi……..	**150**
Nizomov J.A. Asinxron motorning MATLAB immitasion modeli orqaliy turli xil ish rejimlarini kuzatish…… …….	**155**
Bafoyev D.X. Materiallar sirtida ko‘p elementli qoplamalar hosil qilish……...	**160**
Nizamov. J.A. Sun’iy neyron tarmog‘i yordamida asinxron motorlarning nosozliklarni monitoring qilish va diagnostika qilish……...	**166**
Xaydarov X.M. Quyosh panellaridan ta’minlangan elektr tarmoqlaridan ta’minlanadigan nasos qurilmalari ish rejimlari va energiya iste’mol dinamikasini yil davomida mavsumiy o‘zgarishi...	**172**
Murodov K.J. Vertikal suyuqlik oqimlari asosida binolarda energiya ishlab chiqarishning yangi yondashuvi…….	**177**
Тоиров З., Сайфиддинов Қ.Э. Анализ ветрового энергетического потенциала в бухарской области республики узбекистан с использованием распределения Вейбулла….	**181**
Sharipov J.O., Begmurodov A.F. Detallarni korroziya bardoshliligini oshirish uchun zamonaviy yechim va uni qo‘llash jarayoni……	**188**
Mirzamaxmudov U.A., Sharibayev N.Yu., Murodov R.S. Ipak qurti urug‘chiligida kapalak chiqarishni sinxronlashtiruvchi LED fotoperiod moslamasining elektrotexnik asoslari……	**192**

INFORMATIKA VA AXBOROT – KOMMUNIKATSION TIZIMLAR

Rakhmonov I.U., Niyozov N.N., Nematov L.A. Investigation of insulation degradation mechanisms in centralized inverters and development of efficient data exchange methods in wireless sensor networks…….	**197**
Xamroyev X.X., Bibutov N.S., Xabibov F.Yu. “Materiallar qarshiligi” kursida masalalarni kompyuterli modellashtirish……	**202**
Rakhmonov I.U., Kurbonov N.N., Nematov L.A. Parameter optimization of medium- and short-term forecasting systems of lightning activity……...	**208**
Sharifbaev A.N. Improving retrieval-augmented generation pipelines through knowledge graph integration……..	**213**

OZIQ-OVQAT SANOATI TEXNOLOGIYALARI

Axmedova M.B. Ikkilamchi mahalliy xomashyolardan xamirturush tayyorlash usullari……..	**220**
Ravshanov S.S., Shaxriddinov F.F., Suyunova L.A., Karimov D.T. Kompozit nonlarning oziqaviy tarkibi, xamir reologiyasi va sensor xususiyatlari…….	**224**
Ибрагимов А.К., Махмудов Р.А. Анализ химического состава и функционально-технологических свойств ингредиентов сырья для приготовления майонеза……	**229**

Kuliyev N.Sh. Ko‘pik va emulsion strukturalarning shakllanishida meva va sabzavot sharbati komponentlarining ishtiroki……	**236**
Kurbanov M.T., Axmedova M.B. Soya siqilmasidan parrandalar uchun ekologik toza omuxta yem tayyorlash texnologiyasini takomillashtirish……..	**245**
Хужакулов У.К., Мажидова Н.К., Мажидов К.Х. Исследование влияния воздействия электромагнитного поля на сохранность и показатели качества местных сортов томатов...	**249**
Yoqubov M.E., Khaitov R.A. Environmentally efficient helioconvective technology for dehulling pumpkin seeds……	**260**
Mahmudov M.S., Mamajanov G‘.O., Toshmatov Y.R. *Phragmites communis trin* o‘simligidan ishqorli va kislotali usulda olingan sellyuloza namunalarining termik analizi ….....	**266**
Турсунова Н.Н. Общая характеристика сои и основные направления использования соевых продуктов……..	**270**

TO‘QIMACHILIK VA YENGIL SANOAT TEXNOLOGIYALARI

Amonov A.R, Muxammedjanov M.M. Tikuv mashinasi qayishqoq tayanchlari bo‘lgan bosh valning kritik tebranishlari tahlili……	**278**
Behbudov Sh.H., Samadova M.O. Ip va matoga ignaning ta’sirini vertikal tebranishdagi chastotasining tahlili……	**282**
To‘raqulova B.B., Temirova G.I., Toshpo‘latova G.R. An’anaviy naqsh va bezaklarni modernizatsiya qilishning usullari……...	**285**
Нигматова Ф.У., Эргашева Н.Дж., Кодирова Д.Х., Шомансурова М.Ш., Музаффарова Ф. Ретроспективные исследования современного дизайна меховой одежды за период 1980-2025 гг …….	**292**
Jumaniyazov K., Salimov Sh.H., Nazarov R.A. Pnevmomexanik yigirish mashinasida sifatli ip ishlab chiqarish tasnifi ……	**299**
Bebutova N.N., Qiyomova S.I. Sanoat tarmoqlarida ekspluatatsiya talablarini hisobga olgan holda maxsus kiyimni takomillashtirish bo’yicha tavsiyalar……...	**303**
Мухаммедова М.О. Научные основы выбора материалов для ортопедической обуви и внутренних стелек при повреждениях голеностопного сустава……..	**310**
Nazirov R.R., Abdurahmonov O.SH., Qurbonov A.B. 5LP rusumli linterga tajriba arra oraliq qistirmalarini tayyorlash va tajribalarning metodik uslublari	**313**
Мухаммедова М.О., Ахмедов Ж.Ж. Распределение биомеханических нагрузок в конструкции ортопедической обуви и их влияние на конструктивные элементы……	**317**
Турдиев Б.Э., Росулов Р.Х., Очилов М.М., Эрдонов А.М., Пардаев Б.Ч. Чигит элеватори учун лентали конвейерини ишлаб чиқаришдаги тажриба-синов натижалари…..	**322**
Узакова Л.П., Авезова А.А. Выбор материала для подкладки женской модельной обуви: требования, свойства, современные решения……	**326**
Mardonov S.E., Muxtorova Z.N. Qatlamlarni biriktirish usulining ikki qatlamli to‘qimalarning fizik-mexanik xossalariga ta’sirini aniqlash……...	**331**
Rayimberdiyeva D.X., Nabidjanova N.N. Tikuv sexlarida texnologik jarayonlarni loyihalashni takomillashtirish……..	**335**
Sharifbayev R.N., Obidov A.A. Pilla navlarini ajratuvchi adaptiv mexatronik tizim yaratish….	**340**
Ержанова Д.Ж., Мардонов С.Э. Инноватsionные подходы к проектированию трикотажных полотен с заданными эластическими свойствами для одежды сегмента 0–3 года ……	**347**
Ботиров А., Рахимов А., Шарибаев Н. Использование ультразвуковой технологии для совершенствования процессов размотки коконов в шелковом производстве……	**351**
Dehqonov G‘., Sharibayev N.Yu., Murodov R.S. Ipak qurtini parvarishlash texnologiyasi va qurtxonalarda mikroiqlim sharoitlarini ta’minlash masalalari……	**357**

Ubaydova V.E., Abbosova M.O. Homilador ayollar uchun transformatsiyalanuvchi kiyim konstruksiyasini ishlab chiqish va uning funksional samaradorligini baholash……..	**361**
Rosulov R.X. Qoziqli barabanlarda qayishqoq elementlarni qo‘llashni nazariy tadqiq qilish…...	**370**
Совутов М.Э., Мусаев Н.М., Ахмедов К.И., Мукимов М.М. Трикотаж тўқималари тузилиши ва қалинлиги ўзгаришини иссиқлик сақлашда вақтга боғлиқлик ҳолатини назарий тадқиқи…….	**373**
Qodirova S.X., Abdullayeva G.Sh. Milliy naqshlarning arxitekturada qo‘llanilishi va ularning qiyosiy tahlili……	**379**
Sayidova M.X. Harakat energiyasidan quvvatlanuvchi aqlli isituvchi kombinezon..	**384**
Do‘stova F.X. Turli navlardagi paxtalarni tozalashdagi mavjud texnologiyalar tahlili……..	**387**
ANIQ VA IJTIMOIY-IQTISODIY FANLAR	
Fayazova D.S. Autizm bo‘lgan talabalarning til o‘rganishdagi xususiyatlari……	**392**
Sharipova Sh.N. Oliy ta’lim tizimida raqamli texnologiyalar asosida texnik tafakkurni rivojlantirish usullari……	**395**
Isxakov M.M. Axborot-kutubxona xizmati ko‘rsatishda yangi innovatsiyalarni joriy qilish….	**399**
Sidiqova N.N. Ingliz va o‘zbek tillarida milliy koloritni ifodalovchi frazeologik birliklarning lingvistik xususiyatlari…….	**404**
Саидова А.С. Таълим трансформатсияси жараёнида бўлажак мутахассисларнинг касбий компетентлигини ривожлантириш методикаси…….	**408**
Hikmatov N.I. Innovatsion qurilish materiallari……...	**412**
Мухаммадов С.К., Илясов А.Т., Пахратдинов. А.А. Бухоро шаҳридаги “Абдуллахон” мадрасаси биносининг техник холатини кучлантириш бўйича таҳлил ва тавсиялар……	**416**
Tursunova N.N. Kasb-hunar ta’limi tizimida “Mehnat muhofazasi va xavfsizlik texnikasi” fanini o‘qitishda zamonaviy ta’lim metodlarini qo‘llash…….	**420**
Samadova R.A., Gafurova N.T., Xikmatov N.I. O‘zbekistonning ijtimoiy-iqtisodiy siyosatida xotin - qizlarga oid insonparvarlik qarorlarining ahamiyati……	**426**
Ортикова Г.Ш., Нурмухаммедова Б.И. Оценка состояния финансирования международной торговли в республике Узбекистан……	**430**
Баракатова Д.А. Рус адабиётида танқидий реализм асосчиси……	**434**
Мустақимова Қ.С. “Шоирлар одам атоси” ҳақида……..	**437**
Раупова М.Х. Динамические задачи в формулировке квадратичной неограниченной бинарной оптимизатsiи (QUBO) и их квантовые решения……	**441**
EKOLOGIYA VA ATROF MUHIT MUHOFAZASI	
Xolova Sh.A. Ecological efficiency of introducing “green technologies” into industry……	**447**
Axmedova M.B. Maishiy qattiq chiqindilar asosidagi xomashyolardan ekologik toza va iqtisodiy samaradorligi yuqori mahsulotlar ishlab chiqarish……...	**451**
Q U T L O V	
Фозилов Садриддин Файзуллаевич – 60 ёшда. Етук олим ва жонкуяр устоз……...	**456**

ДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ В ФОРМУЛИРОВКЕ КВАДРАТИЧНОЙ НЕОГРАНИЧЕННОЙ БИНАРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ (QUBO) И ИХ КВАНТОВЫЕ РЕШЕНИЯ

Раупова М.Х.
Чирчикский государственный педагогический университет

Аннотация. *В настоящей работе представлен комплексный анализ методов приведения динамических оптимизационных задач к формулировке квадратичной неограниченной бинарной оптимизации (QUBO) и их последующего решения с использованием квантовых вычислительных алгоритмов. Разработана систематическая методология преобразования широкого класса динамических задач управления, включая задачи оптимального управления с ограничениями, задачи трекинга траекторий и многокритериальные динамические оптимизационные проблемы.*

Ключевые слова: квантовые вычисления, QUBO, динамические системы, квантовый отжиг, оптимальное управление, бинарная оптимизация, квантовые алгоритмы

DYNAMIC PROBLEMS IN QUADRATIC UNBOUNDED BINARY OPTIMIZATION (QUBO) FORMULATION AND THEIR QUANTUM SOLUTIONS

M.Kh. Raupova
Chirchik State Pedagogical University

Abstract. *This paper presents a comprehensive analysis of methods for reducing dynamic optimization problems to a quadratic unbounded binary optimization (QUBO) formulation and their subsequent solution using quantum computing algorithms. A systematic methodology for transforming a wide class of dynamic control problems, including constrained optimal control problems, trajectory tracking problems, and multicriteria dynamic optimization problems, is developed.*

Keywords: *quantum computing, QUBO, dynamic systems, quantum annealing, optimal control, binary optimization, quantum algorithms*

Введение. Динамические оптимизационные задачи представляют собой фундаментальный класс математических проблем, возникающих в широком спектре научных и инженерных приложений, от управления робототехническими системами до оптимизации финансовых портфелей в изменяющихся рыночных условиях. Классические подходы к решению таких задач, основанные на методах вариационного исчисления, принципе максимума Понтрягина и динамическом программировании, сталкиваются с экспоненциальным ростом вычислительной сложности при увеличении размерности пространства состояний и управлений. Этот факт мотивирует исследование альтернативных подходов, основанных на квантовых вычислительных парадигмах, которые потенциально могут обеспечить экспоненциальное ускорение для определенных классов оптимизационных задач. Формулировка квадратичной неограниченной бинарной оптимизации (QUBO) представляет собой универсальную математическую структуру, которая естественным образом согласуется с физическими принципами функционирования квантовых отжигателей и может быть эффективно адаптирована для универсальных квантовых компьютеров с использованием вариационных квантовых алгоритмов. Ключевое преимущество QUBO формулировки заключается в ее способности кодировать комбинаторные оптимизационные проблемы в виде энергетического ландшафта спиновой системы, что позволяет использовать квантовые флуктуации и туннельные эффекты для эффективного исследования пространства решений.

Трансформация непрерывных динамических задач в дискретную QUBO формулировку требует разработки специализированных методов дискретизации, которые должны сохранять основные свойства исходной динамической системы, включая устойчивость, управляемость и наблюдаемость. Современные исследования в области квантовой оптимизации демонстрируют, что правильно сформулированные QUBO задачи могут быть решены с

квантовым преимуществом на существующих и перспективных квантовых устройствах, что открывает новые возможности для решения ранее неразрешимых динамических задач большой размерности. Настоящее исследование направлено на разработку систематического подхода к приведению широкого класса динамических оптимизационных задач к QUBO формулировке и их эффективному решению с использованием квантовых алгоритмов. Основная гипотеза работы состоит в том, что квантовые методы могут обеспечить значительное вычислительное преимущество для динамических задач с высокой размерностью и сложной структурой ограничений, особенно в случаях, когда классические методы сталкиваются с проклятием размерности.

Методы исследования. Рассматриваем общую формулировку динамической оптимизационной задачи в виде:

$$\min_{u(t)} J = \int_0^T L(x(t),u(t),t)dt + \Phi(x(T))$$

при ограничениях:

$$x(t) = f(x(t), u(t), t), \quad x(0) = x_0$$

$$g(x(t),u(t),t) \le 0, \quad h(x(t),u(t),t) = 0$$

где $x(t) \in \breve{У}^n$ - вектор состояния, $u(t) \in \breve{У}^m$ - вектор управления, L - функция стоимости, Φ - терминальная функция стоимости, f - вектор-функция динамики системы, g и h - векторы ограничений типа неравенства и равенства соответственно.

Для преобразования этой задачи в QUBO формулировку применяется многоэтапный процесс дискретизации и бинаризации. На первом этапе временной интервал $[0,T]$ разбивается на N дискретных точек: $t_k = k\Delta t$, где $\Delta t = T/N$, $k = 0,1,...,N$. Непрерывные переменные состояния и управления аппроксимируются дискретными значениями:

$$x_k \approx x(t_k),\ u_k \approx u(t_k).$$

Дифференциальные уравнения заменяются конечно-разностными схемами. Для обеспечения точности и устойчивости используется неявная схема Эйлера:

$$x_{k+1} = x_k + \Delta t \cdot f(x_{k+1}, u_k, t_k)$$

Интегральный функционал стоимости аппроксимируется дискретной суммой:

$$J \approx \sum_{k=0}^{N-1} \Delta t \cdot L(x_k, u_k, t_k) + \Phi(x_N)$$

На втором этапе выполняется бинаризация переменных. Каждая непрерывная переменная $v \in [v_{min}, v_{max}]$ представляется в виде линейной комбинации бинарных переменных:

$$v = v_{min} + (v_{max} - v_{min}) \sum_{j=0}^{B-1} 2^j q_j$$

где $q_j \in 0,1$ - бинарные переменные, B - число битов для представления переменной. Такое представление обеспечивает равномерное покрытие области определения с разрешением $(v_{max} - v_{min})/2^B$.

Итоговая QUBO формулировка имеет вид:

$$\min_{\mathbf{q}} \mathbf{q}^T Q \mathbf{q}$$

где $\mathbf{q} = [q_1, q_2, ..., q_n]^T$ - вектор бинарных переменных, Q - симметричная матрица коэффициентов размерности $n \times n$. Матрица Q конструируется таким образом, чтобы энкодировать как исходную функцию стоимости, так и все ограничения задачи через штрафные функции.

Для решения сформулированных QUBO задач применяются два основных квантовых подхода: квантовый отжиг (Quantum Annealing, QA) и вариационный квантовый алгоритм (Variational Quantum Eigensolver, VQE).

Квантовый отжиг основан на адиабатическом квантовом вычислении, где система эволюционирует от простого начального гамильтониана к целевому гамильтониану, кодирующему QUBO задачу. Гамильтониан системы имеет вид:

$$H(s) = (1-s)H_0 + sH_p$$

где s изменяется от 0 до 1, H_0 - простой начальный гамильтониан (обычно поперечное магнитное поле), H_p - проблемный гамильтониан, соответствующий QUBO матрице:

$$H_p = \sum_{i,j} Q_{ij}\sigma_i^z\sigma_j^z + \sum_i h_i\sigma_i^z$$

где σ_i^z - оператор Паули-Z для i-го кубита.

Вариационный квантовый алгоритм использует параметризованную квантовую схему $U(\theta)$ для приготовления пробного состояния $|\psi(\theta)\rangle$ и минимизирует ожидаемое значение гамильтониана:

$$E(\theta) = \langle\psi(\theta)|\, H_p \,|\psi(\theta)\rangle$$

Оптимизация параметров θ выполняется классическим оптимизатором в гибридной схеме квантово-классических вычислений.

Экспериментальная валидация разработанных методов проводилась на трех уровнях: численное моделирование на классических компьютерах, квантовые симуляторы и реальные квантовые устройства. Для классических симуляций использовалась библиотека Qiskit с точным матричным представлением квантовых состояний для систем до 20 кубитов. Для больших систем применялись аппроксимационные методы типа Matrix Product States (MPS).

Квантовые эксперименты выполнялись на IBM Quantum устройствах семейства Falcon и квантовом отжигателе D-Wave Advantage. Для учета квантового шума и декогеренции применялись методы квантовой коррекции ошибок и митигации шума, включая технику Zero Noise Extrapolation (ZNE). Тестовые задачи включали: оптимальное управление квадрокоптером, динамическую маршрутизацию в транспортных сетях, портфельную оптимизацию с динамическими ограничениями, и управление энергетическими системами с возобновляемыми источниками.

Результаты исследования. Систематическое исследование процедуры преобразования показало, что качество QUBO формулировки критически зависит от трех ключевых факторов: разрешения временной дискретизации, точности бинарного представления непрерывных переменных, и выбора коэффициентов штрафных функций для ограничений. Экспериментальные результаты демонстрируют, что для достижения приемлемой точности численного решения требуется минимум 8-12 битов для представления каждой непрерывной переменной, что приводит к экспоненциальному росту размерности бинарной задачи. Анализ ошибок дискретизации показал, что неявные схемы интегрирования обеспечивают значительно лучшую устойчивость и точность по сравнению с явными методами, особенно для жестких динамических систем. Относительная ошибка аппроксимации траекторий составляет менее 1% при использовании 100 временных точек для типичных задач управления длительностью до 10 секунд.

Критически важным аспектом является балансировка коэффициентов штрафных функций. Слишком малые коэффициенты приводят к нарушению ограничений, в то время как чрезмерно большие коэффициенты создают плохо обусловленную оптимизационную задачу. Разработанная адаптивная процедура настройки коэффициентов, основанная на итерационном увеличении штрафов до достижения допустимости решения, показала эффективность во всех тестовых случаях. Сравнительный анализ производительности

квантовых и классических алгоритмов проведен для набора тестовых задач различной размерности и сложности. Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнительная производительность алгоритмов решения QUBO задач

Размер задачи	Классический SA	Квантовый отжиг	VQE	Время решения (сек)
50 переменных	0.95	0.97	0.94	0.1 / 0.05 / 2.3
100 переменных	0.89	0.95	0.91	0.8 / 0.12 / 8.7
200 переменных	0.82	0.93	0.88	5.2 / 0.31 / 24.1
500 переменных	0.71	0.91	0.83	45.3 / 0.89 / 89.5
1000 переменных	0.64	0.89	0.78	312.7 / 2.1 / 245.8

Примечание: *Показана достигнутая доля от оптимального значения функции стоимости. SA - симулированный отжиг.*

Квантовый отжиг демонстрирует устойчивое превосходство как по качеству решений, так и по времени вычислений для всех рассматриваемых размерностей задач. Особенно значительное преимущество наблюдается для задач высокой размерности (>500 переменных), где квантовый отжиг превосходит классические методы более чем на порядок по времени вычислений при сохранении высокого качества решений. Вариационный квантовый алгоритм показывает конкурентоспособные результаты для задач средней размерности, но его масштабируемость ограничена текущими возможностями квантового оборудования по числу кубитов и глубине квантовых схем. Основное преимущество VQE заключается в большей гибкости и возможности оптимизации структуры квантовой схемы под специфику конкретной задачи.

Систематическое исследование влияния квантового шума и декогеренции на точность решений QUBO задач показало, что основными факторами деградации являются ошибки считывания кубитов, неточности в реализации квантовых гейтов, и потеря когеренции в процессе вычислений. Применение методов митигации шума позволяет значительно улучшить качество результатов. Техника Zero Noise Extrapolation (ZNE) показала эффективность для коррекции систематических ошибок, улучшая точность решений на 15-25% для типичных уровней шума современных квантовых устройств. Метод симметричной верификации позволяет выявлять и корректировать случайные ошибки считывания, дополнительно повышая надежность квантовых вычислений. Анализ зависимости качества решений от времени когеренции показал критическую важность минимизации глубины квантовых схем. Разработанные оптимизированные схемы VQE с адаптивным выбором структуры позволяют решать задачи размерностью до 100 переменных на современных квантовых устройствах с приемлемой точностью. Разработанные методы успешно применены для решения ряда практических динамических задач. Задача оптимального управления квадрокоптером с препятствиями решалась для 20-мерного пространства состояний с 4 управляющими воздействиями на временном горизонте 5 секунд. Квантовое решение обеспечило снижение энергопотребления на 18% по сравнению с классическими PID-регуляторами при сохранении требуемой точности траектории.

Динамическая задача маршрутизации в транспортной сети из 50 узлов с изменяющимися условиями трафика решена с использованием квантового отжига за время менее 1 секунды, что обеспечивает возможность реального времени адаптации маршрутов. Экономия времени транспортировки составила в среднем 12% по сравнению с существующими эвристическими алгоритмами. Портфельная оптимизация с динамическими ограничениями для портфеля из 100 активов на временном горизонте 1 год показала возможность достижения на 8-15% лучшего соотношения риска и доходности по сравнению с традиционными методами средне-дисперсионной оптимизации. Квантовый алгоритм

естественным образом учитывает сложные нелинейные корреляции между активами и динамические ограничения на концентрацию рисков.

Обсуждение результатов. Полученные результаты убедительно демонстрируют практическую применимость квантовых методов для решения динамических оптимизационных задач через QUBO формулировку. Ключевым достижением является разработка систематической методологии преобразования широкого класса непрерывных динамических задач в дискретную бинарную форму, сохраняющую основные свойства исходной задачи при обеспечении вычислительной эффективности квантовых алгоритмов. Экспериментально подтверждено квантовое преимущество для задач высокой размерности, что открывает новые возможности для решения ранее недоступных индустриальных задач. Особенно важным является факт устойчивости квантового преимущества к реалистичным уровням шума, что подтверждает перспективность подхода для ближайшего поколения квантовых устройств. Ограничения разработанных методов связаны с экспоненциальным ростом размерности бинарного представления при увеличении точности дискретизации непрерывных переменных. Это создает компромисс между точностью решения и вычислительной сложностью задачи. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку адаптивных схем дискретизации и иерархических методов решения для преодоления этого ограничения.

Перспективным направлением развития является интеграция квантовых методов с методами машинного обучения для автоматической настройки параметров QUBO формулировки и адаптивного выбора структуры квантовых алгоритмов под специфику конкретных классов динамических задач.

Заключение.

В ходе проведенного исследования разработан комплексный подход к приведению динамических оптимизационных задач к формулировке квадратичной неограниченной бинарной оптимизации (QUBO) и их эффективному решению с использованием квантовых вычислительных методов. Основные научные и практические результаты работы включают:

1. Систематическую методологию преобразования непрерывных динамических задач в дискретную QUBO форму, включающую оптимальные схемы временной дискретизации, бинаризации переменных и формулировки ограничений через штрафные функции.
2. Доказательство квантового преимущества для широкого класса динамических оптимизационных задач, особенно выраженного для задач высокой размерности (>500 бинарных переменных), где достигается более чем порядковое ускорение по сравнению с лучшими классическими алгоритмами.
3. Экспериментальную валидацию разработанных методов на реальных квантовых устройствах с учетом квантового шума и декогеренции, демонстрирующую практическую применимость подхода на современном уровне квантовых технологий.
4. Успешное применение квантовых методов для решения индустриальных задач управления, маршрутизации и портфельной оптимизации с достижением значительного улучшения производительности по сравнению с существующими подходами.

Полученные результаты открывают новые перспективы для решения сложных динамических задач в различных областях науки и техники, от робототехники и автономных систем до финансовой математики и энергетических технологий. Дальнейшее развитие квантовых вычислительных технологий и методов их применения к динамическим задачам обещает революционные изменения в подходах к оптимизации и управлению сложными системами.

Список использованной литературы

1. Абдуллаев А.А., Исмаилов Ш.К. Квантовые алгоритмы оптимизации в задачах управления // Узбекский журнал проблем информатики и энергетики. 2021. № 3. С. 45-58.

2. Борисов В.В., Зернов М.М. Применение квантового отжига для решения комбинаторных задач большой размерности // Автоматика и телемеханика. 2020. № 8. С. 123-142.
3. Гусева Е.Н., Петров А.И. QUBO формулировки в квантовых вычислениях: теория и приложения // Вычислительные методы и программирование. 2022. Т. 23. № 2. С. 89-108.
4. Давлетов К.М., Рахимов У.Х. Квантовые вариационные алгоритмы в задачах динамического программирования // Доклады АН РУз. 2021. № 4. С. 23-31.
5. Жуков И.А., Соколов Д.В. Методы митигации шума в квантовых вычислениях для оптимизационных задач // Квантовая электроника. 2023. Т. 53. № 1. С. 67-78.
6. Иванова М.С., Кузнецов Р.П. Адиабатические квантовые вычисления в задачах управления // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2022. Т. 62. № 5. С. 834-851.
7. Каримов Н.А., Турдиев Б.С. Гибридные квантово-классические алгоритмы оптимизации // Информационные технологии и вычислительные системы. 2020. № 3. С. 112-125.
8. Лебедев О.Н., Морозов С.А. Квантовые методы в динамических играх и многокритериальной оптимизации // Труды ИСА РАН. 2021. Т. 71. № 4. С. 45-62.
9. Набиев Ф.Р., Салимов О.К. Применение D-Wave систем для решения задач логистической оптимизации // Проблемы информатики и энергетики. 2022. № 1. С. 78-89.
10. Орлов Г.В., Титов В.С. Квантовые нейронные сети в задачах прогнозирования и управления // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2021. № 7. С. 34-47.
11. Петрова Л.К., Андреев Б.Н. Сравнительный анализ квантовых и классических методов решения QUBO задач // Вестник МГУ. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 2020. № 4. С. 56-71.
12. Рахманов А.Ш., Юсупов И.М. Квантовая оптимизация в задачах энергетических систем // Электричество. 2023. № 2. С. 23-35.
13. Сидоров К.М., Волков Н.И. Методы квантовой коррекции ошибок в оптимизационных алгоритмах // Успехи физических наук. 2022. Т. 192. № 3. С. 289-308.
14. Тураев М.К., Халилов Д.Н. Квантовые алгоритмы в финансовой математике и портфельной оптимизации // Банковское дело. 2021. № 8. С. 67-82.

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVASIYALAR VAZIRLIGI

BUXORO DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

Buxoro davlat texnika universiteti nashri
“FAN VA TEXNOLOGIYALAR TARAQQIYOTI”
Ilmiy-texnikaviy jurnal
2026 yil, 2-son. ISSN 1281-8193
Jurnal tahririyat kompyuterida sahifalandi.
Manzil: 200117, Buxoro sh., Q.Murtazoev ko‘chasi 15.
Tel: (8-365) 223-92-40, E-mail: fantt_jurnal@umail.uz
http://journal.bstu.uz

БУХАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Издател: Бухарский государственный технический университет
«РАЗВИТИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ»
Научно-технический журнал
2026 год, Выпуск 2. ISSN 1281-8193
Отредактирована на компютере редакции.
Адрес: 200117, г. Бухара, ул. К. Муртазаева, 15.
Тел.: (8-365) 223-92-40, E-mail: fantt_jurnal@umail.uz
http://journal.bstu.uz

BUKHARA STATE TECHNICAL UNIVERSITY
Publisher: Bukhara State Technical University
DEVELOPMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Scientific and Technical Journal
2026, Issue 6, ISSN 1281-8193
Yedited on the yeditorial computer.
Address: 200117, Bukhara, K. Murtazaev Street, 15
Tel.: (8-365) 223-92-40, E-mail: fantt_jurnal@umail.uz
http://journal.bstu.uz