

ДОНИШГОҶИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН

ВБД:51+53+004.45+621.2+621.311(575.3)

ТКБ:22.12+22.311+31.261+31+277(2Точ)

М-13

Бо ҳуқуқи дастнавис



МАВЛОНЗОДА САФАРАЛИ ҲИКМАТУЛЛО

**МОДЕЛСОЗИИ МАТЕМАТИКӢ ВА КОМПЮТЕРИИ
БОРКАШОНИИ НАҚЛИӢТИИ ҶУМӢУРИИ ТОҶИКИСТОН
ДАР МИСОЛИ НБО РОӢУН БО ИСТИФОДАБАРИИ
МЕТОДӢОИ БАРНОМАСОЗИИ ХАТӢ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои физикаю
математика аз рӯи ихтисоси 1.1.10. Амсиласозии математикӣ,
методҳои ададӣ ва комплекси барномаҳо

Душанбе – 2026

Диссертатсия дар кафедраи моделсозии математикӣ ва компютери Донишгоҳи миллии Тоҷикистон анҷом дода шудааст.

Роҳбари илмӣ: **Одинаев Раим Назарович** – доктори илмҳои физикаю математика, дотсенти кафедраи моделсозии математикӣ ва компютери Донишгоҳи миллии Тоҷикистон.

Муқаризони расмӣ: **Фарҳод Шоқир** - доктори илмҳои физикаю математика, профессори факултети нақшаҳои интегралӣ Донишгоҳи почта ва телекоммуникатсияи Чунсини Ҷумҳурии Халқии Хитой.

Наҷмиддинӣён Асадулло Мирзо - доктори илмҳои физикаю математика, дотсент, вакили Маҷлиси намояндагони Маҷлиси Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон, узви Кумита оид ба илм, маориф, фарҳанг ва сиёсати ҷавонон.

Муассисаи пешбар: Донишгоҳи давлатии молия ва иқтисоди Тоҷикистон.

Ҳимоя санаи «17» июли соли 2026 соати 10:30 дар ҷаласаи шурои диссертатсионии 6D.КАО-011 назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, ки дар суроғаи: 734025, шаҳри Душанбе, кӯчаи Буни-Ҳисорак, корпуси 17, аудиторияи 203 ҷойгир аст, баргузор мешавад.

E-mail: alisher_gaforov@mail.ru; рақами телефони котиби илмӣ +992900766603.

Бо диссертатсия ва автореферати он тавассути сомонаи <http://www.tnu.tj> ва дар китобхонаи илмӣ Донишгоҳи миллии Тоҷикистон шинос шудан мумкин аст.

Автореферат фиристода шудааст «_____» «_____» соли 2026.

Котиби илмӣ шурои диссертатсионии 6D.КАО-011,
номзади илмҳои физикаю математика



Ғафоров А.Б.

МУҚАДДИМА

Мубрамии мавзӯи таҳқиқот. Соҳаи нақлиёт дар таъмини рушди устувори иқтисодиёти ҷумҳурӣ мавқеи муҳимро ишғол мекунад ва яке аз самтҳои афзалиятноки кишвар ба ҳисоб меравад. Он на танҳо ба фаъолияти ҳамаи соҳаҳои дигар ва соҳаи иҷтимоӣ бевосита таъсир мерасонад, балки амалан тамоми ҳаёти кишвар, қобилияти мудофиавии он, тамомияти иқтисодӣ ва амниятро таъмин менамояд. Вазорати нақлиёти ҷумҳурӣ бо мақсади саривақт ва босифат иҷро намудани дастури супоришҳои Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ-Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, мухтарам Эмомалӣ Раҳмон ва Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон чӣҳати таъмини нишондиҳандаҳои макроиқтисодии соҳа ва татбиқи тадбирҳои таҳиягардида корҳои муайян анҷом дода истодаанд. Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон намуди асосии нақлиёти хушкигард нақлиёти автомобилӣ мебошад.

Дар ҳаҷони муосир идоракунии самараноки интиқоли бор яке аз ҷанбаҳои асосии рушди иқтисодиёт ва инфрасохтори кишвар ба ҳисоб меравад. Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон, ки иқтисодиёти босуръат рушдбанди дорои иқтисодии баланд дар соҳаи энергетика мебошад, ба беҳсозии интиқоли бор, бахусус дар доираи сохтмон ва истифодабарии иншооти азим, ба монанди Нерӯгоҳи барқи обии Роғун (НБО Роғун) диққати махсус дода мешавад.

Ҳангоми ҳалли масъалаҳои банақшагириш ва ҳамлу нақли бор тавассути нақлиёти автомобилӣ моделҳои асосии иқтисодию математикӣ — ин модели масъалаи нақлиёти ва масъалаи масирсозӣ ба ҳисоб мераванд.

Ҳамин тариқ, мубрамияти таҳқиқоти диссертатсионӣ дар самти беҳсозии ҳамлу нақли борҳо дар Нерӯгоҳи барқи обии Роғун бо зарурати истифодаи моделсозии математикӣ ва усулҳои барномасозии хаттӣ ифода меёбад, ки барои рушди бахши энергетика ва иқтисодиёти Ҷумҳурии Тоҷикистон аҳамияти муҳим дорад.

Дарачаи коркарди илмӣи проблемаи мавриди омӯзиш. Моделсозии математикӣи масъалаҳои нақлиёти аз солҳои 1930 оғоз гардида, ба омӯзиши бисёр масъалаҳои иқтисодӣ ва муҳандисӣ алоқаманд буд. Соли 1930 иқтисоддони Шӯравӣ А.Н. Толстой [1] аввалин маротиба барномасозии хаттӣи масъалаи нақлиётиро пешниҳод намуд, инчунин аз ҷониби Л.В. Канторович [2] усулҳои умумии ҳал ва таҳқиқоти математикӣи масъалаи барномасозии хаттӣи пешниҳод гардидаанд. «Соли 1947 Чорч Дантсиг барои ҳалли ин масъала алгоритми самаранокеро пешниҳод намуд, ки ба усули потенциалҳо асос ёфта буд» [3]. Ин усул ҳангоми ҳалли масъалаҳои нақлиёти бо истифода аз МЭҲ ба усули асосӣ табдил ёфт. Аз ҳаҷон вақт моделсозии математикӣ дар соҳаҳои гуногуни марбут ба логистика, ҳамлу нақли бор ва тақсими захираҳои истифода мешавад. Яке аз аввалин масъалаҳои, ки бо ёрии моделсозии математикӣ ҳал гардид, масъалаи тақсими захираҳои анборӣ буд. Баъдан

масъалаҳои нави дигар, аз ҷумла оптимизатсияи масирҳои интиқоли мол ва банақшагирии чадвали ҳамлу нақл ба миён омаданд.

«Масъалаи кам намудани хароҷоти нақлиётӣ бо истифода аз усулҳои моделсозии математикӣ дар таҳқиқоти илмӣ васеъ баррасӣ мегардад. Дар кори Л.А. Гладков ва Н.В. Гладкова равиши нави ҳалли масъалаҳои динамикии нақлиётӣ пешниҳод шудааст, ки самаранокӣ ва маҳсулнокии системаҳои минтақавии нақлиётиро баланд мебардорад» [4]. «Масъалаҳои динамикии нақлиётӣ ва масъалаҳои масирбандии воситаҳои нақлиёт, ки бо маҳдудияти вақт алоқаманданд, инчунин ҳалли онҳо бо усулҳои нав дар кори» [5] муфассал баррасӣ шудаанд, ки дар он масъалаи нақлиётӣ дар мисоли ҷаҳони объекти роҳи оҳан таҳлил мегардад. Дар кори [6] ҳалли масъалаи нақлиётӣ бо истифода аз усули Фогел барои ҳисоб намудани арзиши минималии ҳамлу нақли бор оварда шудааст.

«Маълум аст, ки масъалаи нақлиёти барномасозии хаттӣ модели математикӣ барои масъалаҳои муҳими амалӣ мебошад, ки дар тамоми соҳаҳои ҷаҳони инсон дучор мешаванд.

Дар замони ҳозира барои ҳалли масъалаҳои нақлиётӣ алгоритмҳои зиёде таҳия гардидаанд, аммо мақолаҳои илмӣ вобаста ба ин мавзӯ ҳама дар сатҳи миллӣ ва ҳам байналмилалӣ мунтазам нашр мешаванд. Ин ба аҳамияти бузурги амалии чунин масъалаҳо ва хусусиятҳои онҳо вобаста аст, ки имкониятҳои нави татбиқи алгоритми усулҳои гуногуни ҳисоббарориро фароҳам меорад. Рағбатҳои асосии ҳалли ин масъалаҳо дар китобҳо ва бисёр корҳои дигари илмӣ ба таври мунтазам шарҳ дода шудаанд» [7-9]. Масъалаи ҳамлу нақли бор, махсусан дар давоми 75 соли охир, ба таври васеъ таҳқиқ шудааст. Омилҳо, маҳдудиятҳо ва ҳадафҳои гуногун имконият медиҳанд, ки масъала ба шаклҳои гуногун гузошта шавад.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лонҷаҳо) ва мавзӯҳои илмӣ. Кори диссертатсионӣ дар доираи татбиқи нақшаҳо ва барномаҳои давлатии зерин анҷом дода шудааст: «Бистсолаи омӯзиш ва рушди илмҳои табиӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илм ва маориф» барои солҳои 2020–2040, «Барномаи давлатии мақсадноки рушди илмҳои риёзӣ, дақиқ ва табиӣ барои солҳои 2021–2025», нақшаи дарозмуддати корҳои илмӣ-таҳқиқотии кафедраи моделсозии математикӣ ва компютери факултети механикаю математикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон барои солҳои 2020-2025 дар мавзӯи «Таҳияи моделҳои математикӣ ва компютерӣ, алгоритмҳо, комплекси программаҳо ва методҳои таълими информатика, математика ва табиатшиносӣ», гузаронида шудааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот - Таҳқиқот ба таҳияи маҷмӯи моделҳои математикии оптимизатсияи боркашонӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон дар мисоли соҳтмони НБО Роғун бо истифода аз усулҳои барномасозии хаттӣ равона шудааст.

Вазифаҳои таҳқиқот - Вазифаҳои асосии таҳқиқи кори диссертатсионӣ аз инҳо иборат аст:

- Таҳқиқи имкониятҳо ва хусусиятҳои истифодаи масъалаи оптимизатсияи барномасозии хатти барои моделсозии математикии тақсимои боркашонӣ;
- Таҳқиқи маҷмӯи усулҳои ҳалли масъалаи нақшаи оптималии боркашониро аз рӯи критерияи арзиш, вақт ва усули аппроксиматсионии Фогел;
- Таҳқиқи алгоритмҳои ҳалли масъалаҳои нақлиёт бо тарифҳои номуайяни боркашонӣ дар асоси назарияи маҷмӯҳои носаҳеҳ барои оптимизатсияи логистикаи сохтмони НБО Роғун дар шароити омилҳои берунии босуръат тағйирбанда;
- Таҳияи маҷмӯи барномаҳои компютерӣ барои усулҳои математикии пешниҳодшуда ва гузаронидани як қатор таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ барои санҷиши самаранокии онҳо дар ташаққули нақшаҳои оптималии боркашонӣ.

Объекти таҳқиқот. Объекти таҳқиқот интиқоли бор дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ва интиқоли мавод ва таҷҳизот барои сохтмони Нерӯгоҳи Барқи Обии Роғун мебошад.

Предмети таҳқиқот. Моделсозии математикии боркашонӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон дар мисоли Нерӯгоҳи Барқи Обии Роғун бо истифода аз усулҳои барномасозии хаттӣ.

Навгони илми таҳқиқот. Дар кори диссертатсионӣ натиҷаҳои асосии зерин ба даст оварда шудаанд:

- Усулҳои инноватсионии оптимизатсияи барномасозии хаттӣ барои моделсозии математикии тақсимои боркашонӣ бо назардошти талаботи муосир ба самаранокӣ ва устувории системаҳои логистикӣ таҳқиқ ва таҳия карда шудаанд, ки имкон медиҳанд боркашонӣ дар муҳити динамикӣ дақиқтар ва самараноктар моделсозӣ ва идора карда шавад;
- Усулҳои ҳалли масъалаи банақшагирии оптималии боркашонӣ, ки ба критерияҳои арзиш ва вақт асос ёфтааст, ки интиқоли фаврии бор талаб карда мешавад, таҳқиқ карда шуданд ва усули аппроксиматсияи Фогел барои ҳалли масъалаҳои нақлиётӣ бо хусусиятҳои муайян истифода шудааст;
- Алгоритмҳои ҳалли масъалаҳои нақлиёт бо тарифҳои номуайяни боркашонӣ дар асоси назарияи маҷмӯаҳои носаҳеҳ барои оптимизатсияи логистикаи сохтмони НБО Роғун дар шароити омилҳои динамикӣ тағйирёбандаи беруна таҳқиқ карда шуданд;
- Маҷмӯи барномаҳои компютерӣ барои усулҳои математикии пешниҳодшуда таҳия карда шуданд ва як қатор таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ

барои санҷиши самаранокии онҳо ҳангоми ташаққули нақшаҳои оптималии боркашонӣ гузаронида шуданд.

Аҳамияти назариявӣ ва илмию амалии таҳқиқот. Аҳамияти назариявии қори диссертатсионӣ аз таҳия ва мутобиқсозии моделҳои математикӣ иборат аст, ки хусусияти системаи нақлиёти Ҷумҳурии Тоҷикистон, инчунин хусусиятҳои фаъолияти НБО Роғунро ба назар мегиранд. Таҳқиқот усулҳои таҳлил ва оптимизатсияи тақсимои боркашониро пешниҳод мекунад, ки онҳоро на танҳо дар минтақаи мазкур, балки дар дигар минтақаҳои дорои шароити шабех низ татбиқ кардан мумкин аст.

Аҳамияти амалии қори диссертатсионӣ дар қобилияти потенциалии он барои рушд ва татбиқи минбаъда дар шароити воқеӣ мебошад. Натиҷаҳо ва усулҳои таҳқиқот метавонанд барои эҷоди қарорҳои инноватсионӣ дар соҳаи логистика, нақлиёт ва энергетика, мусоидат ба рушди инфрасохтор ва баланд бардоштани сатҳи хизматрасонӣ дар ҷумҳурӣ замина гузоранд.

Нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

- рушди усулҳои сифатӣ ва таҳлили таҳқиқи моделҳои математикии масъалаҳои нақлиёт аз рӯи критерияҳои арзиш ва вақт, инчунин истифодаи онҳо дар ҳалли масъалаҳои иқтисодӣ;
- таҳқиқи самаранокии усули аппроксиматсияи Фогел ва алгоритм барои ҳалли масъалаи нақлиёт бо хусусиятҳои муайян. Таҳқиқи имконияти истифодаи назарияи маҷмӯаҳои носоҳеҳ барои ҳалли масъалаи нақлиёт бо тарифҳои номуайян, ки имкон медиҳад омили номуайяни ё маълумоти тахминиро дар банақшагирии боркашонӣ ба назар гирад;
- таҳияи комплекси барномаҳои компютерӣ барои оптимизатсияи нақшаи боркашонӣ аз рӯи критерияи арзиш, критерияи вақт ва истифодаи усули аппроксиматсияи Фогел бо тарифҳои носоҳеҳ муайяншуда.

Эътимоднокии натиҷаҳои диссертатсия бо истифодаи асосҳои муосири методологии таҳқиқот, татбиқи усулҳои моделсозии математикӣ, барномасозии ҳаттӣ ва усулҳои оптимизатсионӣ таъмин карда шудааст. Дар ҷараёни таҳқиқот назарияҳои илмии эътирофшуда оид ба масъалаҳои нақлиётӣ, моделсозии математикӣ ва оптимизатсияи равандҳои боркашонӣ истифода гардидаанд. Асосҳои натиҷаҳои бадастомада бо таҳлили маълумоти воқеии марбут ба равандҳои боркашонӣ дар Нерӯгоҳи барқи оби Роғун, гузаронидани ҳисоббарориҳои таҷрибавӣ ва муқоисаи натиҷаҳои моделҳои пешниҳодшуда таъмин мегардад. Барои ҳалли масъалаҳои гузошташуда усулҳои барномасозии ҳаттӣ, усули аппроксиматсияи Фогел ва унсурҳои назарияи маҷмӯаҳои носоҳеҳ истифода шудаанд, ки дурустӣ ва самаранокии моделҳоро тасдиқ менамоянд. Натиҷаҳои таҳқиқот дар шакли мақолаҳои илмӣ ва маърузаҳо дар конференсияҳои илмӣ пешниҳод гардида, аз ҷониби мутахассисони соҳа мавриди арзёбӣ қарор гирифтаанд. Ҳамчунин

натичаҳои бадастомада метавонанд дар фаъолияти амалии ташкилотҳои нақлиётӣ ва логистикӣ барои оптимизатсияи чараёни боркашонӣ истифода шаванд. Самаранокии амалии моделҳо ва алгоритмҳои таҳияшуда тавассути ҳисоббарориҳои таҷрибавӣ ва таҳияи барномаҳои компютерӣ барои интиҳоби нақшаҳои оптималии боркашонӣ тасдиқ карда шудааст.

Мутобиқати диссертатсия бо шиносномаи ихтисоси илмӣ. Кори диссертатсионӣ мувофиқи бахшҳои зерини шиносномаи ихтисоси 1.1.10. Моделсозии математикӣ, усулҳои адабӣ ва комплекси барномаҳо» анҷом дода шудааст (бандҳои 1, 3, 5, 7, 11):

- ❖ **банди 1.** Коркарди усулҳои нави математикӣ амсиласозии объектҳо, системаҳо, равандҳо ва ҳодисаҳо;
- ❖ **банди 3.** Коркард ва асосноккунии методикаҳо ва қоидаҳои мутобиқгардонии амсилаҳои компютерӣ, истифодаи самараноки онҳо дар пешгуи таҳаввулоти объектҳо, системаҳо, равандҳо ва ҳодисаҳо;
- ❖ **банди 5.** Татбиқи усулҳои адабӣ ва алгоритмҳои самарабахш барои гузаронидани таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ, дар намуди комплекси барномаҳои масъалагаро;
- ❖ **банди 7.** Коркарди усулҳои нави математикӣ ва алгоритмҳои санҷиши дурустии амсилаҳои математикӣ объектҳо, системаҳо, равандҳо ва ҳодисаҳо дар асоси додаҳои таҷрибавии воқеӣ;
- ❖ **банди 11.** Гузаронидани таҳқиқоти назариявӣ, амалӣ ва таҷрибавӣ барои сохтан, санҷиш ва татбиқи амсилаҳои математикӣ ҳалли масъалаҳои рӯзмарра доир ба лоиҳасозии худкор, банақшагири ва идоракунӣ.

Саҳми шахсии довталаби дарёфти дараҷаи илмӣ дар таҳқиқот. Мундариҷаи диссертатсия ва муқаррароти асосии ҷимоя саҳми шахсии муаллифро дар корҳои нашршуда инъикос мекунанд. Ҳамаи натиҷаҳои дар диссертатсия пешниҳодшуда, ки дар корҳо бо ҳаммуаллифон нашр шудаанд, шахсан аз ҷониби довталаб ба даст оварда шудаанд. Довталаб мустақилона адабиёти илмиро дар мавзӯи таҳқиқот таҳлил намуда, навгониҳои илмӣ ва аҳамияти амалии натиҷаҳои бадастомадаро асоснок кардааст. Инчунин, ҳамаи барномаҳои компютерӣ дар доираи таҳқиқоти диссертатсионӣ шахсан аз ҷониби довталаб таҳия шудаанд, аз ҷумла алгоритмҳои коркарди маълумот, татбиқи усулҳои барномасозии хаттӣ, усули апроксиматсияи Фогел, ҳалли масъалаҳои нақлиётӣ аз рӯи критерияҳо арзиш, вақт ва бо тарифҳои номуайян ва сохтани вобастагиҳои регрессионӣ.

Кори [4-М] аз ҷониби довталаб шахсан иҷро карда шудааст ва ҳамаи натиҷаҳои дигари кори диссертатсионӣ, ки дар чараёни иҷрои таҳқиқот ба даст оварда шудаанд ва дар корҳо бо ҳаммуаллифон нашр шудаанд, дар якҷоягӣ бо роҳбар илмӣ иҷро карда шудаанд.

Тасвир ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия. Натиҷаҳои асосии дар кори диссертатсионӣ ба даст овардашуда дар конференсияҳои байналмилалӣ

ва ҷумхуриявӣ пешниҳод ва муҳокима карда шудааст: конфронси илмӣ-амалии ҷумхуриявӣ ҳаёти профессорон ва омӯзгорони ДМТ бахшида ба 30-солагии истиқлолияти давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон, 110-солагии шоири халқии Тоҷикистон, Қаҳрамони Тоҷикистон Мирзо Турсунзода, 110-солагии нависандаи халқии Тоҷикистон Сотим Улуғзода ва «Бистсолагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2040)» Душанбе, соли 2021; конфронси байналмилалӣ илмӣ-амалӣ «Таҳлили компютериҳои проблемаҳои илму технология» бахшида ба «Солҳои 2020-2040, 20-солагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» ва «75-солагии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон» шаҳри Душанбе, соли 2023; конфронси байналмилалӣ илмӣ бахшида ба 75-солагии ДМТ, 20-солагии рушди илмҳои дақиқ, табиӣ ва риёзӣ солҳои 2020-2040 ва 85-солагии академики АМИТ Раҷабов Нусрат шаҳри Душанбе 2023 сол; XII конфронси байналмилалӣ илмӣ-амалӣ проблемаҳои Муносири моделсозии математикӣ ва татбиқи он, бахшида ба эълон шудани солҳои 2020-2040, 20-солагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илм ва маориф ва 75-солагии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон (Душанбе, 18 майи соли 2024); конфронси байналмилалӣ илмӣ-амалӣ XIV «Ломоносовские чтения» нақши филиали Донишгоҳи давлатии Москва ба номи М.В. Ломоносов дар шаҳри Душанбе дар рушди илм ва маориф, Душанбе 2024.

Интишорот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия. Натиҷаҳои таҳқиқоти муаллиф дар мавзӯи қори диссертатсионӣ дар 12 қори илмӣ, аз он ҷумла 6 мақола дар нашрияҳои, ки ба рӯйхати амалкунандаи ҚОА Ҷумҳурии Тоҷикистон дохил шудаанд, ва 6 мақола дар маводҳои конфронсҳои ҷумхуриявӣ ва байналмилалӣ нашр шудаанд.

Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия. Қори диссертатсионии мазкур аз муқаддима, се боб рӯйхати адабиёти истифодашуда иборат мебошад. Ҳаҷми умумии диссертатсия аз 159 саҳифа иборат буда, дар он 15 расм, 28 ҷадвал ва рӯйхати адабиёти истифодашуда 159 - ададро ташкил медиҳад. Рақамгузориҳои формулаҳо, расму ҷадвалҳо барои ҳар як боб алоҳида мебошад.

МУҲТАВОИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ

Дар қори диссертатсионӣ усулҳои муносири моделсозии математикӣ масъалаҳои нақлиётӣ барномасозии хаттӣ истифода мешаванд. Натиҷаҳои қори диссертатсиониро мухтасар шарҳ медиҳем.

Дар муқаддима аҳамияти мавзӯи таҳқиқот асоснок карда шуда, ҳадаф ва вазифаҳои қор тартиб дода шуда, шарҳи адабиёти илмӣ оид ба масъалаи мавриди баррасӣ қарор дода шуда, хулосаи қор дар бобҳо оварда шудааст.

Боби якум қори диссертатсионӣ ба таҳлили адабиёт оид ба моделсозии математикӣ масъалаи нақлиётӣ барномасозии хаттӣ бахшида шудааст. Дар параграфи аввали **боби якум** шарҳи мухтасари таърихӣ оид ба моделсозии математикӣ ва шарҳи адабиёт дар мавзӯи қори диссертатсионӣ оварда

шудааст. Дар параграфи дуҷуми **боби якум** раванди боркашонӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳқиқ карда мешавад. Талаботи боркашонии нақлиётӣ барои минтақаҳои гуногуни Тоҷикистон вобаста ба молҳо, ҳаҷм ва басомади таъминот, инчунин баҳисобгирии инфрасохтори мавҷуда, аз ҷумла роҳҳо, роҳи оҳан ва имконоти имконпазири нақлиёт муайян карда шудааст.

Боби дуҷуми кори диссертатсионӣ ба истифодаи барномасозии ҳаттӣ барои оптимизатсияи боркашонӣ бахшида шудааст: моделҳо, алгоритмҳо, таҳқиқотҳо. Параграфи якуми **боби дуҷум** модели математикӣ ва ҳалли масъалаи нақлиётро дар бар мегирад, ки ба оптимизатсияи равандҳои логистикӣ ҳангоми татбиқи раванди боркашонӣ ба НБО Роғун равона шудааст.

Масъалаи нақлиёт дар доираи барномасозии ҳаттӣ масъалаи бунёдии тақсимоти захираҳо мебошад, ки барои системаҳои логистикӣ муосир аҳамияти муҳим дорад. Дар тарзи каноникӣ системаи параметрҳои зерин баррасӣ карда мешавад:

- Маҷмӯи нуқтаҳои ташаккули чараёни бор, ки m таъминкунандагонро бо ҳаҷми муқаррарнамудаи захираҳои молӣ дар бар мегирад a_1, a_2, \dots, a_m ;
- Маҷмӯи нуқтаҳои истеъмоли, ки аз n қабулкунанда бо ҳаҷми муқаррарнамудаи талабот b_1, b_2, \dots, b_n иборат аст;
- Матритсаи тарифҳои нақлиётӣ $C = \{c_{ij}\}$, ки дар он ҳар як элементи c_{ij} хароҷоти хоси интиқоли воҳиди маҳсулотро аз манбаи i ба истеъмолкунандаи j муайян мекунад.

Масъалаи математикӣ муайян кардани арзишҳои оптималии тағиребандаҳои x_{ij} -ро дар назар дорад, ки ҳаҷми боркашонии байни ҷуфтҳои дахлдори «таъминкунанда-истеъмолкунанда» - ро тавсиф мекунад. Қарор бояд ба се талаботи асосӣ ҷавобгӯ бошад:

Фароғии пурраи эҳтиёҷоти ҳамаи нуқтаҳои талабот

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Пурра кашонидани захираҳои таъминкунандагон

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Дар ин ҳолат ҳамаи тағиребандаҳои x_{ij} бояд ғайриманфӣ бошанд:

$$x_{ij} \geq 0 \text{ барои ҳамаи } i=1, \dots, m; j=1, \dots, n. \quad (3)$$

Ба экстремуми (минимум) функсияи мақсад расидан, ки ин хароҷоти умумии логистикиро инъикос мекунад

$$F(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}. \quad (4)$$

Талаб карда мешавад, ки нақшаи интиқоли $X=\{x_{ij}\}$, - ро муайян кардан лозим аст, ки маҳдудиятҳои (1), (2) ва шартҳои (3) - ро қоне мекунад, ки дар он функсияи мақсад (4) ба минимум мерасад.

Теорема 1. *Масъалаи нақлиёт ҳалли худро дорад, фақат ва фақат агар шартҳои тавозуни байни захираҳои мавҷуда ва талабот ба онҳо иҷро карда шавад.*

$$\sum_{j=1}^n a_j = \sum_{i=1}^m b_i \quad (5)$$

Теорема 2. *Барои системаи муодилаҳои мувозинатӣ (1)-(2), ки масъалаи классикии нақлиётро ҳангоми иҷрои шартҳои (5) тасвир мекунад, дараҷаи матрицаи r система баробар аст: $r = m + n - 1$.*

«Дар масъала зарур буд, ки модели математикӣ арзиши минималии ҳамлу нақли бори якхела (семент) аз ду корхонаи истеҳсоли семент — Тоҷик Семент ва Моҳир Семент ба чор анбори Неругоҳи барқи обии Роғун муайян карда шавад. Нақшаи ибтидоӣ бо усули кунҷи шимолу ғарбӣ ёфта шуда, ҳалли оптималии ин масъала бо усули потенциалҳо ба даст оварда шуд. Ин усул ба теоремаи зерин асос ёфтааст» [10].

Теорема 3. *Агар барои ягон ҳалли базисии имконпазири $x = \{x_{ij}\}$ —и масъалаи нақлиёт чунин ададҳои*

$$u_1, u_2, u_3, \dots, u_m, \quad \text{ва} \quad v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$$

мавҷуд бошанд, ки

$$v_n - u_m = c_{ij} \quad \text{барои интиқоли базисӣ} (x_{ij} > 0); \quad (6)$$

$$v_n - u_m \leq c_{ij} \quad \text{барои тағирёбандаҳои озод} (x_{ij} = 0); \quad (7)$$

барои ҳамаи $i = 1, 2, \dots, m$ ва $j = 1, 2, \dots, n$ он гоҳ $x = \{x_{ij}\}$ — ҳалли оптималии масъалаи нақлиёт мебошад.

Ададҳои u_m ва v_n , мувофиқан потенциалҳои нуқтаҳои борфиритосонӣ ва нуқтаҳои борқабулкунӣ номида мешаванд.

Дар параграфи дуюми **боби дуюм** ҳалли масъалаи нақлиёт бо критерияи вақт оварда шудааст. Масъалаи муҳими илмӣ дар ин параграф, модели математикӣ раванди кашонидани борҳои нақлиётӣ НБО Роғун мебошад. Боркашонӣ ба НБО Роғун барои сохтмон ва нигоҳубини минбаъдаи НБО Роғун, ки калонтарин неругоҳ дар Осиёи Миёна мебошад, ба категорияи лоиҳаҳои мураккаб дохил мешавад. Мураккабии он аз релефи кӯҳии минтақа вобаста аст. Тавре ки маълум аст, Ҷумҳурии Тоҷикистон релефи кӯҳӣ дорад ва аз ин рӯ, намуди асосии нақлиёти хушкӣ нақлиёти автомобилӣ мебошад.

Рушди системаҳои кашондани масолеҳи сохтмони НБО Роғун нишон медиҳад, ки раванди боркашонӣ танҳо тавассути қорӣ намудани принсипи вақти муқарраршудаи кашонданӣ бор ба иншооти неругоҳ, яъне истифодаи принсипи логистикӣ «дақиқ дар вақт» имконпазир аст. Барои ҳалли масъалаҳои барномасозии ҳаттӣ аввал ҳадафҳои низоми идорашаванда муайян гардида, системаи маҳдудиятҳо аз рӯи захираҳо ташаққул дода мешавад. Пас аз муайян намудани функсияи мақсад ва тавсифи системаи маҳдудиятҳо, ҳалли оптималии масъалаи нақлиёт ёфта мешавад.

Масъалаи нақлиётро метавон ба ду навъ чудо кард: масъалаи нақлиёт аз рӯи критерияи арзиш, ки дар он арзиши минималии боркашонӣ муҳим мебошад ва масъалаи нақлиёт аз рӯи критерияи вақт, ки дар он вақти боркашонӣ аҳамияти асосӣ дорад. Ҳадафи асосӣ дар ҳолати классикӣ масъалаи нақлиёт кам кардани арзиши боркашонӣ мебошад, аммо дар баъзе ҳолатҳои амалӣ, ки ҳангоми сохтмони иншооти муҳими стратегӣ ба вучуд меоянд, маҳз минимизатсияи вақти таъминот муҳим мегардад. Чунин ҳолатҳо ҳангоми сохтмони як қатор иншооти стратегӣ, аз ҷумла сохтмони Неругоҳи барқи обии Роғун, ки объекти калидии инфрасохтори гидроэнергетикӣ Чумхурии Тоҷикистон мебошад, ба назар мерасанд.

Хусусияти ин гузориш дар он аст, ки критерияи оптималӣ аз нишондиҳандаҳои иқтисодӣ ба параметрҳои вақтӣ мегузарад. Ин равиш таҳияи алгоритмҳои махсусро талаб мекунад, ки аз усулҳои анъанавӣ ҳалли масъалаҳои нақлиёт фарқ мекунад. Аҳамияти амалии оптимизатсияи вақт махсусан ҳангоми баргараф кардани ҳолатҳои ғавқулӯда, таъмини пайдарпаии корҳои сохтмонӣ ва дигар сценарияҳои, ки омилҳои вақт муайянкунанда мегардад, аён аст. Барои объекти инфрасохтори энергетикӣ, ба монанди НБО Роғун, имконияти зуд воқуниш ба шароити тағйирёбанда ақсар вақт аз сарфаи хароҷоти нақлиёт муҳимтар аст.

«Масъалаи нақлиёт аз рӯи критерияи вақт чунин ифода карда мешавад» [11-12]: Аз m нуктаҳои истехсоли A_1, A_2, \dots, A_m бо захираи a_i ($i = 1, 2, \dots, m$) ва n нуктаи истеъмоли B_1, B_2, \dots, B_n бо талаботи b_j ($j = 1, 2, \dots, n$) мавҷуд аст, ки суммаи захира ба суммаи талабот баробар аст (4):

Вақти кашондани t_{ij} аз ҳар як пункти истехсолии A_i ба ҳар як пункти истеъмолии B_j дода мешавад, ки ба ҳаҷми боркашонии x_{ij} вобаста нестанд. Захираҳои a_i , талаботи b_j ва вақти t дар ҷадвали 1 ба монанди ҷадвали муқаррарии нақлиёт оварда шудаанд, бо фарқияти он, ки ба ҷои хароҷоти боркашонӣ c_{ij} вақти интиқол t_{ij} мавҷуд мебошад:

Ҷадвали 1. – Ҷадвали умумии таъминот бо критерияи вақт

b_j	b_1	...	b_j	...	b_n
a_i	t_{11}	...	t_{1j}	...	t_{1n}
a_1	x_{11}	...	x_{1j}	...	x_{1n}
...
a_i	t_{i1}	...	t_{ij}	...	t_{in}
	x_{i1}	...	x_{ij}	...	x_{in}
...
a_m	t_{m1}	...	t_{mj}	...	t_{mn}
	x_{m1}	...	x_{mj}	...	x_{mn}

Гузориши масъала, муайян кардани тағирёбандаҳои x_{ij} -ро талаб мекунад, ки ба шартҳои зерин ҷавобгӯ бошанд (1) - (2) ва $x_{ij} \geq 0, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$,

Функсияи максад:

$$T(X) = \max_{x_{ij}} \{t_{ij}\} \rightarrow \min;$$

дар ин ҷо t_{ij} вақти боркашонӣ тавассути ҳатсайр (i, j) мебошад.

Хусусияти асосии модел, дар кам кардани вақти максималии боркашонӣ дар байни ҳамаи ҳатсайрҳои истифодашаванда мебошад.

Параметри T -ро ворид мекунем, ки вақти умумии иҷрои ҳамаи боркашониро муайян мекунад, ки тавассути хароҷоти вақти кашондан t_{ij} ва ҳаҷми кашондашуда x_{ij} муайян карда мешавад. Азбаски ба итмом расидани тамоми маҷмӯи борҳои кашондашуда ҳамзамон бо ба охир расидани амалиёти тўлонитарин сурат мегирад, бузургии T қимати максималии дар байни ҳамаи t_{ij} -ҳо, ки ба ҳатсайрҳои истифодашавандаи $x_{ij} > 0$ мувофиқат мекунад, ифода мекунад.

Ба таври математикӣ чунин ифода мешавад:

$T = \max_{x_{ij}>0} t_{ij}$, дар ин ҷо аломати $x_{ij} > 0$ нишон медиҳад, ки танҳо хатсайрҳои

фаъоли нақлиёт ба назар гирифта мешаванд.

Масъалаи оптимизатсия барои ёфтани чунин тақсимои ҷараёни бор (x_{ij}), ки қимати минималии T -ро ба даст меорад, оварда мешавад:

$$T = \max_{x_{ij}>0} t_{ij} = \min.$$

Ин навъи гузориши масъала бо он фарқ мекунад, ки гарчанде масъала хаттӣ мебошад, аммо дар асл функсияи мақсади T аз тағйирёбандаҳои x_{ij} ба таври ғайрихаттӣ вобаста аст ва ҳамин тавр истифодаи усулҳои маъмулии барномасозии хаттӣ ғайриимкон мегардад. Барои чунин ҳолатҳо равиши махсус, яъне усули катакчаҳои манъшуда, таҳия гардидааст.

«Барои ҳалли чунин масъалаҳо усули махсуси алгоритмӣ усули катакчаҳои манъшуда таҳия шудааст. Моҳияти он дар он аст, ки ҷадвали нақлиётро бо роҳи истисно кардани хатсайрҳои дарозтарин то расидан ба нишондиҳандаи оптималии вақт пайдарпай табдил медиҳад. Ин усул имкон медиҳад, ки ҳалли минималии вақти иҷрои боркашонӣ самаранок пайдо кунад» [12-15].

Алгоритми ҳалли масъалаи нақлиёт аз рӯи критерияи вақт чунин дода мешавад:

«Раванд бо сохтани ҳалли аввалаи тақиягоҳии X_1 ва ҳисоб кардани функсияи мақсад $T(X_1) = \max\{t_{ij}\} = t_{i_1 j_1}$ оғоз меёбад. Дар ин марҳила ҳамаи катакчаҳои озод $t_{ij} > T(X_1)$ хорич карда мешаванд, зеро истифодаи онҳо вақти умумии боркашониро зиёд мекунад.

Барои кам кардани $T(X_1)$ тартиби холи кардани катакчаи (i_1, j_1) : истифода мешавад:

- Даврҳои холикунии сохта мешаванд, ки катакчаҳои озодро дар бар мегиранд;
- Дар даврҳо аломатҳои «+» ва «-» гузошта мешаванд;
- Гузариш ба бузургии $Q = \min\{x_{ij}\}$ иҷро карда мешавад.

Пас аз боркашонии бомуваффақият, мо ҳалли нави X_2 –ро бо $T(X_2) < T(X_1)$ мегирем. Ин раванд барои катакчаи нави критекӣ (i_2, j_2) , такрор мешавад, то он даме ки оптимизатсияи минбаъда имконпазир боқӣ мемонад. Дар натиҷа, ҳалли беҳтарин бо вақти минималии иҷрои ҳамаи боркашонӣҳо ба даст оварда мешавад» [12-15].

Дар параграфи сеюми **боби дуюм** модели регрессионии вобастагии нархи сӯзишворӣ ва арзиши қашонидани маҳсулотҳои сохтмонӣ ба НБО Роғун омӯхта шудааст. Дар илми иқтисодии ҷаҳонӣ як қатор усулҳои пешгӯӣ ва банақшагири хуб омӯхта шудаанд, ки ба ҳалли масъалаҳои асосноккунии дурнамои рушди кишварҳо ва минтақаҳо имкон медиҳанд. Дар ин параграф пешгӯии омории масъалаи модели регрессионии вобастагии нархи сӯзишворӣ

ва арзиши кашонидани маҳсулоти сохтмонӣ ба НБО Роғун оварда шудааст, инчунин ҳалли модели регрессионӣ бо истифода аз муодилаи регрессионии ҳаттии $y = ax + b$, ки дар он a -коэффитсиенти регрессия, b -узви озоди муодилаи регрессия мебошад. Барои пайдо кардани ин коэффитсиентҳо усули квадратҳои хурдтарин истифода шудааст.

Параграфи чоруми **боби дуюм** ба модели математикӣ ва компютери масъалаи нақлиёт ва истифодаи он дар ҳалли масъалаҳои иқтисодии НБО Роғун бахшида шудааст. Дар ин параграф методи ҳалли масъалаи нақлиёти барномасозии ҳаттӣ дар мисоли сохтмони иншоотҳои НБО-и Роғун муқаррар карда шудааст. Масъалаи мушаххасе баррасӣ карда шуд, ки дар он 6 ширкати нақлиётӣ, ки бо кашондани борҳои якхела машғуланд, объекти таҳқиқот буданд. Мавзӯи таҳқиқот сохтани нақшаи оптималии боркашонӣ бо хароҷоти минимали аз 3 анбор ба объектҳои сохтмони НБО Роғун буд. Мушкилот дар минимизатсияи хароҷоти кашондани борҳои якхела (металл) барои ширкатҳои нақлиётӣ буд. Барои ин нақшаҳои оптималии кашондани бор тартиб дода шуданд, ки дар он захираҳои ҳамаи таъминкунандагон бароварда шуда, дархостҳои ҳамаи истеъмолкунандагон қонеъ карда шуд ва хароҷот минимали буданд. Арзиши кашондани як тонна маҳсулоти якхела (металл) ва талабот аз ҳар як нуктаи боркашонӣ ба нуктаҳои истеъмолӣ (объектҳои сохтмонӣ) дар ҷадвали 2 оварда шудааст (маълумот аз ҷониби идораи НБО Роғун пешниҳод шудааст).

Ҷадвали 2. – Ҷадвали таъминот бо критерияи арзиш

Нуктаҳои таъминот	Нуктаҳои таъинот						Захира
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	
A_1	96	97	96	95	98	98	2056
A_2	83	82	90	78	81	84	7163
A_3	66	65	72	67	67	64	3881
талабот	1296	304	2357	5294	3649	200	13100

Бо истифода аз усули кунҷи шимолу ғарб нақшаи тақягоҳи сохта шуд ва бо истифода аз усули потенциалҳои нақшаҳои оптималии боркашонӣ барои ҳамаи ширкатҳои нақлиётӣ ба даст оварда шуданд, ки имкон дод хароҷотро коҳиш диҳанд ва таъмини маводи сохтмониро суръат бахшанд (ҷадвали 3).

Ҷадвали 3. – Нақшаи таъягоҳии панҷуми масъалаи нақлиёт

Нуктаҳои таъминот	Нуктаҳои таъинот						Захира
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	
A_1	96 0	97 0	96 2056	95 0	98 0	98 0	2056
A_2	83 0	82 0	90 0	78 5294	81 1869	84 0	7163
A_3	66 1296	65 304	72 301	67 0	67 1780	64 200	3881
Талабот	1296	304	2357	5294	3649	200	13100

$$\min F(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

$$F(x) = 96 \cdot 2056 + 78 \cdot 5294 + 81 \cdot 1869 + 66 \cdot 1296 + 65 \cdot 304 + \\ + 72 \cdot 301 + 67 \cdot 1780 + 64 \cdot 200 = 1020725$$

Ҳамин тариқ, арзиши минималии кашондани металл 1020725(т/сомон) - ро ташкил дод.

Дар параграфи панҷуми **боби дуҷум** ҳалли масъалаи нақлиёти барномасозии ҳаттӣ бо истифода аз усули аппроксиматсияи Фогел баррасӣ мешавад. Барои ҳалли масъалаи нақлиёт бо усули аппроксиматсияи Фогел алгоритме тартиб дода шудааст, ки он минимизатсияи хароҷоти боркашонии масолахро таъмин мекунад. Усул бо назардошти хусусиятҳои релеф ва инфраструктура ба шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон мувофиқ карда шудааст.

Боби сеюм ба таҳқиқи масъалаҳои нақлиёт ва таҳияи алгоритмҳои ҳалли онҳо бо назардошти хусусиятҳои мушаххас, ба монанди номуайянии тарифҳо ва тағйирёбии талабот бахшида шудааст. Аз ҷумла, истифодаи назарияи маҷмӯаҳои носаҳеҳ (Fuzzy) имкон медиҳад, ки параметрҳои тағйирёбандаи модели нақлиётӣ, аз ҷумла хароҷоти тағйирёбандаи боркашонӣ ва ноустувории чараёни боркашонӣ ба расмият дарорад. Ин равиш ҳангоми банақшагирии логистика барои Нерӯгоҳи Барқи Обии Роғун аҳамияти махсус пайдо мекунад, ки дар он динамикаи шароити беруна усулҳои тағйирёбандаи осони оптимизатсияро талаб мекунад.

Маҷмӯи барномаҳои компютерӣ барои ташаккули нақшаҳои оптималии боркашонӣ аз рӯи критерияҳои арзиш, вақт, аппроксиматсияи Фогел ва тарифҳои носаҳеҳ таҳия карда шуданд ва як қатор таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ гузаронида шуданд.

Дар параграфи якуми **боби сеюм**, гузориши масъалаи нақлиёти барномасозии хаттӣ бо тарифҳои носаҳеҳ ба таври математикӣ оварда шудааст.

Дар ин параграф ҳалли масъалаҳои нақлиёт ҳангоми сохтмони объектҳои калон (дар мисоли НБО Роғун) дар шароити номуайянии тарифҳо тадқиқ карда мешавад. Усулҳои анъанавӣ, ки ба маълумоти дақиқ асос ёфтаанд, аксар вақт бо сабаби тағйирёбии омилҳо (вазъи роҳҳо, нархи сӯзишворӣ ва ғайра) истифода намешаванд. Модели математикӣ бо истифода аз назарияи маҷмӯаҳои носаҳеҳ пешниҳод карда шудааст [16], ки дар он арзиши боркашонӣ ҳамчун Fuzzy маҷмӯъ дода мешавад. «Барои оптимизатсия усулҳои таҳлили регрессионии Fuzzy истифода мешаванд, ки имкон медиҳанд параметрҳои носаҳеҳро ба назар гиранд ва хароҷотро минималӣ кунанд» [16-17].

Масъалаи кашондани маҳсулоти якҷинса (семент) аз m нуқтаи истеҳсоли бо захираи $A_i, i=1, \dots, m$ ва n истеъмолкунандагони ин маҳсулот бо ҳаҷми маълуми истеъмоли $B_j, j=1, \dots, n$ баррасӣ карда шуд. Арзиши кашондани маҳсулот аз маҷмӯи носаҳеҳ \overline{C}_{ij} иборат аст. Ҳангоми иҷрои шартӣ тавозуни масъалаи нақлиёт, масъалаи муайян кардани арзишҳо баррасӣ карда мешавад, $x_{ij} \geq 0, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$ бо маҳдудиятҳои зерин $\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i=1, 2, \dots, m$ ва $\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j=1, 2, \dots, n$ таъминкунандаи арзиши самараноки fuzzy маҷмӯҳо бо функсияи мақсад

$$\overline{F} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \overline{C}_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (8)$$

дар инҷо $\overline{C}_{ij} \geq 0$ - маҷмӯи носаҳеҳ.

«Дар таҳқиқот маҷмӯаҳои носаҳеҳ барои моделсозии номуайянии масъалаҳои нақлиётӣ истифода шудаанд, ки дар он равишҳои анъанавӣ омилҳои субъективиро ба назар намегиранд. Ба рақамҳои сегонаи носаҳеҳ (a,m,b) ҳамчун воситаи самараноки расмикунонии параметрҳои носаҳеҳ диққати махсус дода шудааст» [16]. «Бояд қайд кард, ки маҷмӯаҳои классикӣ ҳолати махсуси номуайян ҳангоми истифодаи функсияи хусусиятии мансубият мебошанд» [17],

$$\mu_A(x) = \chi_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A, \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

«Ҳамчун маҷмӯи Fuzzy маҷмӯаҳои мукамал бо функцияҳои мансубияти намуди умумӣ баррасӣ карда шуданд $0 \leq \mu_{\bar{C}} \bar{C}_{ij} \leq 1$. Дар ҳолати хусусӣ метавон функцияҳои тааллуқиятдоштаро бо ду функция $\mu_{L\bar{C}}(\bar{C}_{ij})$ ва $\mu_{R\bar{C}}(\bar{C}_{ij})$, ё бо се — $\mu_{L\bar{C}}(\bar{C}_{ij})$, $\mu_{R\bar{C}}(\bar{C}_{ij})$ ва $\mu_{G\bar{C}}(\bar{C}_{ij})$ пешниҳодшуда, дидабаромада шудаанд. Функцияҳои $\mu_{L\bar{C}}(\bar{C}_{ij})$ — монотонӣ камнашаванда дар порчаи $[0, 1]$ мебошанд, функцияҳои $\mu_{R\bar{C}}(\bar{C}_{ij})$ — монотонӣ наафзоианда дар нуктаи $[0, 1]$, ва функцияи $\mu_{G\bar{C}}(\bar{C}_{ij}) = const = 1$ дар ҳолати баръакс — кушода мебошад» [18].

Ҳангоми ёфтани нақшаи такагоҳӣ, масалан, бо усули кунчи шимолу ғарб $x_{11} = \min(a_1, b_1)$, бо назардошти интиқолҳои аллакай анҷомдодашуда, интиҳоби боркашонии дахлдор дар асоси табдили тарифҳои носаҳеҳ ба муайяншуда, дар ҳоле ки ҳисоб кардани эквиваленти муайяншуда барои ҳар як маҷмӯи носаҳеҳи коэффитсенти функцияи мақсади \bar{C}_{ij} дар намуди $S\bar{C}_{ij}$ аз рӯи формулаи зерин амалӣ карда мешавад [18].

$$S(\bar{C}) = \sum_{p=0}^p w_p L_p, \quad (9)$$

Дар инҷо $w_p \geq 0$ - коэффитсенти вазнинии буриши маҷмӯҳои носаҳеҳ.

Арзишҳои баъзе аз буришҳои маҷмӯҳои носаҳеҳи \bar{C} , $\mu_{\bar{C}}(C) - \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_p, \dots, \alpha_p$. баррасӣ карда мешаванд. Бигзор $C_0^1, C_1^1, \dots, C_p^1, \dots, C_p^1$ ва $C_0^2, C_1^2, \dots, C_p^2, \dots, C_p^2$ мутаносибан координатаҳои абсиссаи ҳамаи ин қисмҳо бошанд. Арзиши координатаҳои нуктаҳои миёнаи буришҳои мувофиқро аз рӯи формулаи зерин ҳисоб мекунем.

$$L_p = 0,5(C_p^1 + C_p^2). \quad (10)$$

«Бигзор $\bar{x}_{ij} \geq 0$ арзишҳои муайяншудаи ҳаҷми интиқол, ки дар баъзе ҳалли имконпазир ба асоси аввала ба даст оварда шудаанд. Fuzzy маҷмӯӣ, ки арзиши функцияи мақсади ҳалли имконпазир ба асоси рои формулаи зерин муайян мекунанд» [18]:

$$\mu_{\bar{F}(\bar{Z})}(\bar{F}(\bar{Z}_p)) = \max_{(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{mn}) \in \bar{Q}(\bar{Z})} \min \{ \mu_{\bar{C}}(\bar{C}_{11}), \mu_{\bar{C}}(\bar{C}_{12}), \dots, \mu_{\bar{C}}(\bar{C}_{ij}), \dots, \mu_{\bar{C}}(\bar{C}_{mn}) \},$$

дар инҷо

$$\tilde{Q}(\bar{Z}_p) = \{ (\bar{x}_{11}, \bar{x}_{12}, \dots, \bar{x}_{ij}, \dots, \bar{x}_{mn}) \mid \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \bar{C}_{ij} \bar{x}_{ij} = \bar{Z}_p; \bar{x}_{ij} > 0, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m \};$$

$\bar{Z}_p \in [\bar{Z}^{\min}, \bar{Z}^{\max}]$ - диапазони арзишҳои имконпазири муайяншудаи хароҷоти умумии вобаста ба интиқоли бор [18].

Барои функсияи таалуқият хароҷоти нисбии боркашонии намуди сегонаи ифодаи $\mu_{\bar{F}(\bar{Z})}(\bar{F}(\bar{Z}_p))$ аз рӯи формулаи ошқори

$$\mu_{\bar{F}(\bar{Z})}(\bar{F}(\bar{Z}_p)) \rightarrow (\bar{A}, \bar{M}, \bar{B}), \text{ ҳисоб карда мешавад.}$$

Дар инҷо

$$\bar{A} = \{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a(\bar{C}_{ij}) \bar{x}_{ij} \mid \bar{x}_{ij} > 0, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m \};$$

$$\bar{B} = \{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b(\bar{C}_{ij}) \bar{x}_{ij} \mid \bar{x}_{ij} > 0, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m \};$$

$$\bar{M} = \{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m(\bar{C}_{ij}) \bar{x}_{ij} \mid \bar{x}_{ij} > 0, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m \};$$

Мисол. Барои сохтмони иншооти НБО Роғун дар соли 2022 аз ду корхонаи семент ҚСК «Сементи тоҷик» ва ҚДММ «ШБИ Чжунсай Моҳир семент» дар ҳаҷми мутаносибан 18951 ва 41439 тонна истехсолшуда ба анборҳои НБО Роғун кашонида шуд. Ин маҳсулоти якҷинса (семент) ба чор анбори НБО Роғун, мутаносибан 17019, 4996, 36444 ва 1931 тонна интиқол дода шуд. Модели математикии арзиши минималии интиқоли борро дар шароити тағйирёбандаи тарифҳо муайян кардан лозим аст.

Арзиши интиқоли 1 тонна маҳсулоти якҷинса (семент) аз ҚСК «Сементи тоҷик» ва аз ҚДММ «ЖБИ Чжунцай Моҳир Цемент» ба НБО Роғун дар чадвали 4 нишон дода шудааст (маълумот аз идораи НБО Роғун гирифта шудааст). Арзиши интиқоли бор (семент) вобаста ба арзиши сӯзишворӣ бо рақамҳои Fuzzy бо функсияҳои таалуқияти навъи сегонаи $\mu(x)(A) = (a, m, b)$ дар чадвали 4 нишон дода шудааст.

Чадвали 4. – Арзиши кашондани як тонна маҳсулоти якҷинса ба объектҳои сохтмони НБО Роғун бо истифода аз маҷмӯҳои носаҳеҳ

Пунктҳо	Анборҳо				Захираҳо
	Анбори-1	Анбори -2	Анбори -3	Анбори -4	
«Моҳир Семент»	(4,108,6)	(3,111,5)	(4,112,5)	(5,113,4)	41439
«Сементи Тоҷик»	(1,82,3)	(3,84,2)	(7,87,6)	(7,89,5)	18951
Талаботҳо	17019	4996	36444	1931	60390

Ҳалли масъалаи нақлиёт аз ду марҳила иборат аст. Марҳилаи аввал, ки аз ёфтани нақшаи асосӣ бо ягон усул иборат аст, дар ин ҳолат мо усули кунҷи шимолу ғарбро истифода мебарем. Марҳилаи дуюм аз такмил додани нақшаи асосӣ ва дарёфти нақшаи оптималии интиқол иборат аст.

Муқоиса ва муайян кардани афзалиятҳои маҷмӯҳои Fuzzy бо усули буриши сатҳҳои $\lambda_0 \{\mu_x(A)\} = 0, \lambda_1 \{\mu_x(A)\} = 0,25, \lambda_2 \{\mu_x(A)\} = 0,5,$

$\lambda_3 \{\mu_x(A)\} = 0,8, \lambda_4 \{\mu_x(A)\} = 1,0$ бо коэффитсиентҳои мувофиқ ҳангоми ҳисоб кардани нишондиҳандаи муайяншудаи самаранокии Fuzzy-маҷмӯъ бо вектори $W=(0,05;0,1;0,15;0,3;0,4)$ иҷро карда мешавад. Интиҳоби рақам ва сатҳи қисмҳо ва арзиши коэффитсиентҳои вазн аз ҷониби коршинос ё шахсе, ки дар бораи дараҷаи хатари иҷозатдодашуда қарор қабул мекунад, дода мешавад.

Ҳисоб кардани эквиваленти муайяншуда барои ҳар як маҷмӯи носаҳеҳи коэффитсиенти функсияи мақсади C_{ij} дар шакли $s(\bar{c}_{ij})$ аз рӯи формулаи

$$s(\bar{C}_{ij}) = \sum_{p=0}^p w_p L_p \quad (11)$$

дар инҷо w_p - коэффитсенти вазни, $0 \leq w_p \leq 1, p = 0,1, \dots, P = \sum_{p=0}^p w_p = 1$

L_p – қимати координат, бо формулаи

$$L_p = 0,5 \left\{ (m(\bar{c}) - a(\bar{c})(1 - \alpha_p)) + (m(\bar{c}) + b(\bar{c})((1 - \alpha_p))) \right\} \quad (12)$$

муайян мешавад.

Барои ҳосил кардани нақшаи тақягоҳӣ ва баҳодихии муайяншуда ҳамчун маркази вазнинии зергурӯҳҳои дахлдор формулаи зеринро истифода мебарем (формулаи функсияи таалуқияти намуди секунҷа):

$$G(\bar{c}) = \frac{1}{3} [(m(\bar{c}) - a(\bar{c})) + m(\bar{c}) + (m(\bar{c}) + b(\bar{c}))]. \quad (13)$$

Бо истифода аз формулаи (13) ва қимати арзишҳои дар ячейкаҳои ҷадвали 4 масъалаи муайяншударо ба даст меорем (ҷадвали 5):

Ҷадвали 5. – Арзишҳои муайянкунанда (детермиронӣ)

Пунктҳо	Анборҳо				Захираҳо
	Анбори-1	Анбори -2	Анбори -3	Анбори -4	
« <u>Мохир Семент</u> »	107,67	111,67	112,34	112,67	41439
« <u>Сементи Точик</u> »	82,34	83,67	86,67	88,34	18951
Талаботҳо	17019	4996	36444	1931	60390

Нақшаи аввалаи тақягоҳиро бо усули кунчи шимолу ғарб месозем (ҷадвали 6).

Ҷадвали 6. – Нақшаи дуҷуми тақягоҳи

Пунктҳо	Анборҳо				Захираҳо
	Анбори-1	Анбори -2	Анбори -3	Анбори -4	
«Моҳир Семент»	107,67 17019	- 111,67 4996	+ 112,34 19424	112,67 0	41439
«Сементи Тоҷик»	82,34 0	+ 83,67 0	- 86,67 17020	88,34 1931	18951
Талаботҳо	17019	4996	36444	1931	60390

$$F_0 = 107,67 \cdot 17019 + 111,67 \cdot 4996 + 112,34 \cdot 19424 + 86,67 \cdot 17020 + 88,34 \cdot 1931 = 6218139,15$$

Минбаъд, бо истифода аз усули потенциалҳо, ин нақша барои оптималӣ будан санҷида мешавад. Бо истифода аз формулаи (11) fuzzy-маҷмӯи арзиши функсияи мақсади нақшаи тақягоҳиро пайдо мекунем:

$$17019 \cdot (4,108,3) + 22489 \cdot (4,112,5) + 1931 \cdot (5,113,4) + 4996 \cdot (3,84,2) + 13955 \cdot (7,87,6) = (280360, 6208772, 264948).$$

яъне $a=280360$; $m=6208772$; $b=264948$

ҳамин тавр

$$F_1^0 = (m(\bar{c}) - a(\bar{c}), m(\bar{c}), (m(\bar{c}) + b(\bar{c}))) = (5928412, 6208772, 6473720)$$

$$C(F_1^0) = 0,05 \cdot \frac{1}{2} [(6208772 - 280360 \cdot (1-0)) + (6208772 + 264948 \cdot (1-0))] +$$

$$+ 0,1 \cdot \frac{1}{2} [(6208772 - 280360 \cdot (1-0,25)) + (6208772 + 264948 \cdot (1-0,25))] +$$

$$+ 0,15 \cdot \frac{1}{2} [(6208772 - 280360 \cdot (1-0,5)) + (6208772 + 264948 \cdot (1-0,5))] +$$

$$+ 0,3 \cdot \frac{1}{2} [(6208772 - 280360 \cdot (1-0,8)) + (6208772 + 264948 \cdot (1-0,8))] +$$

$$+ 0,4 \cdot \frac{1}{2} [(6208772 - 280360 \cdot (1-1)) + (6208772 + 264948 \cdot (1-1))] = 310053,3 +$$

$$+ 620299,25 + 930737,85 + 1862169,24 + 2483508,8 = 6206768,44$$

$$G(F_1^0) = \frac{1}{3} \cdot ((6208772 - 280360) + 6208772 + (6208772 + 264948)) = 6203634,67.$$

$$F_1^0 = (5928412, 6208772, 6473720), C(F_1^0) = 6206768,44,$$

$$G(F_1^0) = 6203634,67.$$

Ҳалли ин масъалаи нақлиёт бо тарифҳои носоҳах муайяншуда, ки дар он арзиши интиқоли бор (семент) ба иншооти сохтмони Нбо Роғун 6206768,44 сомони ро ташкил медиҳад, самараноктарин аст.

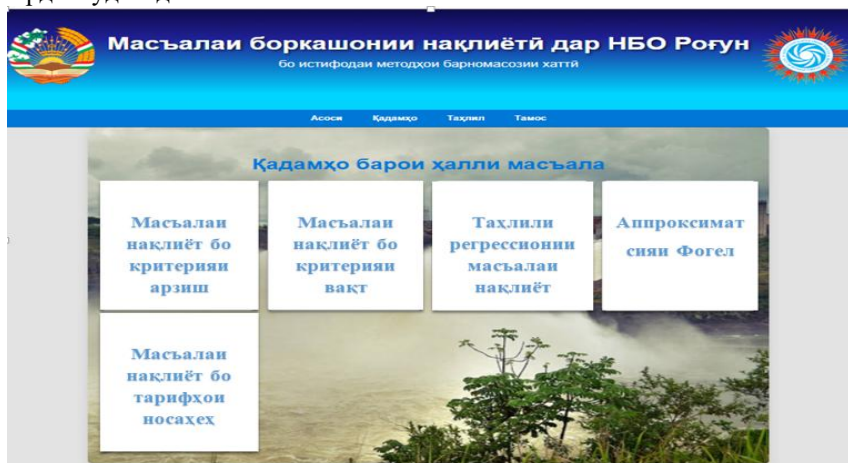
Дар параграфи дуоми **боби сеюм** натиҷаҳои маҷмӯи барномаҳои ба мушкилот нигаронидашуда барои ҳалли масъалаҳои нақлиёт оварда шудаанд. Барои алгоритми пешниҳодшудаи ташаккули нақшаи оптималии интиқоли борҳои НБО Роғун маҷмӯи барномаҳои компютерӣ таҳия карда шуд ва як қатор таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ гузаронида шуданд. Маҷмӯи барномаҳои компютерӣ бо забонҳои барномасозии java script, ки дар соҳаҳои илмӣ, муҳандисӣ, математикӣ ва компютерӣ васеъ истифода мешаванд, таҳия шудааст.

Сохтори модели компютери раванди ёфтани нақшаи оптималии боркашонӣ барномаҳои зеринро дар бар мегирад:

1. Ёфтани ҳалли оптималии масъалаи нақлиёт аз рӯи критерияи арзиш;
2. Ёфтани ҳалли оптималии масъалаи нақлиёт аз рӯи критерияи вақт;
3. Алгоритми ҳалли масъалаи нақлиётӣ бо усули аппроксиматсионии Фогел.

4. Муайян кардани ҳалли оптималии масъалаи нақлиёт бо тарифҳои носаҳеҳ.

Натиҷаҳои барномаро дар шакли ҷадвал ва дар шакли график ба даст овардан мумкин аст. Скриншотҳои натиҷаҳои барномаҳои гирифташуда оварда шудаанд.



Расми 1. - Комплекси барномавии масъалаи боркашонии нақлиётӣ дар НБО Роғун

Масъалаи нақлиёт бо критерияи арзиш

Шумораи анборҳо:

Шумораи талаботҳо:

Соختани ҷадвал

Ҳисоб кардани арзиши минималӣ

Натиҷа дар ин ҷо нишон дода мешавад...

Расми 2. - Комплекси барномавии масъалаи боркашонии нақлиётӣ бо назардошти арзиш

📦 Ҷадвали таъминот бо критерияи арзиш

	Анбори 1	Анбори 2	Анбори 3	Анбори 4	Захира
Сементи тоҷик	70	65	68	75	135671
Мохир семент	90	110	95	100	44098
Талабот	59640	45393	39811	34925	Z= 179769

🔗 Ҳалли масъала

Расми 3. - Соختани ҷадвал

📊 Ҳалли оптималӣ (Методи потенциалҳо)

	Анбори 1	Анбори 2	Анбори 3	Анбори 4
Сементи тоҷик	50467	45393	39811	0
Мохир семент	9173	0	0	34925

📦 Модели компютери арзиши минималии боркашонӣ

Формула	Натиҷа
Z=	179769
Z (харочоти минималӣ)	13332828

Расми 4. - Арзиши минималии масъала



Масъалаи нақлиёт бо критерияи вақт

Семент / Анбор	Анбори 1	Анбори 2	Анбори 3	Анбори 4	Захира
Сементи тоҷик	2.0	1.8	1.9	2.1	135671
Моҳир семент	2.3	2.4	2.35	2.5	44098
Талабот	59640	45393	39811	34925	

ҲАЛ ҚАРДАН

1 Санҷиш $T = 2.35$

- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 2 = 45393 ($t=1.8$)
- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 3 = 39811 ($t=1.9$)
- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 1 = 50467 ($t=2$)
- ✓ Моҳир семент → Анбори 1 = 9173 ($t=2.3$)
- ✗ Норасой

2 Санҷиш $T = 2.4$

- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 2 = 45393 ($t=1.8$)
- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 3 = 39811 ($t=1.9$)
- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 1 = 50467 ($t=2$)
- ✓ Моҳир семент → Анбори 1 = 9173 ($t=2.3$)
- ✗ Норасой

3 Санҷиш $T = 2.5$

- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 2 = 45393 ($t=1.8$)
- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 3 = 39811 ($t=1.9$)
- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 1 = 50467 ($t=2$)
- ✓ Моҳир семент → Анбори 1 = 9173 ($t=2.3$)
- ✓ Моҳир семент → Анбори 4 = 34925 ($t=2.5$)

✗ ҲАЛ БО КРИТЕРИЯИ ВАҚТ:

1 Вақтҳо: 1.8, 1.9, 2, 2.1, 2.3, 2.35, 2.4, 2.5

2 Санҷиш $T = 1.8$

- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 2 = 45393 ($t=1.8$)
- ✗ Норасой

2 Санҷиш $T = 1.9$

- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 2 = 45393 ($t=1.8$)
- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 3 = 39811 ($t=1.9$)
- ✗ Норасой

2 Санҷиш $T = 2$

- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 2 = 45393 ($t=1.8$)
- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 3 = 39811 ($t=1.9$)
- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 1 = 50467 ($t=2$)
- ✗ Норасой

2 Санҷиш $T = 2.1$

- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 2 = 45393 ($t=1.8$)
- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 3 = 39811 ($t=1.9$)
- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 1 = 50467 ($t=2$)
- ✗ Норасой

2 Санҷиш $T = 2.3$

- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 2 = 45393 ($t=1.8$)
- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 3 = 39811 ($t=1.9$)
- ✓ Сементи тоҷик → Анбори 1 = 50467 ($t=2$)
- ✓ Моҳир семент → Анбори 1 = 9173 ($t=2.3$)
- ✗ Норасой

Расми 5. – Натиҷаҳои компютерии масъалаи нақлиёт бо критерияи вақт

Ҳалли масъалаи нақлиёт бо методи аппроксиматсияи Фогел

Чадвали маълумот (Захира ва Талабот)

Нуқтаҳо	B1	B2	B3	B4	B5	B6	Захира
A1	96	97	96	95	98	98	2056
A2	83	82	90	78	81	84	7163
A3	66	65	72	67	67	64	3881
Талабот	1296	304	2357	5294	3649	200	13100

Қадамҳои методи аппроксиматсияи Фогел

Қадам 1

Қадам 2

Қадам 3

Қадам 4

Натижа

Қадамҳои методи аппроксиматсияи Фогел

Қадам 1

Қадам 2

Қадам 3

Қадам 4

Натижа

Натиҷаи ниҳой

	B1	B2	B3	B4	B5	B6
A1	0	0	2056	0	0	0
A2	0	0	0	5294	1869	0
A3	1296	304	301	0	1780	200

Арзиши умумӣ: 1,020,725

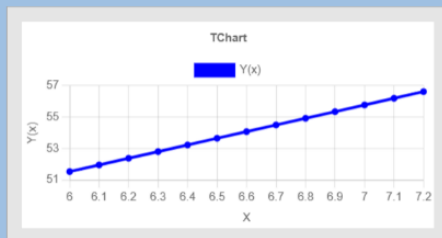
Расми 6. – Натиҷаҳои компютерии масъалаи нақлиёт бо усули
аппроксиматсияи Фогел

Ҳисобкунии муносибати байни нархи сузишворӣ ва арзиши кашонидани 1 тонна маҳсулот бо истифода аз модели регрессия

X	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2
Y(x)	51.5290	51.9531	52.3772	52.8012	53.2253	53.6493	54.0734	54.4975	54.9215	55.3456	55.7696	56.1937	56.6178

Ҳисобкунии

Сохтани график



Расми 7. – Натиҷаҳои компютерии таҳлили регрессионии масъалаи нақлиёт

Масъалаи нақлиёт бо истифода аз маҷмӯҳои носаҳеҳ

Ҳисоби масъала

Ҷадвали масъалаи нақлиёт бо истифода аз маҷмӯҳои носаҳеҳ

Табдилот	Анбор-1	Анбор-2	Анбор-3	Анбор-4	Захира
Моҳир Семент	(4,107,6)	(3,111,5)	(4,112,5)	(5,113,4)	41439
Сементи Тоҷик	(1,82,3)	(3,84,2)	(7,87,6)	(7,89,5)	18951
Талабот	17019	4996	36444	1931	60390

методи Потенциалҳо

Табдилот	Анбор-1	Анбор-2	Анбор-3	Анбор-4	Захира
Моҳир Семент	107.67	111.67	112.34	112.67	41439
Сементи Тоҷик	82.34	83.67	86.67	88.34	18951
Талабот	17019	4996	36444	1931	60390

Арзиши оптималии масъалаи нақлиёт

Z = 6206768.44

Активация Windows
 Чтобы активировать Windows, перейдите в пункт
 "Параметры".

Расми 8. – Арзиши оптималии масъалаи нақлиёт бо истифода аз маҷмӯҳои носаҳеҳ

Боби чоруми кори диссертатсионӣ аз ду параграф иборат буда, ба муҳокимаи натиҷаҳои бадастомада, инчунин баррасии баъзе масъалаҳои таъбиқи амалии онҳо бахшида шудааст.

Хулосаҳо

Натиҷаҳои асосии илмии кори диссертатсионӣ

- Усулҳои инноватсионии оптимизатсияи барномасозии хатӣ барои моделсозии математикии тақсмоти боркашонӣ бо назардошти талаботи муосир ба самаранокӣ ва устувории системаҳои логистикӣ таҳқиқ ва таҳия карда шудаанд, ки имкон медиҳанд боркашонӣ дар муҳити динамикӣ дақиқтар ва самараноктар моделсозӣ ва идора карда шавад [1-М, 7-М];
- Усулҳои ҳалли масъалаи банақшагирии оптималии боркашонӣ, ки ба критерияҳои арзиш ва вақт асос ёфтааст, ки интиқоли фаврии бор талаб карда мешавад, таҳқиқ карда шуданд ва усули аппроксиматсияи Фогел барои ҳалли масъалаҳои нақлиётӣ бо хусусиятҳои муайян истифода шудааст [5-М, 6-М];
- Алгоритмҳои ҳалли масъалаҳои нақлиёт бо тарифҳои номуайяни боркашонӣ дар асоси назарияи маҷмӯаҳои носоҳеҳ барои оптимизатсияи логистикаи сохтмони НБО Роғун дар шароити омилҳои динамикӣ тағйирёбандаи беруна таҳқиқ карда шуданд [3-М, 10-М, 11-М];
- Маҷмӯи барномаҳои компютерӣ барои усулҳои математикии пешниҳодшуда таҳия карда шуданд ва як қатор таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ барои санҷиши самаранокии онҳо ҳангоми ташаққули нақшаҳои оптималии боркашонӣ гузаронида шуданд [2-М, 5-М, 8-М, 9-М].

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо

1. Натиҷаҳои таҳқиқоти диссертатсионӣ оид ба моделсозии математикии боркашонӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон дар мисоли Нерӯгоҳи барқи обии Роғун бо истифода аз усулҳои барномасозии хатӣ метавонанд барои баланд бардоштани самаранокии равандҳои нақлиётӣ ва логистикӣ истифода шаванд. Моделҳои таҳияшуда имкон медиҳанд, ки тақсмоти ҷараёни боркашонӣ оптимизатсия карда шавад ва хароҷоти интиқоли масолеҳи сохтмонӣ ва таҷҳизот коҳиш дода шавад.
2. Алгоритмҳои бадастомада имконият медиҳанд, ки захираҳои нақлиётӣ оқилона истифода бурда шаванд. Ин алгоритмҳо метавонанд ба системаи идоракунии боркашонӣ барои Нерӯгоҳи барқи обии Роғун ворид карда шаванд, то интиқоли хатсайрҳои беҳтарин, намудҳои мувофиқи нақлиёт ва схемаҳои самаранокӣ боркуниро таъмин намоянд.
3. Натиҷаҳои таҳқиқот метавонанд аз ҷониби мақомоти давлатӣ ва ширкатҳои нақлиётӣ барои тақмил додани инфрасохтори логистикӣ дар минтақа истифода шаванд. Ҳамчунин онҳо барои пешгуи ҷараёни

боркашонӣ ва таҳияи қарорҳои стратегӣ дар соҳаи ҳамлу нақл аҳамияти амалӣ доранд.

4. Усул ва моделҳои пешниҳодшуда метавонанд на танҳо барои Нерӯгоҳи барқи обии Роғун, балки барои дигар лоиҳаҳои бузурги инфрасохторӣ дар Тоҷикистон ва минтақаи Осиёи Марказӣ низ мутобиқ ва истифода карда шаванд.

РҶҲАТИ МАҚОЛАҲОИ НАШРШУДАИ МУАЛЛИФ

А) Мақолаҳо дар нашрияҳои тақризшаванда:

[1-М]. Мавлонзода С.Х. Модели математикии боркашонии нақлиётии Чумхурии Тоҷикистон дар мисоли НБО Роғун бо истифодабарии методҳои барномасозии ҳаттӣ / Р.Н. Одинаев, С.Х. Мавлонзода // Паёми донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. – 2020. – №4. – С. 5-14.

[2-М]. Мавлонзода С.Х. Математическая модель решения транспортной задачи по критерию времени на примере Рогунской ГЭС / Р.Н. Одинаев, С.Х. Мавлонзода, М.М. Миралиев // Вестник Таджикского национального университета серия естественных наук. - 2022. -№1.-С. 40-49

[3-М]. Мавлонзода С.Х. Решение транспортной задачи с нечеткими тарифами на примере грузоперевозок Рогунской ГЭС / Р.Н. Одинаев, С.Х. Мавлонзода // Вестник Таджикского национального университета серия естественных наук. - 2022. -№1.- С. 40-49.

[4-М]. Мавлонзода С.Х. Амсилаи регрессионии вобастагии нархи сӯзишворӣ ва арзиши қашонидани маҳсулоти сохтмонӣ ба НБО Роғун / С.Х. Мавлонзода // Паёми Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав силсилаи илмҳои гуманитарӣ ва иқтисодӣ. - 2023. -№1/2. - С.-315-320.

[5-М]. Мавлонзода С.Х. Математическое и компьютерное моделирование транспортной задачи и её применение в решении экономических задач Рогунской ГЭС/ Р.Н. Одинаев, С.Х. Мавлонзода, // Известия НАНТ отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. - 2023. - № 4 (193).- С. 30-43.

[6-М]. Мавлонзода С.Х. Применение метода аппроксимации Фогеля при решении транспортных задач на примере грузоперевозок Рогунской ГЭС / Р.Н. Одинаев, С.Х. Мавлонзода // Известия НАНТ отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. - 2024. -№ 3 (196).- С. 60-66.

Б) Мақолаҳои ки дар дигар нашрияҳо ба таъбир расидаанд:

[7-М]. Мавлонзода С.Х. Истифодаи методҳои барномасозии ҳаттӣ дар модели математикии боркашонии нақлиётии НБО Роғун / Р.Н. Одинаев., С.Х. Мавлонзода // Барномаи конференсияи чумхуриявӣ илмию амалии ҳайати устодону қормандони ДМТ бахшида ба ҷашнҳои 30-солагии Истиқлоли

давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон, 110-солагии шоири халқии Тоҷикистон, қахрамони Тоҷикистон Мирзо Турсунзода, 110-солагии Нависандаи халқии Тоҷикистон Сотим Улуғзода ва «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2024)». Душанбе, 2021. С. 12.

[8-М]. Мавлонзода С.Х. Решение транспортной задачи линейного программирования по критерию времени / Р.Н. Одинаев, С.Х. Мавлонзода // Международной научно-теоритической конференции на тему «Вклад математики в развитие естественных, точных и математических наук», посвящённой двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук (2020-2024 годы). Душанбе 2023 С. 167-170.

[9-М]. Мавлонзода С.Х. Компьютерная модель зависимости цены топлива и стоимости перевозки строительных материалов на Рогунской ГЭС с использованием уравнения линейной регрессии / Р.Н. Одинаев., Ф.Р. Раимзода, С.Х. Мавлонзода // Материалы международной научно-практической конференции «Компьютерный анализ проблем науки и технологии», посвященная «2020-2040 годы, 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования» и «75-летию Таджикского национального университета». Душанбе 2023 - С. 325-330.

[10-М]. Мавлонзода С.Х. Оптимизация грузопревозок Рогунской ГЭС с нечетко определенными тарифами / Р.Н. Одинаев., Ф.Р. Раимзода., С.Х.Мавлонзода // XII-международной научно-практической конференции «Современные проблемы математического моделирования и её приложения», посвященной «Объявления 2020-2040 годы, 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования» и «75-летию Таджикского национального университета» (Таджикистан, Душанбе, 18 май 2024). С. 319-324.

[11-М]. Мавлонзода С.Х. Исследование Транспортной задачи с нечёткими тарифами на примере трузопревозок Рогунской ГЭС / Р.Н. Одинаев., С.Х. Мавлонзода., Л.Р. Рустамова // Материалы международной научно-практической конференции XIV ломоноовские чтения «Роль филиала Московского государственного Университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе в развитии науки и образования». –Душанбе, 2024. – С. 90-94.

[12-М]. Мавлонзода С.Х. Оптимизация грузоперевозок с нечеткими тарифами на примере Рогунской ГЭС / Р.Н. Одинаев., С.Х.Мавлонзода., П.Л. Нарзуллоев // Материалы международной научно-теоритической конференции «Роль математики в становлении и развитии экономических, естественных и точных наук», посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования». Душанбе, 22 ноября 2025 года - С.75-81.

ТАДЖИКСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК:51+53+004.45+621.2+621.311(575.3)

ББК:22.12+22.311+31.261+31+277(2Тадж)

М-13

На правах рукописи



МАВЛОНЗОДА САФАРАЛИ ХИКМАТУЛЛО

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ГРУЗОПЕРЕВОЗОК В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН НА
ПРЕМИРЕ РОГУНСКОЙ ГЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ
ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.10. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Душанбе – 2026

Научная работа выполнена на кафедре математического и компьютерного моделирования Таджикского национального университета

**Научный
руководитель:**

Одинаев Раим Назарович – доктор физико-математических наук, доцент кафедры математического и компьютерного моделирования Таджикского национального университета.

**Официальные
оппоненты:**

Фарход Шокир - доктор физико-математических наук, профессор факультета интегрированных схем Чунцинский университет почты и телекоммуникаций Китайской Народной Республики.

Начмиддиниён Асадулло Мирзо - доктор физико-математических наук, доцент, депутат Маджлиси намояндагон Маджлиси Оли Республики Таджикистан, член Комитета по науке, образованию, культуре и молодежной политике.

Ведущая организация:

Таджикский государственный финансово – экономический университет

Защита состоится «17» июля 2026 года в 10:30 ч. на заседании диссертационного совета 6D.KOA-011 при Таджикском национальном университете по адресу: 734027, г. Душанбе, улица Буни-Хисорак, корпус 17, аудитория №.203.

E-mail: alisher_gaforov@mail.ru; номер мобильного телефона ученого секретаря +992900766603.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться на сайте www.tnu.tj и в библиотеке Таджикского национального университета.

Автореферат разослан « ____ » « ____ » 2026 года.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат физико-математических наук



Гафоров А.Б.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Сфера транспорта в обеспечении устойчивого развития экономики республики занимает важное место и является одним из приоритетных направлений страны. Он не только непосредственно влияет на функционирование всех других отраслей и социальной сферы, но и обеспечивает практически всю жизнедеятельность страны, ее обороноспособность, экономическую целостность и безопасность. Министерство транспорта республики в целях своевременного и качественного выполнения указаний и поручений Основателя мира и национального единства-Лидера нации, Президента Республики Таджикистан, уважаемого Эмомали Рахмона и Правительства Республики Таджикистан были проведены определенные работы по обеспечению макроэкономических показателей отрасли и реализации разработанных мер. В Республике Таджикистан основным видом сухопутного транспорта является автотранспорт.

В современном мире эффективное управление грузоперевозками является одним из ключевых аспектов развития экономики и инфраструктуры страны. В Республики Таджикистан, стремительно развивающейся экономики с высоким потенциалом в энергетической сфере, особое внимание уделяется оптимизации грузоперевозок, особенно в рамках строительства и эксплуатации крупных объектов, таких как Рогунская гидроэлектростанция (Рогунская ГЭС).

При решении задачи по планированию, транспортировке грузов на автотранспорте, основные экономико–математические модели - это модель транспортной задачи и задачи маршрутизации.

Таким образом, актуальность диссертационного исследования заключается в оптимизации грузоперевозок на Рогунский ГЭС с необходимостью использования математического моделирования и методов линейного программирования, что имеет большое значение для развития энергетического сектора и экономики Республики Таджикистан.

Степень разработанности темы исследуемой проблемы. «Математическое моделирование транспортных задач началось в 1930-х годах и было связано с изучением многих экономических и инженерных проблем. В 1930 году советский экономист А.Н. Толстой» [1] «впервые предложил линейное программирование транспортной задачи, а Л.В. Канторовичем» [2] были предложены общие методы решения и математические исследования задачи линейного программирования. «В 1947 году Джордж Данциг предложил для решения этой задачи эффективный алгоритм, основанный на методе потенциалов» [3]. Этот метод стал основным при решении транспортных задач с помощью ЭВМ. С тех пор математическое моделирование используется в различных областях, связанных с логистикой,

грузоперевозками и распределением ресурсов. Одной из первых задач, решенных с помощью математического моделирования, была задача о распределении складских запасов. За ней последовали новые задачи, такие как оптимизация маршрутов доставки товаров и планирование графиков перевозок.

«Задача минимизации транспортных затрат с использованием методов математического моделирования широко рассматривается в научных исследованиях. В работе Л.А. Гладкова и Н.В. Гладковой рассматривается новый подход к решению динамических транспортных задач, повышающий производительность и эффективность региональных транспортных систем» [4]. «Ограниченные по времени динамические транспортные задачи и задачи маршрутизации транспортных средств и их решение новыми методами подробно рассмотрены в работе» [5], где транспортная задача рассматривается на примере работы железнодорожного объекта. В работе [6] приведено решение транспортной задачи с использованием метода Фогеля для расчета минимальной стоимости грузовых перевозок.

«Известно, что транспортная задача линейного программирования является математической моделью для важных практических задач, которые встречаются во всех сферах человеческой деятельности.

В настоящее время разработано очень много алгоритмов для решения транспортных задач, однако публикации на эту тему регулярно появляются как на отечественном, так и на международном уровне. Это связано с огромной прикладной важностью таких задач и их свойствами, которые открывают новые возможности для алгоритмической реализации различных вычислительных методов. Основные подходы к решению этих проблем систематически изложены в книгах и многих других работах» [7-9]. Проблема грузовых перевозок интенсивно изучалась, особенно в течение последних 75 лет. Различные факторы, ограничения и цели делают возможными различные постановки задачи.

Связь работы с научными программами, проектами и темам.

Диссертационная работа выполнена в рамках реализации следующих государственных планов и программ: «Двадцатилетие изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования» на 2020–2040 годы, «Государственная целевая программа развития математических, точных и естественных наук на 2021–2025 годы», долгосрочного плана научно-исследовательских работ кафедры математического и компьютерного моделирования механико-математического факультета Таджикского национального университета на 2020–2025 годы по теме «Разработка математических и компьютерных моделей, алгоритмов, программных комплексов и методов обучения информатике, математике и естествознанию».

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования – Исследование направлено на разработку комплекса математических моделей оптимизации грузовых перевозок в Республике Таджикистан на примере строительства Рогунской ГЭС с использованием методов линейного программирования.

Задачи исследования: Основные задачи исследования данной диссертационной работы заключаются в следующем:

- Исследовать возможности и особенности применения оптимизационной задачи линейного программирования для математического моделирования распределения грузоперевозок;
- Исследовать комплекс методов решения задачи оптимального плана грузоперевозок, по критериям стоимости, критериям времени и метода аппроксимации Фогеля;
- Исследовать алгоритмы решения транспортных задач с неопределенными тарифами грузоперевозки на основе теории нечетких множеств для оптимизации логистики строительства Рогунской ГЭС в условиях динамично изменяющихся внешних факторов;
- Разработать комплекс компьютерных программ для предложенных математических методов, и провести серию вычислительных экспериментов для верификации их эффективности при формировании оптимальных планов грузоперевозок.

Объект исследования. Объектом исследования являются транспортные грузоперевозки в Республике Таджикистан и транспортировка материалов и оборудования для строительства Рогунской гидроэлектростанции.

Предмет исследования - математическое моделирование грузоперевозок в Республике Таджикистан на примере Рогунской ГЭС с использованием методов линейного программирования.

Научная новизна диссертационного исследования. В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

- Исследованы и разработаны инновационные методы оптимизации линейного программирования для математического моделирования распределения грузоперевозок с учетом современных требований к эффективности и устойчивости логистических систем, что позволяет более точно и эффективно моделировать, и управлять грузоперевозками в динамичной среде;
- Исследованы методы решения задачи оптимального планирования грузовых перевозок, основанного на критериях стоимости и на критериях времени, когда требуется срочная перевозка груза, и применён аппроксимационный метод Фогеля для решения транспортных задач с определенными особенностями;

- Исследованы алгоритмы решения транспортных задач с неопределёнными тарифами грузоперевозки на основе теории нечетких множеств для оптимизации логистики строительства Рогунской ГЭС в условиях динамично изменяющихся внешних факторов;
- Разработан комплекс компьютерных программ для предложенных математических методов, и проведён серию вычислительных экспериментов для верификации их эффективности при формировании оптимальных планов грузоперевозок.

Теоретическая и научно-практическая значимость исследования-

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в разработке и адаптации математических моделей, учитывающих специфику транспортной системы Республики Таджикистана, а также особенности функционирования Рогунской ГЭС. Исследование предоставляет методы анализа и оптимизации распределения грузоперевозок, которые могут быть применены не только в данном регионе, но и на других территориях с аналогичными условиями.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в ее потенциальной способности к дальнейшему развитию и применению в реальных условиях. Результаты и методы исследования могут послужить основой для создания инновационных решений в области логистики, транспорта и энергетики, способствуя развитию инфраструктуры и повышению уровня сервиса в Республике.

Положение диссертации, выносимые на защиту:

- развитие качественных и аналитических методов исследования математических моделей транспортных задач по критериям стоимости и времени, а также их использование при решении экономических задач;
- исследование эффективности метода аппроксимации Фогеля и алгоритма для решения транспортной задачи с определёнными характеристиками. Исследование возможности использования теории нечётких множеств для решения транспортной задачи с неопределёнными тарифами, что позволяет учитывать фактор неопределённости или приближённых данных при планировании грузоперевозок;
- разработка комплекса компьютерных программ для оптимизации плана грузоперевозок по критерию стоимости, критерию времени и использования метода аппроксимации Фогеля с нечётко заданными тарифами.

Достоверность результатов диссертации обеспечивается использованием современных методологических основ исследования, применением методов математического моделирования, линейного программирования и оптимизационных методов. В ходе исследования были использованы признанные научные теории, связанные с транспортными

задачами, математическим моделированием и оптимизацией процессов грузоперевозок. Обоснованность полученных результатов подтверждается анализом реальных данных, связанных с процессами грузоперевозок на Рогунская гидроэлектростанция, проведением экспериментальных расчётов и сравнением результатов предложенных моделей. Для решения поставленных задач использовались методы линейного программирования, метод аппроксимации Фогеля и элементы теории нечётких множеств, что подтверждает корректность и эффективность разработанных моделей. Результаты исследования представлены в виде научных статей и докладов на научных конференциях, а также получили положительную оценку специалистов в данной области. Кроме того, полученные результаты могут быть использованы в практической деятельности транспортных и логистических организаций для оптимизации процессов грузоперевозок. Практическая эффективность разработанных моделей и алгоритмов подтверждена экспериментальными расчётами и созданием компьютерных программ для выбора оптимальных планов грузоперевозок.

Соответствия диссертации паспорту научной специальности (формуле и области исследования). Диссертационная работа выполнена в соответствии со следующими разделами паспорта специальности 1.1.10. Математическое моделирование, численные методы и комплекс программ (пункты 1,3,5,7,11):

- ❖ **пункт 1.** Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений;
- ❖ **пункт 3.** Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий;
- ❖ **пункт 5.** Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента;
- ❖ **пункт 7.** Разработка новых математических методов и алгоритмов интерпретации натурального эксперимента на основе его математической модели;
- ❖ **пункт 11.** Теоретические, прикладные и экспериментальные исследования по созданию, испытанию и применению математических моделей для решения актуальных задач автоматизированного проектирования, планирования и управления.

Личный вклад соискателя учёной степени. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Все представленные в диссертации результаты, опубликованные в работах с соавторами, получены лично соискателем. Соискателем самостоятельно проведён анализ научной

литературы по теме исследования, обоснована научная новизна и практическая значимость полученных результатов. А также все компьютерные программы в рамках диссертационного исследования разработаны лично соискателем, включая алгоритмы обработки данных, реализации методов линейного программирования, аппроксимации Фогеля, решения транспортных задач по критерию стоимости, времени и с нечётко заданными тарифами и построения регрессионных зависимостей.

Работа [4-М] выполнена соискателем лично, а все остальные результаты диссертационной работы, полученные в ходе выполнения исследования и опубликованные в работах с соавторами, выполнены совместно с научным руководителем.

Апробация и реализация результатов диссертации. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на международных и республиканских конференциях: Республиканская научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава ТНУ, посвященная 30-летию государственной независимости Республики Таджикистан, 110-летию народного поэта Таджикистана, Героя Таджикистана Мирзо Турсунзода, 110-летию народного писателя Таджикистана Сотима Улугзода и «двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)» Душанбе 2021 год; Международной научно-практической конференции «Компьютерный анализ проблем науки и технологий», посвященная «2020-2040 годы, 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования» и «75-летию Таджикского национального университета» г. Душанбе 2023 год; Международной научной конференции посвященной 75-летию ТНУ, 20-летию развития точных, естественных и математических наук 2020-2040 годы, и 85-летию академика НАН Таджикистана Раджабова Нусрата г. Душанбе 2023 год; XII-международной научно-практической конференции «Современные проблемы математического моделирования и её приложения», посвященной «Объявления 2020-2040 годы, 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования» и «75-летию Таджикского национального университета» (Таджикистан, Душанбе, 18 май 2024). Международной научно-практической конференции XIV ломоновские чтения «Роль филиала Московского государственного Университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе в развитии науки и образования». – Душанбе 2024.

Публикации по теме диссертации. Результаты исследований автора по теме диссертационной работы опубликованы в 12 научных работах, из них 6 статьи опубликованы в изданиях, входящих в действующий перечень ВАК Республики Таджикистан, а 6 в трудах международных конференций.

Структура и объем диссертации. Настоящая диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав и списка использованной литературы. Общий объём диссертации составляет 159 страниц, в ней содержатся 15 рисунков, 28 таблиц, а список использованной литературы включает 159 наименований. Нумерация формул, рисунков и таблиц осуществляется отдельно для каждой главы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал и методы исследования. В диссертационной работе используются современные методы математического моделирования транспортных задач линейного программирования.

Результаты исследования. Приведём краткое изложение результатов диссертационной работы.

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, кратко описывается содержание работы, приводится краткий обзор уже существующих результатов, касающихся темы диссертации.

Первая глава диссертационной работы посвящена анализу литературы математического моделирования транспортной задачи линейного программирования. В первом параграфе **первой главы** дан краткий исторический обзор по математическому моделированию и приведен обзор литературы по теме диссертационной работы. Во втором параграфе **первой главы** исследуется процесс грузоперевозок в Республике Таджикистан. Определены потребности в перевозках для различных регионов Таджикистана в зависимости от товаров, объемов и частоты поставок, а также учёт существующей инфраструктуры, включая дороги, железные дороги и возможные варианты перевозок.

Вторая глава диссертационной работы посвящена применению линейного программирования для оптимизации грузоперевозок: модели, алгоритмы, исследования. Первый параграф **второй главы** содержит математическую модель и решение транспортной задачи, направленной на оптимизацию логистических процессов при реализации процесса грузоперевозки в Рогунский ГЭС.

Транспортная задача в рамках линейного программирования представляет собой фундаментальную задачу ресурсного распределения, имеющую существенное значение для современных логистических систем. В канонической формулировке рассматривается следующая система параметров:

- Совокупность точек формирования грузопотоков, включающая m поставщиков с фиксированными объемами товарных запасов a_1, a_2, \dots, a_m
- Множество точек потребления, состоящее из n получателей с установленными объемами спроса b_1, b_2, \dots, b_n

- Матрица транспортных тарифов $C = \{c_{ij}\}$, где каждый элемент c_{ij} определяет удельные затраты на доставку единицы продукции от i -го источника к j -му потребителю.

Математическая постановка задачи предполагает определение оптимальных значений переменных x_{ij} , характеризующих объемы грузоперевозок между соответствующими парами «поставщик-потребитель». Решение должно удовлетворять трем ключевым требованиям:

Полное покрытие потребностей всех точек спроса

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Полная реализация товарных запасов поставщиков

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad i = \overline{1, m}. \quad (2)$$

При этом все переменные x_{ij} должны быть неотрицательными:

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{для всех } i=1, \dots, m; j=1, \dots, n. \quad (3)$$

Достижение экстремума (минимума) целевой функции, отражающей совокупные логистические издержки

$$F(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}. \quad (4)$$

Требуется определить план перевозок $X = \{x_{ij}\}$, удовлетворяющий ограничениям (1), (2) и условию (3), при котором целевая функция (4) достигает минимума.

Теорема 2.1. *Транспортная задача обладает решением тогда и только тогда, когда выполняется условие баланса между имеющимися ресурсами и потребностями в них.*

$$\sum_{j=1}^n a_i = \sum_{i=1}^m b_j \quad (5)$$

Теорема 2.2. *Для системы балансовых уравнений (1)-(2), описывающих классическую транспортную задачу при выполнении условия (5), ранг r матрицы системы равен: $r=m+n-1$.*

«В задаче было необходимо найти математическую модель минимальной стоимости перевозки однородного груза (цемент) с двух заводов «Таджик цемент» и «Мохир цемент» по производству цемента в четыре склада Рогунской ГЭС. Опорный план был найден методом северо-западного угла и оптимальное решение этой задачи было получено методом потенциалов.

Этот метод основан на следующей теореме» [10].

Теорема 2.3. Пусть для произвольного допустимого базисного распределения транспортных потоков $x = \{x_{ij}\}$ существуют числовые

параметры $u_1, u_2, u_3, \dots, u_m, v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$, удовлетворяющие условиям:

$$v_j - u_i = c_{ij} \quad \text{для базисных перевозок} \quad (6)$$

$$v_j - u_i \leq c_{ij} \quad \text{для свободных переменных} \quad (7)$$

при всех $i = 1, 2, \dots, m$ и $j = 1, 2, \dots, n$. Тогда $x = \{x_{ij}\}$ распределение

является оптимальным планом транспортной задачи. Параметры u_i и v_j интерпретируются как потенциалы пунктов отправления и назначения соответственно.

Во втором параграфе **второй главы** приведено решение транспортной задачи с ограничением по времени. Важной научной задачей в данном параграфе является математическое моделирование процесса транспортной грузоперевозки Рогунской ГЭС. Транспортные грузоперевозки в Рогун для строительства и дальнейшего обеспечения работы крупнейшей в Средней Азии Рогунской ГЭС относятся к категории сложных проектов. Сложность обусловлена горным рельефом региона. Как известно, Республика Таджикистан имеет горный рельеф, и поэтому основным видом сухопутного транспорта является автомобильный транспорт. Развитие систем грузоперевозки строительных материалов Рогунской ГЭС показывает, что интенсификация процесса грузоперевозки возможна только за счет внедрения принципа фиксированного времени транспортировки грузов в объекты ГЭС, т.е. применения логистического принципа «точно в срок». Для решения задач линейного программирования сначала формулируются цели управляемой системы, и формируется система ограничений по ресурсам. После определения целевой функции и описания системы ограничений, находят оптимальное решение транспортной задачи. Транспортную задачу можно разделить на два типа: транспортная задача по критерию стоимости, в котором главным является минимальная стоимость перевозки груза и транспортная задача по критерию времени, где важным является время перевозки. Основная цель в классическом случае транспортной задачи это уменьшение стоимости перевозки, но в некоторых практических случаях, что возникают при работах связанных с строительством важных объектов, возникает именно минимизация времени поставок. Такие случаи возникают при строительстве ряда стратегических объектов, к примеру строительство Рогунской ГЭС, которое является ключевым объектом энергетической инфраструктуры Республики Таджикистан.

Особенность данной постановки заключается в том, что критерий оптимальности смещается с экономических показателей на временные

параметры. Такой подход требует разработки специализированных алгоритмов, существенно отличающихся от традиционных методов решения транспортных задач. Практическая значимость временной оптимизации особенно очевидна при ликвидации аварийных ситуаций, обеспечении непрерывности строительных работ и других сценариях, где фактор времени становится определяющим. Для объектов энергетической инфраструктуры, подобных Рогунской ГЭС, возможность быстрого реагирования на изменяющиеся условия часто оказывается важнее экономии на транспортных расходах.

«Транспортная задача по критерию времени формулируется следующим образом» [11-12]. Имеется m пунктов производства A_1, A_2, \dots, A_m с запасом a_i ($i = 1, 2, \dots, m$) и n пунктов потребления B_1, B_2, \dots, B_n с спросом b_j ($j = 1, 2, \dots, n$) сумма запасов равна сумме спроса (4).

Заданы времена перевозок t_{ij} из каждого пункта производства A_i в каждый пункт потребления B_j , которые не зависят от количества грузоперевозки x_{ij} . Запасы a_i , спросы b_j и времена t приведены в таблице 1, как обычная транспортная таблица, с разницей, что вместо стоимостей грузоперевозки c_{ij} стоят времена перевозок t_{ij} :

Таблица 1. – Общая таблица оценок с критериями времени

b_j	b_1	...	b_j	...	b_n
a_i	t_{i1}	...	t_{ij}	...	t_{in}
a_1	x_{11}	...	x_{1j}	...	x_{1n}
...
a_i	x_{i1}	...	x_{ij}	...	x_{in}
...
a_m	x_{m1}	...	x_{mj}	...	x_{mn}

Постановка задачи требует определения переменных x_{ij} , удовлетворяющих следующим условиям (1)-(2) и

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n},$$

Целевая функция:

$$T(X) = \max_{x_{ij}} \{t_{ij}\} \rightarrow \min;$$

где t_{ij} - время перевозки по маршруту (i, j) .

Особенность такой модели заключается именно в нахождении минимального времени доставки среди всех известных и используемых маршрутов перевозок.

Введем такой параметр T , который в свою очередь характеризует общее время выполнения всех перевозок и определяется через отдельные временные затраты t_{ij} и объемы перевозок x_{ij} .

Математически это можно представить так:

$T = \max_{x_{ij} > 0} t_{ij}$, где условие перевозок $x_{ij} > 0$ указывает на рассмотрение только действующих транспортных маршрутов.

Оптимизационная задача сводится к нахождению такого распределения грузопотоков (x_{ij}), при котором достигается минимальное значение T :

$$T = \max_{x_{ij} > 0} t_{ij} = \min.$$

Этот вариант постановки особенен тем, что он линейный, но фактически целевая функция T зависит от переменных x_{ij} нелинейной, и тем самым исключается применение обычных методов линейного программирования. Для таких случаев и был разработан специальный подход то есть метод запрещенных клеток.

«Для решения задач подобного типа разработан специальный алгоритмический подход - метод запрещенных клеток. Его суть заключается в последовательном преобразовании транспортной таблицы путем исключения наиболее продолжительных маршрутов до достижения оптимального временного значения. Такой метод позволяет эффективно находить решение, которое уменьшает время выполнения перевозок» [12-15].

Алгоритм решения транспортных задач по критерию времени задается таким образом:

«Процесс начинается с построения начального опорного решения X_1 и вычисления целевой функции $T(X_1) = \max\{t_{ij}\} = t_{i_1 j_1}$. На этом же этапе исключаются все свободные ячейки с $t_{ij} > T(X_1)$, потому что их использование увеличит общее время перевозок. Для уменьшения $T(X_1)$ применяется процедура разгрузки ячейки (i_1, j_1) , то есть строятся разгрузочные циклы, которые включают свободные ячейки и в циклах расставляются знаки «+» и «-», так же выполняется сдвиг на величину $Q = \min\{x_{ij}\}$. После такой разгрузки получаем новое решение X_2 с $T(X_2) < T(X_1)$. Процесс повторяется для новой критической ячейки (i_2, j_2) до тех пор пока дальнейшая оптимизация будет возможной. В результате чего и достигается оптимальное решение с минимальным временем выполнения всех перевозок» [12-15].

В третьем параграфе **второй главы** исследована регрессионная модель связи цены на топливо и стоимости транспортировки строительной продукции

для ключевого гидроэнергетического объекта Таджикистана. В мировой экономической науке хорошо изучены ряд методов прогнозирования и планирования, которые позволяют решать задачи обоснования перспектив развития стран и регионов. В данном параграфе приведено статистическое прогнозирование задачи регрессионной модели зависимости цены топлива и стоимости перевозки строительной продукции до Рогунского ГЭС, так же представлено решение регрессионной модели используя линейное регрессионное уравнение $y = ax + b$, где a - коэффициент регрессии, b – свободный член уравнения регрессии. Для нахождения этих коэффициентов использован метод наименьших квадратов.

Четвёртый параграф **второй главы** посвящен разработке и применению математических и компьютерных моделей транспортной задачи для повышения экономической эффективности Рогунской ГЭС. В этом параграфе установлена методика решения транспортной задачи линейного программирования на примере строительства объектов Рогунской ГЭС. Рассмотрена конкретная задача, в которой объектом исследования выступали 6 транспортных компаний, занимающихся перевозками однородного груза. Предметом исследования являлась построение оптимального плана перевозки с минимальными затратами из 3-х складов в строительные объекты Рогунской ГЭС. Проблема заключалась в минимизации расходов на транспортировку однородного груза (металла) для транспортных компаний. Для этого были составлены оптимальные планы перевозки груза, при которых запасы всех поставщиков были вывезены, запросы всех потребителей удовлетворены и затраты были минимальными. Стоимость перевозки одной тонны однородного продукта (металла) и потребностей из каждого пункта отправления в соответствующие пункты назначения (строительные объекты) приведена в таблице 2 (данные предоставлены управлением Рогунской ГЭС).

Таблица 2. – Таблица поставок с критерием стоимости

Пункты отправления	Пункты назначения						запасы
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	
A_1	96	97	96	95	98	98	2056
A_2	83	82	90	78	81	84	7163
A_3	66	65	72	67	67	64	3881
потребности	1296	304	2357	5294	3649	200	13100

В результате использования метода северо-западного угла найдены опорные планы и используя метод потенциалов были получены оптимальные

планы перевозок для всех транспортных компаний, что позволило снизить затраты и ускорить обеспечение строительных материалов (таблица 3).

Таблица 3. – Пятый опорный план транспортной задачи

Пункты отправления	Пункты назначения						запасы
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	
A_1	96 0	97 0	96 2056	95 0	98 0	98 0	2056
A_2	83 0	82 0	90 0	78 5294	81 1869	84 0	7163
A_3	66 1296	65 304	72 301	67 0	67 1780	64 200	3881
потребности	1296	304	2357	5294	3649	200	13100

$$\min F(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} = 96*2056 + 78*5294 + 81*1869 + 66*1296 + 65*304 + 72*301 + 67*1780 + 64*200 = 1020725$$

Таким образом, минимальная стоимость перевозки металла, составила 1020725 (т/сомони).

В пятом параграфе **второй главы** диссертационного исследования рассматриваются решения транспортных задач линейного программирования методом аппроксимации Фогеля. Данный алгоритм разработан для решения транспортной задачи, который предоставляет возможность обеспечивать минимальные затраты на перевозку материалов. Этот метод был адаптирован к условиям Республики Таджикистан, при этом учитывались особенности рельефа и инфраструктуры.

Третья глава посвящена исследованию транспортных задач и разработке алгоритмов их решения с учётом с особенностей, таких как неопределённость тарифов и колебания спроса, а именно применение теории нечётких множеств (Fuzzy), который позволяет формализовать меняющиеся параметры транспортной модели, включая так же переменные издержки перевозок и нестабильность грузовых потоков. Рассматриваемый подход приобретает особую значимость при планировании логистических процессов для Рогунской ГЭС, где изменчивость внешних условий требует гибких методов для оптимизации.

Разработан комплекс компьютерных программ для формирования оптимальных планов грузоперевозок по критериям стоимости, времени,

аппроксимации Фогеля и нечетко определенных тарифов, и была проведена серия вычислительных экспериментов.

В первом параграфе **третьей главы** приведена математическая постановка транспортной задачи линейного программирования с нечеткими тарифами.

В данном параграфе исследуется решение транспортных задач при строительстве крупных объектов (на примере Рогунской ГЭС) в условиях неопределенности тарифов. «Традиционные методы, основанные на точных данных, часто неприменимы из-за изменчивости факторов (состояние дорог, цены на топливо и др.). Предложена математическая модель с использованием теории нечетких множеств» [16], где стоимость перевозок задается как Fuzzy-множество. «Для оптимизации применяются методы Fuzzy-регрессионного анализа, позволяющие учитывать нечеткие параметры и минимизировать затраты» [16-17].

Рассмотрена задача о перевозке однородного продукта (цемент) от m пункта отправления с запасом $A_i, i=1, \dots, m$ и n потребителей этой продукции с известными объемами потребления $B_j, j=1, \dots, n$. Стоимость перевозки продукции представлено нечетким множеством \overline{C}_{ij} . При выполнении условия баланса транспортной задачи, рассмотрена задача определения значений $x_{ij} \geq 0, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$, при условиях ограничений $\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i=1, 2, \dots, m$ и $\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j=1, 2, \dots, n$ обеспечивающих эффективное значение Fuzzy-множества с целевой функцией

$$\overline{F} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \overline{C}_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (8)$$

где $\overline{C}_{ij} \geq 0$ - нечеткие множества.

«В исследовании применены нечеткие множества для моделирования неопределенности в транспортных задачах, где традиционные подходы не учитывают субъективные факторы. Особое внимание уделено треугольным нечетким числам (a, m, b) как эффективному инструменту формализации нечетких параметров» [16]. «Отметим, что классические множества являются частным случаем нечетких при использовании характеристической функции принадлежности» [17],

$$\mu_A(x) = \chi_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A, \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

«В качестве Fuzzy-множества рассматривались компактные множества с функциями принадлежности самого общего вида $0 \leq \mu_{\overline{C}_{ij}} \leq 1$. В частности,

рассматривались функции принадлежности, представленные двумя функциями $\mu_{L\bar{C}}(\bar{C}_{ij})$ и $\mu_{R\bar{C}}(\bar{C}_{ij})$ или тремя - $\mu_{L\bar{C}}(\bar{C}_{ij})$, $\mu_{R\bar{C}}(\bar{C}_{ij})$ и $\mu_{G\bar{C}}(\bar{C}_{ij})$. Функции $\mu_{L\bar{C}}(\bar{C}_{ij})$ - монотонно неубывающая на отрезке $[0,1]$ функции $\mu_{R\bar{C}}(\bar{C}_{ij})$ - монотонно невозрастающая на отрезке $[0,1]$, а функция $\mu_{G\bar{C}}(\bar{C}_{ij}) = const = 1$ в противном случае-открытой» [18].

При построении опорного плана $x_{11} = \min(a_1, b_1)$ с учетом выполненных поставок выбор оптимального варианта доставки осуществляется посредством преобразования нечетких тарифных значений в детерминированные показатели. Данная процедура предполагает вычисление детерминированных эквивалентов для каждого нечеткого коэффициента целевой функции \bar{C}_{ij} в виде $S\bar{C}_{ij}$, представленного в форме треугольного числа, с использованием следующих расчетных формул [18].

$$S(\bar{C}) = \sum_{p=0}^p w_p L_p, \tag{9}$$

где $w_p \geq 0$ - весовые коэффициенты сечений нечетких множеств.

Рассматриваются значения некоторого числа сечений нечётких множеств \bar{C} , $\mu_{\bar{C}}(C) - \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_p, \dots, \alpha_p$. Пусть $C_0^1, C_1^1, \dots, C_p^1, \dots, C_p^1$ и $C_0^2, C_1^2, \dots, C_p^2, \dots, C_p^2$ - соответственно координаты абсцисс всех этих сечений. Координаты серединных точек соответствующих сечений определяются посредством следующего равенства

$$L_p = 0,5(C_p^1 + C_p^2). \tag{10}$$

«Пусть $\bar{x}_{ij} \geq 0$ - исходные значения объемов грузоперевозок, соответствующие допустимому базисному решению. При этом нечеткое множество, характеризующее значение целевой функции для данного базового решения, формализуется следующим выражением» [18]:

$$\mu_{\bar{F}(\bar{Z})}(\bar{F}(\bar{Z}_p)) = \max_{(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{mn}) \in \bar{Q}(\bar{Z})} \min \{ \mu_{\bar{C}}(\bar{C}_{11}), \mu_{\bar{C}}(\bar{C}_{12}), \dots, \mu_{\bar{C}}(\bar{C}_{ij}), \dots, \mu_{\bar{C}}(\bar{C}_{mn}) \},$$

где

$$\bar{Q}(\bar{Z}_p) = \{ (\bar{x}_{11}, \bar{x}_{12}, \dots, \bar{x}_{ij}, \dots, \bar{x}_{mn}) \mid \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \bar{C}_{ij} \bar{x}_{ij} = \bar{Z}_p; \bar{x}_{ij} > 0, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m \};$$

$\bar{Z}_p \in [\bar{Z}^{\min}, \bar{Z}^{\max}]$ - диапазон возможных детерминированных значений суммарных затрат, связанных с перевозкой грузов [18].

Для функции принадлежности удельных затрат доставки грузом треугольного вида выражения $\mu_{\overline{F}(\overline{Z})}(\overline{F}(\overline{Z}_p))$ вычисляется по явной формуле

$$\mu_{\overline{F}(\overline{Z})}(\overline{F}(\overline{Z}_p)) \rightarrow (\overline{A}, \overline{M}, \overline{B}),$$

где

$$\overline{A} = \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a(\overline{C}_{ij}) \overline{x}_{ij} \mid \overline{x}_{ij} > 0, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m \right\};$$

$$\overline{B} = \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b(\overline{C}_{ij}) \overline{x}_{ij} \mid \overline{x}_{ij} > 0, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m \right\};$$

$$\overline{M} = \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m(\overline{C}_{ij}) \overline{x}_{ij} \mid \overline{x}_{ij} > 0, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m \right\};$$

Пример. Для строительства объектов Рогунской ГЭС за 2022 год был доставлен цемент производимый в цементных заводах ОАО «Цементи точик» и ООО» ШБИ «Чжунцай Мохир Семент» в объёмах 18951 и 41439 тонн соответственно. Этот однородный продукт (цемент) доставлен на четыре склада ГЭС-Рогун, в размере 17019, 4996, 36444 и 1931 тонн соответственно.

Требуется определить математическую модель минимальной стоимости перевозки грузов в условиях изменяющихся тарифов.

Стоимость перевозки 1 тонны однородной продукции (цемента) из ОАО «Цементи точик» и из ООО «ШБИ Чжунцай Мохир Семент» в Рогунскую ГЭС указана в таблице 4 (данные предоставлены из управления Рогунской ГЭС).

Стоимость перевозки груза (цемента) в зависимости от стоимости топлива заданы Fuzzy- числами с функциями принадлежности треугольного вида $\mu(x)(A) = (a, m, b)$ представлены в таблице 4.

Таблица 4. – Стоимость доставки одной тонны однородных товаров на объекты строительства Рогунской ГЭС с использованием неточных множеств

Пункт отправления	Пункт назначения				Запасы
	Склад-1	Склад-2	Склад-3	Склад-4	
«Мохир Семент»	(4,108,6)	(3,111,5)	(4,112,5)	(5,113,4)	41439
«Цементи Точик»	(1,82,3)	(3,84,2)	(7,87,6)	(7,89,5)	18951
Потребность	17019	4996	36444	1931	60390

Решение транспортной задачи состоит из двух этапов. Первый этап, заключаемый в нахождении опорного плана каким-либо методом, в нашем же случае мы будем использовать метод северо-западного угла. Второй этап улучшение опорного плана и нахождение наиболее оптимального плана перевозки. Сравнение и определение предпочтений Fuzzy-множеств выполняется методом сечений на уровнях $\lambda_0 \{\mu_x(A)\} = 0, \lambda_1 \{\mu_x(A)\} = 0,25, \lambda_2 \{\mu_x(A)\} = 0,5, \lambda_3 \{\mu_x(A)\} = 0,8, \lambda_4 \{\mu_x(A)\} = 1,0$ соответствующие коэффициенты при расчёте детерминированного показателя эффективности Fuzzy-множества заданы вектором $W=(0,05;0,1;0,15;0,3;0,4)$. Количества анализируемых сечений их граничных уровней значимости весовых коэффициентов находится в компетенции специалиста, оценивающего допустимые рисковые параметры. Расчёт детерминированного эквивалента для каждого нечёткого множества коэффициента целевой функции C_{ij} в виде $s(\bar{c}_{ij})$ по формуле

$$S(\bar{C}_{ij}) = \sum_{p=0}^P w_p L_p \quad (11)$$

Где w_p - весовой коэффициент, $0 \leq w_p \leq 1, p=0,1,\dots, P = \sum_{p=0}^P w_p = 1$

L_p – значения координат, определяющимся по формуле

$$L_p = 0,5 \left\{ (m(\bar{c}) - a(\bar{c})(1 - \alpha_p)) + (m(\bar{c}) + b(\bar{c})(1 - \alpha_p)) \right\} \quad (12)$$

Для формирования исходного плана перевозок и расчета детерминированных стоимостных показателей, представляющих центры тяжести соответствующих нечетких множеств, применяется следующая аналитическая зависимость (формула треугольной функции принадлежности):

$$G(\bar{c}) = \frac{1}{3} [(m(\bar{c}) - a(\bar{c})) + m(\bar{c}) + (m(\bar{c}) + b(\bar{c}))]. \quad (13)$$

Используя формулу (13) и значения стоимости в клетках таблицы 4 получим детерминированную задачу (таблица 5):

Таблица 5. – Детерминированных значений

Пункт отправления	Пункт назначения				Запасы
	Склад-1	Склад-2	Склад-3	Склад-4	
«Мохир Цемент»	107,67	111,67	112,34	112,67	41439
«Цементи Точик»	82,34	83,67	86,67	88,34	18951
Потребность	17019	4996	36444	1931	60390

Построим первый опорный план методом северо-западного угла (таблица 6).

Таблица 6. – Первый опорный план

Пункт отправления	Пункт назначения				Запасы
	Склад-1	Склад-2	Склад-3	Склад-4	
«Мохир Цемент»	107,67 17019	111,67 4996	+ 112,34 19424	112,67 0	41439
«Цементи Точик»	82,34 0	+ 83,67 0	- 86,67 17020	88,34 1931	18951
Потребность	17019	4996	36444	1931	60390

$$F_0 = 107,67 \cdot 17019 + 111,67 \cdot 4996 + 112,34 \cdot 19424 + 86,67 \cdot 17020 + 88,34 \cdot 1931 = 6218139,15$$

Далее, с помощью метода потенциалов этот план проверяется на оптимальность и в результате третий опорный план был оптимальным. Далее, применяя метод потенциалов для анализа оптимальности позволило установить, что третий опорный план удовлетворяет всем критериям оптимальности. Используя формулу (11) найдём Fuzzy-множество значения целевой функции:

$$17019 \cdot (4,108,3) + 22489 \cdot (4,112,5) + 1931 \cdot (5,113,4) + 4996 \cdot (3,84,2) + 13955 \cdot (7,87,6) = (280360, 6208772, 264948).$$

То есть $a=280360$; $m=6208772$; $b=264948$

Следовательно

$$F_1^0 = (m(\bar{c}) - a(\bar{c}), m(\bar{c}), (m(\bar{c}) + b(\bar{c}))) = (5928412, 6208772, 6473720)$$

$$\begin{aligned}
C(F_1^0) &= 0,05 \cdot \frac{1}{2} [(6208772 - 280360 \cdot (1 - 0)) + (6208772 + 264948 \cdot (1 - 0))] + \\
&+ 0,1 \cdot \frac{1}{2} [(6208772 - 280360 \cdot (1 - 0,25)) + (6208772 + 264948 \cdot (1 - 0,25))] + \\
&+ 0,15 \cdot \frac{1}{2} [(6208772 - 280360 \cdot (1 - 0,5)) + (6208772 + 264948 \cdot (1 - 0,5))] + \\
&+ 0,3 \cdot \frac{1}{2} [(6208772 - 280360 \cdot (1 - 0,8)) + (6208772 + 264948 \cdot (1 - 0,8))] + \\
&+ 0,4 \cdot \frac{1}{2} [(6208772 - 280360 \cdot (1 - 1)) + (6208772 + 264948 \cdot (1 - 1))] = 310053,3 + \\
&+ 620299,25 + 930737,85 + 1862169,24 + 2483508,8 = 6206768,44 \\
G(F_1^0) &= \frac{1}{3} \cdot ((6208772 - 280360) + 6208772 + (6208772 + 264948)) = 6203634 ,67.
\end{aligned}$$

$$F_1^0 = (5928412 , 6208772 , 6473720) , C(F_1^0) = 6206768 ,44 G(F_1^0) = 6203634 ,67$$

Решение данной транспортной задачи с нечетко определёнными тарифами, при которой стоимость перевозки груза (цемента) в строительные объекты Рогунской ГЭС составили 6206768,44 сомон является самым эффективным.

Во втором параграфе **третьей главы** приведены результаты комплекса проблемно-ориентированных программ, для решения транспортных задач. Для предложенного алгоритма формирования оптимального плана транспортных грузоперевозок Рогунской ГЭС был разработан комплекс компьютерных программ и проведены серии вычислительных экспериментов. Комплекс компьютерных программ разработан на языках программирования C++, широко используемых в научных, инженерных, математических и компьютерных областях.

Структура компьютерной модели процесса нахождения оптимального плана грузоперевозок включает в себя следующие программы:

1. Нахождение оптимального решения транспортной задачи по критерию стоимости;
2. Нахождение оптимального решения транспортной задачи по критерию времени;
3. Алгоритм решения транспортной задачи методом аппроксимации Фогеля;
4. Определение оптимального решения транспортной задачи с нечётко определёнными тарифами.

Результаты программы можно получить в виде таблицы и в виде графика. Приведены скриншоты результатов полученных программами.

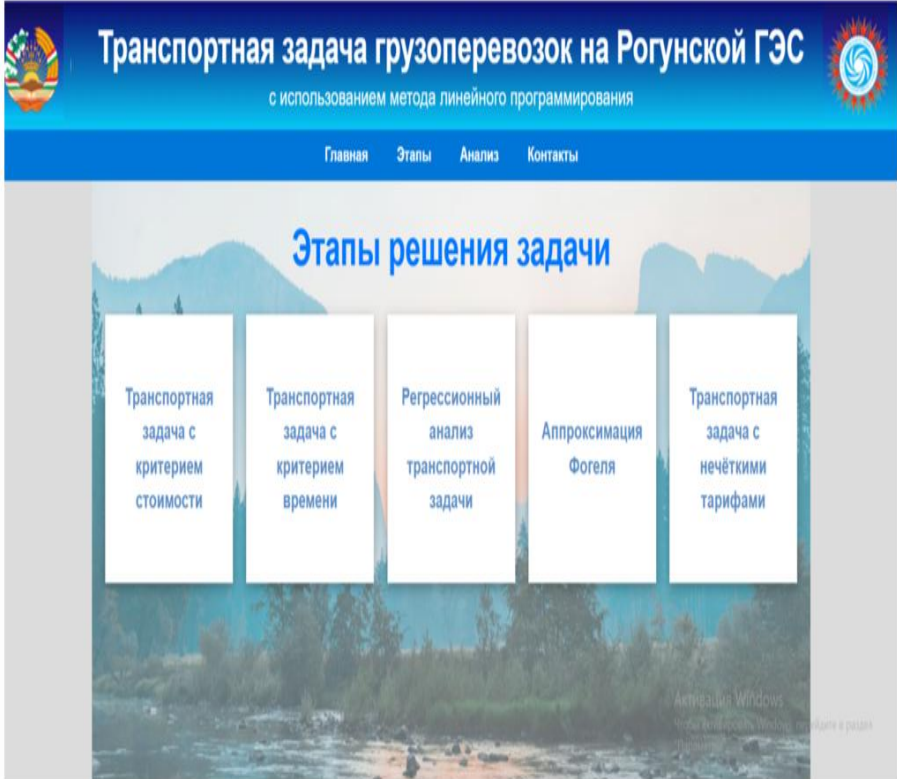


Рисунок 1. - Программный комплекс проблем транспортных перевозок на Рогунской ГЭС

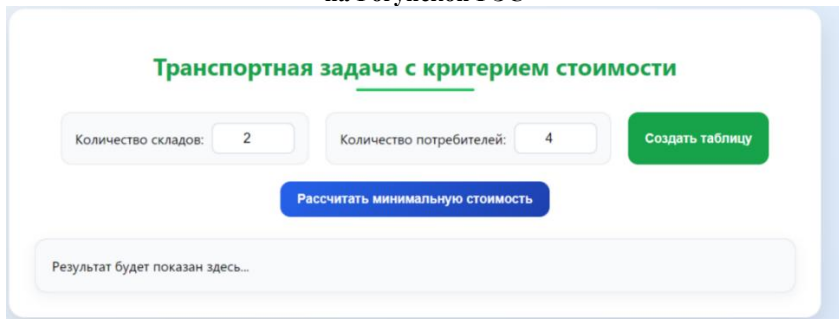


Рисунок 2. - Программный комплекс проблемы транспортных перевозок с учетом стоимости

Таблица поставок по критерию стоимости

	Склад 1	Склад 2	Склад 3	Склад 4	Запасы
Таджикцемент	70	65	68	75	135671
Мохир цемент	90	110	95	100	44098
Потребность	59640	45393	39811	34925	Z = 179769

[Решить задачу](#)

Рисунок 3. - Создать таблицу

Оптимальное решение (метод потенциалов)

	Склад 1	Склад 2	Склад 3	Склад 4
Таджикцемент	50467	45393	39811	0
Мохир цемент	9173	0	0	34925

Компьютерная модель минимальной стоимости перевозок

Формула	Результат
Z =	179769
Z (минимальные затраты)	13332828

Рисунок 4. – Вычислительные результаты транспортной задачи по критерию стоимости

Транспортная задача по критерию времени

Цемент / Склад	Склад 1	Склад 2	Склад 3	Склад 4	Запасы
Таджикцемент	2.0	1.8	1.9	2.1	135671
Мохир цемент	2.3	2.4	2.35	2.5	44098
Потребность	59640	45393	39811	34925	

РЕШИТЬ

РЕШЕНИЕ ПО КРИТЕРИЮ ВРЕМЕНИ:

1 Времена: 1.8, 1.9, 2, 2.1, 2.3, 2.35, 2.4, 2.5

2 Проверка $T = 1.8$

✓ Таджикцемент → Склад 2 = 45393 ($t=1.8$)

✗ Недостаточно

2 Проверка $T = 1.9$

✓ Таджикцемент → Склад 2 = 45393 ($t=1.8$)

✓ Таджикцемент → Склад 3 = 39811 ($t=1.9$)

✗ Недостаточно

2 Проверка $T = 2$

✓ Таджикцемент → Склад 2 = 45393 ($t=1.8$)

✓ Таджикцемент → Склад 3 = 39811 ($t=1.9$)

✓ Таджикцемент → Склад 1 = 50467 ($t=2$)

✗ Недостаточно

2 Проверка $T = 2.1$

✓ Таджикцемент → Склад 2 = 45393 ($t=1.8$)

✓ Таджикцемент → Склад 3 = 39811 ($t=1.9$)

✓ Таджикцемент → Склад 1 = 50467 ($t=2$)

✗ Недостаточно

2 Проверка $T = 2.3$

✓ Таджикцемент → Склад 2 = 45393 ($t=1.8$)

✓ Таджикцемент → Склад 3 = 39811 ($t=1.9$)

✓ Таджикцемент → Склад 1 = 50467 ($t=2$)

✓ Мохир цемент → Склад 1 = 9173 ($t=2.3$)

✗ Недостаточно

2 Проверка $T = 2.35$

✓ Таджикцемент → Склад 2 = 45393 ($t=1.8$)

✓ Таджикцемент → Склад 3 = 39811 ($t=1.9$)

✓ Таджикцемент → Склад 1 = 50467 ($t=2$)

✓ Мохир цемент → Склад 1 = 9173 ($t=2.3$)

✗ Недостаточно

2 Проверка $T = 2.4$

✓ Таджикцемент → Склад 2 = 45393 ($t=1.8$)

✓ Таджикцемент → Склад 3 = 39811 ($t=1.9$)

✓ Таджикцемент → Склад 1 = 50467 ($t=2$)

✓ Мохир цемент → Склад 1 = 9173 ($t=2.3$)

✗ Недостаточно

2 Проверка $T = 2.5$

✓ Таджикцемент → Склад 2 = 45393 ($t=1.8$)

✓ Таджикцемент → Склад 3 = 39811 ($t=1.9$)

✓ Таджикцемент → Склад 1 = 50467 ($t=2$)

✓ Мохир цемент → Склад 1 = 9173 ($t=2.3$)

✓ Мохир цемент → Склад 4 = 34925 ($t=2.5$)

Рисунок 5. – Вычислительные результаты транспортной задачи по критерию времени

Решение транспортной задачи методом аппроксимации Фогеля

Таблица данных (Запасы и Потребности)

Пункты	B1	B2	B3	B4	B5	B6	Запасы
A1	96	97	96	95	98	98	2056
A2	83	82	90	78	81	84	7163
A3	66	65	72	67	67	64	3881
Потребность	1296	304	2357	5294	3649	200	13100

Шаги метода аппроксимации Фогеля



Итоговое решение

	B1	B2	B3	B4	B5	B6
A1	0	0	2056	0	0	0
A2	0	0	0	5294	1869	0
A3	1296	304	301	0	1780	200

Общая стоимость: 1,020,725

Активация Windows
Чтобы активировать Win

Рисунок 6. – Вычислительные результаты транспортной задачи методом аппроксимации Фогеля

Расчет зависимости между ценами на топливо и стоимостью транспортировки 1 тонны продукции с использованием регрессионной модели.

X	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2
Y(x)	51.5290	51.9531	52.3772	52.8012	53.2253	53.6493	54.0734	54.4975	54.9215	55.3456	55.7696	56.1937	56.6178

Расчет Создание расписания

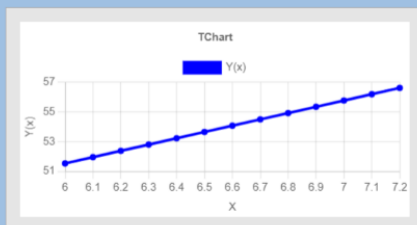


Рисунок 7. – Результаты компьютерной программы регрессионного анализа транспортной задачи

Транспортная задача с использованием нечетких множеств

Решить задачу

Таблица транспортной задачи с использованием нечетких множеств

Поставщики	Склад-1	Склад-2	Склад-3	Склад-4	Запасы
Мохир Цемент	(4,107,6)	(3,111,5)	(4,112,5)	(5,113,4)	41439
Таджикцемент	(1,82,3)	(3,84,2)	(7,87,6)	(7,89,5)	18951
Потребность	17019	4996	36444	1931	60390

Метод потенциалов

Поставщики	Склад-1	Склад-2	Склад-3	Склад-4	Запасы
Мохир Цемент	107.67 17019	111.67 22489	112.34 0	112.67 1931	41439
Таджикцемент	82.34 0	83.67 4996	86.67 13955	88.34 0	18951
Потребность	17019	4996	36444	1931	60390

Рисунок 8. – Вычислительные результаты транспортной задачи с использованием нечетких множеств

Четвёртая глава диссертационной работы состоит из двух параграфов, является заключительной и посвящена обсуждению полученных результатов, а также рассмотрению некоторых вопросов их практического применения.

Выводы

Основные научные результаты диссертационной работы

- Исследованы и разработаны инновационные методы оптимизации линейного программирования для математического моделирования распределения грузоперевозок с учетом современных требований к эффективности и устойчивости логистических систем, что позволяет более точно и эффективно моделировать и управлять грузоперевозками в динамичной среде [1-А, 7-А];
- Исследованы методы решения задачи оптимального планирования грузовых перевозок, основанного на критериях стоимости и на критериях времени, когда требуется срочная перевозка груза, и применён аппроксимационный метод Фогеля для решения транспортных задач с определенными особенностями [5-А, 6-А];

- Исследованы алгоритмы решения транспортных задач с неопределенными тарифами грузоперевозки на основе теории нечетких множеств для оптимизации логистики строительства Рогунской ГЭС в условиях динамично изменяющихся внешних факторов [3-А, 10-А, 11-А];
- Разработан комплекс компьютерных программ для предложенных математических методов, и проведён серию вычислительных экспериментов для верификации их эффективности при формировании оптимальных планов грузоперевозок [2-А, 5-А, 8-А, 9-А];

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Результаты диссертационного исследования по математическому моделированию грузоперевозок в Республике Таджикистан на примере Рогунская гидроэлектростанция с использованием методов линейного программирования могут быть использованы для повышения эффективности транспортных и логистических процессов. Разработанные модели позволяют оптимизировать распределение грузопотоков и сократить затраты на перевозку строительных материалов и оборудования.
2. Полученные алгоритмы позволяют рационально использовать транспортные ресурсы. Данные алгоритмы могут быть внедрены в систему управления грузоперевозками для Рогунская гидроэлектростанция с целью выбора оптимальных маршрутов, подходящих видов транспорта и эффективных схем загрузки.
3. Результаты исследования могут быть использованы государственными органами и транспортными компаниями для совершенствования логистической инфраструктуры региона. Кроме того, они имеют практическое значение для прогнозирования грузопотоков и разработки стратегических решений в сфере грузоперевозок.
4. Предложенные методы и модели могут быть адаптированы и использованы не только для Рогунская гидроэлектростанция, но и для других крупных инфраструктурных проектов в Таджикистан и странах Центральной Азии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толстой А. Методы устранения нерациональных перевозок при составлении оперативных планов. – М., Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1941. – 102 с.
2. Канторович Л. В., Гавурин М. К. Применение математических методов в вопросах анализа грузопотоков / Л. В. Канторович, М. К. Гавурин // Проблемы повышения эффективности работы транспорта. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949. — С. 110—138.
3. Данциг Дж. Линейное программирование, его обобщения и применения/ Дж. Данциг// – М.: Прогресс, 1966. – 602с.
4. Гладков Л.А., Гладкова Н.В. Особенности и новые подходы к решению динамических транспортных задач с ограничением по времени / Л.А. Гладков, Н.В. Гладкова // Известия ЮФУ РФ. Технические науки. 2014г. С.178-187.
5. Васильев О.В., Леденева Т.М. Транспортная задача и оптимизация грузоперевозок [Текст] / О.В. Васильев, Т.М. Леденева // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2011. -Т. 7, № 11. - С. 82-84.
6. Цыплакова О.Н., Цысь Ю.В., Кобылина А.В. Транспортная задача и её применение в решении экономических задач Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-2. – С. 178-180;
7. Аде ль сон-Вельский Г.М., Диниц Е.А., Карзанов А.В. Поточковые алгоритмы. - М.: Наука, 1975. - 119 с.
8. Форд Л., Фалкерсон Д. Решение транспортной задачи. В сб.: Методы и алгоритмы решения транспортной задачи. - М.: Госстатиздат, 1963, с. 61-72.
9. Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях.- М.: Мир, 1974. 520 с.
10. Зайченко Ю.П. Исследование оперций/ Ю.П. Зайченко // – Киев: Слово, 2003. – 688с.
11. Болотников.О.В Линейное программирование: транспортные и сетевые модели: учеб.пособие / О.В.Болотников, Д.В. Тарасов, Р.В Тарасов.- Пенза: Изд-во ПГУ, 2016.-88 с.
12. Титова, Е.И. Разрешимость транспортной задачи по критерию времени / Е.И. Титова, А.В. Чапрасова // Молодой ученый. – 2014. – № 4 (63). – С. 36-38.
13. И. Л. Акулич, В. Ф. Стрельчонок «Математические методы и компьютерные технологии решения оптимизационных задач», Рига, 2000.
14. Акимова, И. В. Использование специальных программных средств в математическом моделировании / И. В. Акимова // В мире научных открытий. – 2012. – № 5/4. – С. 85-96.

15. Федосеев, В.В. Экономико-математические методы и прикладные модели: учебное пособие для ВУЗов / В.В.Федосеев и др. – М.: Юнити, 2002. – 328 с.
16. Лотфи А.Заде. Концепция лингвистической переменной и ее применение для принятия приближенных решений / М.: 1976.-167 с.
17. Зак Ю. А. Fuzzy-регрессионные модели прогнозирования затрат времени и стоимости грузовых автомобильных перевозок // Логистика сегодня. 2015. № 3. С. 162-172.
18. Агапова Е.Г., Попова Т.М. Решение транспортной задачи с нечетко определёнными тарифами. // International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies, Vol. 11, No 1, 2021, p. 34-44.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ СТАТЕЙ СОИСКАТЕЛЯ

А) Статьи в рецензируемых журналах:

[1-А]. Мавлонзода С.Х.. Модели математики боркашонии нақлиётии Чумхурии Тоҷикистон дар мисоли НБО Роғун бо истифодабарии методҳои барномасозии хаттӣ / Р.Н. Одинаев, С.Х. Мавлонзода // Паёми донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. – 2020. – №4. – С. 5-14.

[2-А]. Мавлонзода С.Х. Математическая модель решения транспортной задачи по критерию времени на примере Рогунской ГЭС / Р.Н. Одинаев, С.Х. Мавлонзода, М.М.Миралиев //Вестник Таджикского национального университета серия естественных наук. - 2022. -№ 1.-С. 40-49

[3-А]. Мавлонзода С.Х. Решение транспортной задачи с нечеткими тарифами на примере грузоперевозок Рогунской ГЭС / Р.Н. Одинаев, С.Х. Мавлонзода, М.М.Миралиев //Вестник Таджикского национального университета серия естественных наук. - 2022. -№ 1.-С. 40-49.

[4-А]. Мавлонзода С.Х. Амсилаи регрессионии вобастагии нархи сӯзишворӣ ва арзиши кашонидани маҳсулоти сохтмонӣ ба НБО Роғун / С.Х. Мавлонзода // Паёми донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав (мачаллаи илмӣ) силсилаи илмҳои гуманитарӣ ва иқтисодӣ.-2023.-№1/2. -С.- 315-320.

[5-А]. Одинаев, Р.Н. Математическое и компьютерное моделирование транспортной задачи и её применение в решении экономических задач Рогунской ГЭС/ Р.Н. Одинаев, С.Х. Мавлонзода, //Известия НАНТ отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. - 2023. -№ 4 (193).-С. 30-43.

[6-А]. Мавлонзода С.Х. Применение метода аппроксимации Фогеля при решении транспортных задач на примере грузоперевозок Рогунской ГЭС

/ Р.Н. Одинаев, С.Х. Мавлонзода, //Известия НАНТ отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. - 2024. -№ 3 (196).-С. 60-66.

Б) Статьи и тезисы в публикациях конференций:

[7-А]. Мавлонзода С.Х. Истифодаи методҳои барномасозии ҳаттӣ дар модели математикии боркашонии нақлиётҳои НБО Роғун / Р.Н. Одинаев., С.Х.Мавлонзода // Барномаи конференсияи ҷумҳуриявӣ илмию амалии ҳайати устодону кормандони ДМТ бахшида ба ҷашнҳои 30-солагии Истиқлоли давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон, 110-солагии шоири халқии Тоҷикистон, қаҳрамони Тоҷикистон Мирзо Турсунзода, 110-солагии Нависандаи халқии Тоҷикистон Сотим Улуғзода ва «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2024)». Душанбе 2021. С. 12.

[8-А]. Мавлонзода С.Х. Решение транспортной задачи линейного программирования по критерию времени / Р.Н. Одинаев., С.Х.Мавлонзода // Международной научно-теоритической конференции на тему «Вклад математики в развитие естественных, точных и математических наук», посвящённой двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук (2020-2024 годы). Душанбе 2023 С. 167-170.

[9-А]. Мавлонзода С.Х. Компьютерная модель зависимости цены топлива и стоимости перевозки строительных материалов на Роғунской ГЭС с использованием уравнения линейной регрессии / Р.Н. Одинаев., Ф.Р. Раимзода., С.Х.Мавлонзода // Материалы международной научно-практической конференции «Компьютерный анализ проблем науки и технологии», посвященная «2020-2040 годы, 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования» и «75-летию Таджикского национального университета». Душанбе 2023 - С. 325-330.

[10-А]. Мавлонзода С.Х. Оптимизация грузопревозок Роғунской ГЭС с нечетко определенными тарифами / Р.Н. Одинаев., Ф.Р. Раимзода., С.Х.Мавлонзода // XII-международной научно-практической конференции «Современные проблемы математического моделирования и её приложения», посвященной «Объявления 2020-2040 годы, 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования» и «75-летию Таджикского национального университета» (Таджикистан, Душанбе, 18 май 2024). С. 319-324.

[11-А]. Мавлонзода С.Х. Исследование Транспортной задачи с нечёткими тарифами на примере грузопревозок Рогунской ГЭС / Р.Н. Одинаев., С.Х.Мавлонзода., Л.Р. Рустамова // Материалы международной научно-практической конференции XIV ломоновские чтения «Роль филиала Московского государственного Университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе в развитии науки и образования». –Душанбе 2024. –С.90-94.

[12-А]. Мавлонзода С.Х. Оптимизация грузопревозок с нечеткими тарифами на примере Рогунской ГЭС/ Р.Н. Одинаев., С.Х.Мавлонзода., П.Л. Нарзуллоев // Материалы международной научно-теоретической конференции «роль математики в становлении и развитии экономических, естественных и точных наук», посвященной «двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования» (Душанбе, 22 ноября 2025 года). С.75-81.

АННОТАТСИЯИ

диссертатсияи Мавлонзода Сафарали Ҳикматулло дар мавзӯи «Моделсозии Математикӣ ва компютери боркашонӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон дар мисоли Нерӯгоҳи Барқи Обии Роғун бо истифода аз усулҳои барномасозии ҳаттӣ», ки барои дарёфти дараҷаи илмии номзоди илмҳои физикаю математика аз рӯйи ихтисоси 1.1.10. Моделсозии математикӣ, усулҳои ададӣ ва маҷмӯи барномаҳо пешниҳод шудааст.

Калимаҳои калидӣ: модели математикӣ, барномасозии ҳаттӣ, масъалаи нақлиёт, оптимизатсияи боркашонӣ, Нерӯгоҳи Барқи Обии Роғун, критерияҳои арзиш ва вақт, усули Фогел, маҷмӯаҳои носаҳеҳ, алгоритмҳо, барномаҳои компютерӣ.

Мақсади омӯзиш. Мақсади асосии кори диссертатсионӣ таҳияи маҷмӯи моделҳо ва алгоритмҳои математикӣ барои оптимизатсияи боркашонӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон дар мисоли сохтмон бо истифодаи НЕРҶОҶИ Барқи Обии Роғун бо истифода аз усулҳои барномасозии ҳаттӣ мебошад.

Объекти таҳқиқот. Объекти таҳқиқот интиқоли борҳои нақлиётӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон, аз ҷумла интиқоли мавод ва таҷҳизот барои сохтмони нерӯгоҳи барқи обии Роғун мебошад.

Предмети таҳқиқот. Модели математикӣ боркашонӣ бо истифода аз усулҳои барномасозии ҳаттӣ, аз ҷумла оптимизатсия аз рӯи меъерҳои арзиш, вақт, инчунин ҳалли масъалаҳо бо тарифҳои номуайян муайяншуда.

Усулҳои таҳқиқот. Дар қор усулҳои муосири модели математикӣ, барномасозии ҳаттӣ, усули потенциалҳо, усули аппроксиматсияи Фогел, назарияи маҷмӯаҳои носаҳеҳ, инчунин усулҳо ва алгоритмҳои ададӣ, ки дар шакли маҷмӯи барномаҳои компютерӣ амалӣ карда шудаанд, истифода шудаанд.

Навгони илми таҳқиқот. Дар қори диссертатсионии усулҳои инноватсионии оптимизатсияи барномасозии ҳаттӣ барои моделсозии математикӣ тақсмоти боркашонӣ бо назардошти талаботи муосир ба самаранокӣ ва устувории системаҳои логистикӣ таҳқиқ ва таҳия карда шудаанд, ки имкон медиҳанд, ки боркашонӣ дар муҳити динамикӣ дақиқтар ва самараноктар моделсозӣ ва идора карда шавад.

Аҳамияти назариявӣ ва илмию амалии таҳқиқот Аҳамияти назариявӣ ва амалӣ аз таҳия ва мутобиқсозии моделҳои математикӣ иборат аст, ки хусусияти системаи нақлиётӣ Тоҷикистон ва хусусиятҳои фаъолияти Нерӯгоҳи Барқи Обии Роғунро ба назар мегиранд.

АННОТАЦИЯ

диссертации Мавлонзода Сафарали Хикматулло на тему
«Математическое и компьютерное моделирование грузоперевозок в
Республике Таджикистан на примере Рогунской ГЭС с использованием
методов линейного программирования», представленной на соискание
учёной степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.1.10. Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ

Ключевые слова: математическое моделирование, линейное программирование, транспортная задача, оптимизация грузоперевозок, Рогунская ГЭС, критерии стоимости и времени, метод Фогеля, нечёткие множества, алгоритмы, компьютерные программы.

Цель исследования. Основной целью диссертационной работы является разработка комплекса математических моделей и алгоритмов для оптимизации грузоперевозок в Республике Таджикистан на примере строительства и эксплуатации Рогунской ГЭС с использованием методов линейного программирования.

Объект исследования. Объектом исследования являются транспортные грузоперевозки в Республике Таджикистан, включая перевозки материалов и оборудования для строительства Рогунской гидроэлектростанции.

Предмет исследования. Математическое моделирование грузоперевозок с применением методов линейного программирования, включая оптимизацию по критериям стоимости, времени, а также решение задач с нечётко определёнными тарифами.

Методы исследования. В работе использованы современные методы математического моделирования, линейное программирование, метод потенциалов, метод аппроксимации Фогеля, теорию нечётких множеств, а также численные методы и алгоритмы, реализованные в виде комплекса компьютерных программ.

Научная новизна исследования. В работе исследованы и разработаны инновационные методы оптимизации линейного программирования для математического моделирования распределения грузоперевозок с учетом современных требований к эффективности и устойчивости логистических систем, что позволяет более точно и эффективно моделировать и управлять грузоперевозками в динамичной среде.

Теоретическая и научно-практическая значимость работы. Теоретическая и практическая значимость заключается в разработке и адаптации математических моделей, учитывающих специфику транспортной системы Таджикистана и особенности функционирования Рогунской ГЭС.

ANNOTATION

of the dissertation of Mavlonzoda Safarali Hikmatullo on the topic «Mathematical and computer modeling of cargo transportation in the Republic of Tajikistan on the example of the Rogun HPP using linear programming methods», submitted for the degree of Candidate of Physico-mathematical Sciences in specialty 1.1.10. Mathematical modeling, numerical methods and software packages

Key words: mathematical modeling, linear programming, transport problem, cargo transportation optimization, Rogun HPP, cost and time criteria, Vogel method, fuzzy sets, algorithms, computer programs.

The purpose of the study. The main purpose of the dissertation is to develop a set of mathematical models and algorithms for optimizing cargo transportation in the Republic of Tajikistan based on the example of the construction and operation of the Rogun HPP using linear programming methods.

The object of the study. The object of the study is cargo transportation in the Republic of Tajikistan, including transportation of materials and equipment for the construction of the Rogun hydroelectric power plant.

The subject of the study. Mathematical modeling of cargo transportation using linear programming methods, including optimization based on cost and time criteria, as well as solving problems with vaguely defined tariffs.

Research methods. The work uses modern mathematical modeling methods, linear programming, the potential method, the Vogel approximation method, the theory of fuzzy sets, as well as numerical methods and algorithms implemented in the form of a complex of computer programs.

Scientific novelty of the research. The paper investigates and develops innovative methods for optimizing linear programming for mathematical modeling of cargo transportation distribution, taking into account modern requirements for the efficiency and stability of logistics systems, which allows for more accurate and efficient modeling and management of cargo transportation in a dynamic environment.

The theoretical and scientific-practical significance of the research. The theoretical and practical significance lies in the development and adaptation of mathematical models that take into account the specifics of Tajikistan's transport system and the functioning of the Rogun HPP.