

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**DSC.27.06.2017.FM.01.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ**

**КАЛХАНОВ ПОЛАТБЕК ЖУМАБАЕВИЧ**

**МУРАККАБ ТИЗИМЛАРНИ МОДЕЛЛАШТИРИШДА**  
**ИНТЕРВАЛ-АНАЛИТИК УСУЛЛАР**

**05.01.07- Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва дастурлар мажмуи**

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)**  
**ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**ТОШКЕНТ -2018**

УДК: 518.6+519.95

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)  
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации  
доктора (PhD) по физико-математическим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on physical-mathematical sciences**

**Калханов Полатбек Жумабаевич**

Мураккаб тизимларни моделлаштиришда интервал-аналитик усуллар.....3

**Калханов Полатбек Жумабаевич**

Интервально-аналитические методы при моделировании сложных систем.....17

**Kalkhanov Polatbek Jumabaevich**

Interval-analytic methods of modelling complex system.....31

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works.....34

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**DSC.27.06.2017.FM.01.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ**

**КАЛХАНОВ ПОЛАТБЕК ЖУМАБАЕВИЧ**

**МУРАККАБ ТИЗИМЛАРНИ МОДЕЛЛАШТИРИШДА**  
**ИНТЕРВАЛ-АНАЛИТИК УСУЛЛАР**

**05.01.07- Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва дастурлар мажмуи**

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)**  
**ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**ТОШКЕНТ -2018**

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (Doctor of Philosophy) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида №B2018.1.PhD/FM172 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий Университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.ik-fizmat.nuu.uz](http://www.ik-fizmat.nuu.uz)) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида ([www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Юлдашев Зиявидин Хабибович**  
физика-математика фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Хўжаёров Бахтиёр**  
физика-математика фанлари доктори, профессор

**Хўжаев Исматулла Кушаевич**  
техника фанлари доктори, катта илмий ходим

**Етақчи ташкилот:**

**Термиз давлат университети**

Диссертация ҳимояси Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.FM.01.02 рақамли Илмий кенгашининг 2018 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_ соат \_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100174, Тошкент ш., Олмазор тумани, Университет кўчаси, 4-уй. Тел.: (+99871) 227-12-24, факс: (+99871) 246-53-21, e-mail: [nauka@nuu.uz](mailto:nauka@nuu.uz).)

Диссертация билан Ўзбекистон Миллий университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (\_\_\_\_\_ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100174, Тошкент ш., Олмазор тумани, Университет кўчаси, 4-уй. Тел.: (+99871) 246-02-24).

Диссертация автореферати 2018 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_ куни тарқатилди.  
(2018 йил 22-майдаги 3 рақамли реестр баённомаси).

**А.Р.Марахимов**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

**З.Р.Раҳмонов**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, ф.-м.ф.д.

**М.Арипов**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, ф.-м.ф.д., профессор

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳон миқёсида олиб борилаётган кўплаб илмий-амалий тадқиқотлар, аксарият ҳолларда, аниқмас параметрли масалаларни ечиш ва ечимларнинг хоссаларини ўрганиш, ораликни рационал интерваллаш усуллари ва интервал анализ масалаларига келтирилади. Тебраниши чекланган аниқмас параметрли жараёнлар ва уларнинг ночизиқли математик моделлари, амалий математика, ҳисоблаш математикаси, математик моделлаштириш ва объектга йўналтирилган дастурлаш каби соҳалардаги тадқиқотларнинг объектидир. Интервал анализ усуллари детерминанланмаган, аммо тебраниши чекланган параметрларга эга экология ва ер ресурсларидан самарали фойдаланиш масалаларининг ечимларини муайян ораликларда аниқлашда асос сифатида хизмат қилади. Шу сабабли, экология, ишлаб чиқариш ва ер ресурсларидан самарали фойдаланиш масалаларини интервал-аналитик таҳлил қилиш ва интервал анализ усулларида фойдаланиб сонли ечиш алгоритмлари ва амалий дастурлар мажмуасини яратиш муҳим вазифалардан бири бўлиб қолмоқда.

Ҳозирги кунда жаҳонда аниқмас параметрли масалаларни ечишда эҳтимолли-статистик моделлаштириш, норавшан тўпламлар назарияси ва интервал анализ усуллари ёрдамида ҳисоблашларни амалга ошириш амалий математиканинг долзарб масалаларидан бири ҳисобланади. Бу ҳолда тебраниш чегаралари чекли бўлган ва интервалларда ифодаланган аниқмас қийматлар билан ҳисоблашларни интервал анализ усуллари воситасида амалга ошириш муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу борада жараёнларнинг хоссаларини адекват ифода қилиш хоссасига эга интервал-аналитик моделларни қуриш ва кенг доирадаги фойдаланувчиларга мўлжалланган қўлай интерфейсга эга дастурлар мажмуасини яратиш мақсадли илмий тадқиқотлардан ҳисобланади.

Мамлакатимизда фундаментал фанларнинг илмий ва амалий тадбиқига эга бўлган амалий математиканинг долзарб йўналишларига эътибор кўчайтирилди. Жумладан, аниқмас параметрларга эга масалаларда бундай параметрларни идентификациялаш, мантиқий-динамик тизимларни тадқиқ қилиш, интервал анализ усулларида ва динамик хоссаларни инобатга олган ҳолда, ишлаб чиқариш жараёнларини автоматик равишда бошқаришнинг интервал параметрли тизимларини яратишга алоҳида эътибор қаратилди. Интервал анализ муаммоларини тадқиқ қилиш ва долзарб назарий ҳамда амалий масалаларни ечишда республика ва чет элдаги мутахассислар томонидан долзарблиги эътироф этилган натижалар олинди. “Амалий математика ва математик моделлаштириш” фанларининг устувор йўналишлари бўйича халқаро стандартлар даражасида илмий тадқиқотлар олиб бориш асосий вазифалар ва фаолият йўналишлари этиб белгиланди<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Вазирлар маҳкамасининг 2017 йил 18 майдаги «Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг янгидан ташкил этилган илмий тадқиқот муассасалари фаолиятини ташкил этиш тўғрисида»ги 292-сонли қарори.

Ушбу қарор ижросини таъминлашда интервал аниқмас параметрли интервал анализ усулларига асосланган математик моделлаштириш назариясини ривожлантириш муҳим аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси президентининг 2008 йил 15 июлдаги ПҚ-916-сон «Инновацион лойиҳалар ва технологияларни ишлаб чиқаришга татбиқ этишни рағбатлантириш борасидаги қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги, 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сон «Фанлар академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2017 йил 20 апрелдаги ПҚ-2909-сон «Олий таълим тизимини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ва 2017 йил 8 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги фармони ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа норматив-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологияларни ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги.** Диссертация республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Математика, механика ва информатика» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Р.Э. Мур, Г. Алефельд, Ю.Херцбергер ва Ю.И. Шокин интервал анализнинг асосларини ёритиш ва муаммоларини ҳал этишга йўналтирилган монографияларни муаллифлари бўлган. Муайян самарали интервал алгоритмларни яратишга муваффақ бўлган эътиборга лойиқ тадқиқотлар К. Никель, Н. Апостолатос, У. Кулиш, Р. Кравчук, Г. Майер ва А. Ноймайерларни ишларида ёритилган. Интервал алгоритмларни дастурий таъминотини муаллифлари сифатида жумладан, мазкур диссертацияда кўрсатилган масалаларга доир дастурий таъминотни муаллифлари қаторига А. Гибб интервал арифметика процедураларини яратган ва расмий гувоҳнома эгаси сифатида йўналишнинг дастурий таъминот яратиш бўйича илк мутахассиси сифатида тан олинган.

Қатор интервал арифметикаларни яратувчилари ва мос дастурларни муаллифлари сифатида Е. Хансен, С.М. Марков, Т. Сендов, Г. Крист, Э.Каухер, В.М. Кахан ва П.С.Панков каби олимлар интервал анализ бўйича дастурий таъминот асосларини яратишга муваффақ бўлишган. М.Файзуллаев ер ресурсларидан самарали фойдаланиш масаласини ечимини бонитет тушунчасига таянган ҳолда ҳақиқий параметрли моделини ва мос алгоритминини таклиф қилган.

Р.Р. Белоскурский ишларида иқтисодий масалалар қаторида аниқмас берилганлар ҳолатида экология масалалари бўйича тадқиқотлар олиб борилган. Ўзбекистонда интервал анализ назарияси ва амалиёти бўйича З.Х.Юлдашев, Р.Х. Хамдамов, Ш.А. Назиров, Н.Р. Юсупбеков, Ш.М.Гулямов, М.Б. Базаров, А.А. Абдукадыров, А.А. Ибрагимов ва У.Шариповлар илмий-тадқиқотлар олиб боришган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.**

Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Миллий университетининг «Амалий математика масалаларини ечишнинг алгоритмлари ва дастурий таъминоти» илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** интервал анализ усуллари асосида экология ва ер ресурсларидан фойдаланишнинг математик моделларини такомиллаштириш ва амалий дастурлар пакетини яратишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

чекланган амплитудали тебранишга эга параметрларни рационал интерваллаш тамойили асосида экология ва ер ресурсларидан самарали фойдаланиш масаласини сонли ечиш;

математик модел доирасида аниқмас параметрлар оралиғини самарали танлаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

ечим интерваллари учун тегишлилик хоссаси ёрдамида интервал ечимни кенглиги баҳосини топиш;

интервал анализ усуллари асосида ер ресурсларидан самарали фойдаланиш масаласини сонли ечиш алгоритминини ишлаб чиқиш ва онлайн режимда ишлайдиган дастурни яратиш.

**Тадқиқотнинг объекти** тебраниши чекланган аниқмас параметрли жараёнлар, интервал-аналитик моделлар, алгоритмлар ва объектга йўналтирилган дастурий воситалардан иборат.

**Тадқиқотнинг предмети** аниқмас параметрларни интерваллаштириш хоссасига эга тизимларни интервал моделларини синтез қилиш ҳамда мос алгоритмик ва дастурий таъминотни яратиш.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот ишида математик моделлаштириш, интервал анализ ва объектга йўналтирилган дастурлаш усулларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

экология ва ер ресурсларидан самарали фойдаланишнинг амалий масалаларини ечишда тебраниши чекланган амплитудали параметрлар катталиклари оралиғини рационал танлаш масаласи ечилган;

математик моделни синтез қилишда чекли тўпладан моҳиятига кўра мос аниқмас параметрларни интервал шаклда танлаш самарадорлиги асосланган;

объектга йўналтирилган дастурлаш технологияси асосида синф кўринишида интервал алгоритмлар қурилган;

интервал қийматли функциялар асосида ер ресурсларидан самарали фойдаланиш алгоритмлари ишлаб чиқилган ва мобил дастурий таъминот яратилган;

тегишлилик хоссаси асосида интервал ечимларнинг кенглиги баҳоланган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** мос интервал ечимлар учун тегишлилик хоссасига таянган ҳолда, олинган интервал ечимни кенглиги

баҳоси олинган, ер ресурсларидан самарали фойдаланиш ва экология масалаларини сонли ечишда қўлланилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги.** Амалий математика, сонли усуллар, интервал анализ ва хатоликлар назарияси усулларида фойдаланилганлиги, қоникарли информативлик шартини қаноатлантирувчилик хоссаси, мос интервалга тегишлилик теоремаси ва интервал ечимнинг кенглигини баҳолаш билан асосланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти интервал анализ усулларида фойдаланиб баланс тенгламаларини самарадорлиги шартлари ўрнатилганлиги ҳамда олинган ечимлар учун интервалга тегишлилик теоремалари исботланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти интервал анализ усуллари ёрдамида ҳисоблаш математикаси масалаларини ечиш ва экология масалаларини сонли тадқиқ қилиш учун хизмат қилади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Мураккаб тизимларни моделлаштиришда интервал-аналитик усулларга оид олинган илмий натижалар асосида:

интервал қийматли функциялар асосида олинган ер ресурсларидан самарали фойдаланиш алгоритмлари ва дастурий воситалари Қорақалпоғистон Республикаси Ер ресурслари ва давлат кадастри бошқармасида экин турига кўра ер майдонларига табиий ресурсларни самарали тақсимлашда фойдаланилган (Қорақалпоғистон Республикаси ер ресурслари ва давлат кадастр бошқармасининг 2018 йил 20 апрелдаги 316-сон маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши қишлоқ хўжалиги экин майдонларининг электрон технологик харитасини яратиш имконини берган;

интервал анализга асосланган сонли ечиш алгоритми А-5-44-рақамли «Колмогоров-Фишер типидagi ночизикли биологик популяция системаларини сонли моделлаштириш» амалий грант лойиҳасида Колмогоров-Фишер типидagi ночизикли биологик популяция системаларининг сифат хоссаларини аниқлашда фойдаланилган (Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2018 йил 2 майдаги 89-03-1649-сон маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши Колмогоров-Фишер типидagi ночизикли биологик популяция масаласини сонли ечиш ва ечимларни визуаллаштириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 16 та, жумладан 12 та халқаро ва 4 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Тадқиқот мавзуси бўйича 25 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 6 та мақола, жумладан 2 таси хорижий ва 4 таси республика журналларида нашр этилган.



**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш қисми, урта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва 3 та иловадан ташкил топган. Диссертациянинг ҳажми 90 бетни ташкил этган.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мос келиши асосланган. Диссертация мавзуси бўйича чет элдаги илмий тадқиқотларнинг қисқача маълумоти ва муаммонинг ўрганилганлик даражаси келтирилган, тадқиқотнинг мақсад, вазифалари шакллантирилган, унинг объекти ва предмети кўрсатилган, тадқиқотнинг амалий натижалари ва илмий янгиликлари баён қилинган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларининг қўлланилиши, диссертация тузилиши ва нашр қилинган илмий ишлар тўғрисида маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **«Иқтисодиёт моделларини интервал вариантини синтез ва анализ қилишда параметрларни рационал интерваллаш тамойили»** деб номланган биринчи бобида мураккаб тизимлар моделларини интервал вариантини синтез ва анализ қилишда параметрларни рационал интерваллаш тамойили асослаб берилган.

§1.1 да аниқмас параметрларнинг тебраниши чекланганлиги шarti остида иқтисодиёт масалаларини тадқиқ қилишда интервал вариантдаги математик моделларни яратиш аҳамиятлилиги ва зарурлиги асосланган. Аниқмас параметрлар мавжуд бўлган ҳолида муайян усулни танлаш аниқмасликнинг моҳиятига боғлиқлиги алоҳида таъкидланган. Ўз навбатида интервал аниқмас параметрлар мавжуд бўлганида интервал усулларни иқтисодиёт масалаларига тадбиқ қилишда бошқа усуллар билан қиёсий таҳлил амалга оширилган.

Интервал анализ деб номланувчи мос интервал ҳисоблашлар ва интервал объектларни киритиш мантиқан асосланган. Шу муносабат билан параметрларни интервал аниқмасликларига эга иқтисодиёт масалаларини тадқиқ қилишда интервал анализ усулларини қўллаш бўйича мавжуд манбалар таққосланган.

§1.2 да муайян масалаларни ечиш учун интервал усуллардан фойдаланиб, аниқмас параметрларни рационал интерваллаш тамойили баён қилинган. Жумладан, натурал типдаги барча параметрлар объектларни аниқ тафсилоти ва аниқ ўлчаниши мумкин бўлган белгилар интервал бўлмаган деб ҳисобланадиган, зеро “кенгайиб кетиш эффекти”ни бартараф этиш имкони яратилади. Шундай қилиб, параметрларни рационал интерваллаштириш тамойили қуйидаги маънога эга: ҳақиқий жараёнларни математик моделлаштириш синтезида, бартараф этилмайдиган хатоликка эга параметрлар тебранишнинг амплитудаси чекланган бўлса интервал параметр деб ҳисобланади.

Биринчи бобнинг §1.3 да Леонтьевни ҳақиқий тармоқлараро баланс модели параметрларни рационал интерваллаштирилиши тамойилига мос интервал варианты яратилган.

Аниқроғи бу ерда статик тармоқлараро баланс модели ҳақиқий ва интервал ёндашувларда қаралган.

$[T_0, T]$  давридаги ишлаб чиқаришни режалаштиришда юзага келадиган асосий масала куйидагича ифодаланади: муайян истеъмол вектори  $c$  учун номаълум  $x$  пировард маҳсулот миқдори векторини аниқлаш талаб этилади. Бошқача қилиб айтганда, муайян  $c$  вектор ва  $A$  тармоқлараро боғлиқлик матрицаси билан ифодаланган

$$x - Ax = c, \quad (1)$$

тенгламалар системасини ечиш талаб этилади.

У ҳолда  $j$  соҳани ишлаб чиқариш учун талаб этиладиган  $a_{ij}$ -соҳанинг маҳсулот ҳажмини ифодалайдиган  $a_{ij}$  барча миқдорларини ёки интервал ораликда берилган масаланинг бир қисмини ҳисобга олган ҳолда (1) масаланинг ечими куйидаги тўпламларни топиш масаласига келтирилади

$$\tilde{X} = \{x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \mid x - Ax = c, A \in \mathbf{A}, c \in \mathbf{c}\}. \quad (2)$$

(2) формулага мос  $\tilde{X}$  векторлар тўпамини топиш масаласини Леонтьев моделини интервал варианты деб атаймиз. Бу ерда ва авторефератнинг барча қисмларида “ж” форматидаги ёзилган миқдорлар интервал турдаги катталиқлар ҳисобланади.

§1.4 да келтирилган интервал баланс тенгламаларининг самарадорлиги масаласи қаралган ва куйидаги теорема исботланган.

*1 Теорема.* Леонтьевнинг (2) кўринишдаги интервал модели самарадорли бўлиши учун,  $A$  интервал матрицаси спектрал радиуси бир билан чекланган бўлиши етарли:

$$\left| \lambda_{\max_{A \in \mathbf{A}}} \right| < 1. \quad (3)$$

Диссертациянинг «**Бошланғич қийматларни интерваллашда экологик-иқтисодий масалаларни тадқиқ қилиш**» деб номланувчи иккинчи боби экологик хавфларни башорат қилиш моделларини интервал варианты, атроф муҳитни ифлосланганлиги учун жарималар тайинлаш ва хўжалик юритувчи тармоқлар бўйича инвестицияларни тақсимлаш масалаларини тадқиқ ва таҳлил қилишга бағишланган.

§2.1 да биржинсли экотоксикант ҳажми интервал аниқмасликка эга бўлганида, экологик офатни башорат қилиш учун интервал мантиқий динамик модел қурилган, атроф-муҳит параметрларини апостериор (ёки “амалиётдан сунг”) баҳолашни икки томонлама чеклашга асосланган ёндашуви таклиф этилган.

Кўйидаги шаклдаги оптимал интервал мантиқий-динамик модел қаралган:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = -k[\mathbf{x}^2 + (\mathbf{y}_0 - \mathbf{q})\mathbf{x}] + \frac{\alpha\beta}{V}, \quad (4)$$

$$\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0, \quad (5)$$

$$\mathbf{q} = \sum_{i=1}^n L_i^q \mathbf{q}_i \left( \sum_{j \in S \setminus L} L_j^\varphi \varphi_i(\mathbf{p}(t)), \sum_{j \in L} L_j^\varphi \varphi_i(\mathbf{p}(t)), L_i^j t \right), \quad (6)$$

$$Q = \left| \int_0^T \mathbf{u} \left( \mathbf{x}(t), \sum_{j \in L} L_j^\varphi \varphi_i(\mathbf{p}(t)), t \right) dt \right| \rightarrow \min. \quad (7)$$

Коши интервал масаласини ечиш учун

$$\mathbf{x}' = -k[\mathbf{x}^2 + (\mathbf{y}_0 - \mathbf{q})\mathbf{x}] + \frac{\alpha\beta}{V}, \quad (8)$$

$$x(t_0) \in \mathbf{x}_0, \quad (9)$$

Ошкор Рунге-Кутта усулини интервал варианты деб аталувчи бошланғич қиймати интервал шаклда берилган  $s$ -тартибли усулини қўллаш мумкин, буерда  $\mathbf{x}_0$  – муайян интервал.

Ошкор Рунге-Кутта усулини тенгламалар системасига тадбиқ этиш “кенгайиб кетиш эффекти”га бардошсиз ва одатда параметрлар сони ошиши билан тадбиқ этилмайди. Зеро, турғунлик соҳаси чекланганлиги амалиётда кузатилади. Бизни ҳолимизда тавсифловчи тенгламалар сони иккига тенг:

атроф-муҳитга ажралиб чиққан зарарли моддалар интервал маънода аниқмас ва муҳитнинг софлиги кўрсаткичи бошқариладиган экологик тадбирлар билан чекланган. Бу чораларни самарадорлиги мос сармояларни ҳажмига боғлиқ.

Фараз қилайлик, ихтиёрий  $x(t_0) \in \mathbf{x}_0$  учун мос Коши масаласининг ечими мавжуд ва ягона.

У ҳолда  $\Delta_t = [t_0, c]$  кесмаларида  $\mathbf{x}(t_j) = \mathbf{x}_j$  интерваллар қўйидаги

$$x(t_j) \in \mathbf{x}_j, t_j = t_0 + jh, h = (c - t_0)/n, (j = \overline{1, n}), \quad (10)$$

шартни қаноатлантирувчи интервалларини аниқлаш учун яримошкор Рунге-Кутта формулларида фойдаланиш мумкин.

Ҳақиқий ва интервал маънодаги Коши масалалари хатолик функцияси чекли айирмалар воситасида аппроксимацияланса мос ноаниқликлар минималлашади. Бу ҳолда қуйидаги теорема ўринли:

*2 Теорема.* Чекли айирмали усулларни қандайдир интервал аналоги ёрдамида ҳисобланган  $\mathbf{x}_j$  интерваллар учун қуйидаги тегишлилик хоссаси

$$x(t_j) \in \mathbf{x}_j, t_j = t_0 + jh, h = (c - t_0)/n, (j = \overline{1, n}), \quad (11)$$

ва интервал ечимни кенглиги баҳоси учун

$$\omega(\mathbf{x}_j) \leq \tilde{a}\omega(\mathbf{x}_0) + \tilde{b}h^s, \quad (12)$$

тенгсизлик бажарилади. Бу ерда  $\tilde{a}$ ,  $\tilde{b}$  ўзгармасларни интеграллаш қадами  $h$ -га боғлиқ эмас.

§2.2 да сармояларни хўжалик юритувчи соҳалар орасида сармоя миқдори интервал маънодаги аниқмасликка эга бўлганда, тақсимлаш масаласини тадқиқ қилишга бағишланган.

Мос интервал маънодаги оптималлаштириш модели қуйидаги шаклда ифодаланиши мумкин:

$$f_i(0) = 0, \quad (13)$$

$$\mathbf{x}_i = \sum_{j=1}^{k_i} \mathbf{x}_{ij}, \quad (14)$$

$$T = \sum_{j=1}^{k_i} T_i^j, \quad (15)$$

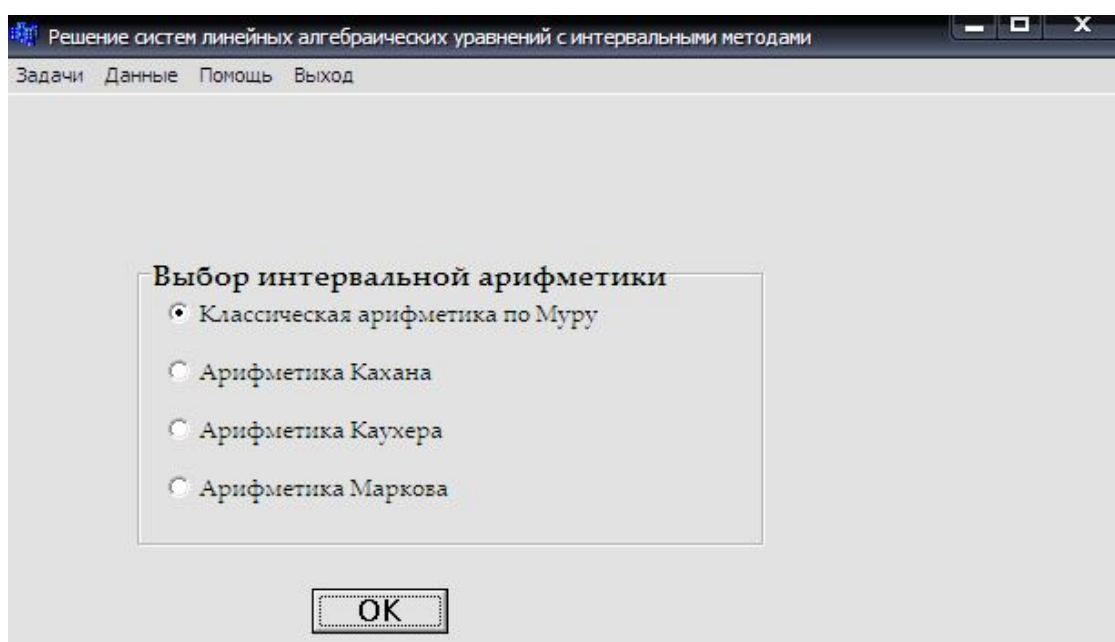
$$\frac{\varphi_i \left| \mathbf{f}_i(\mathbf{x}_i) \right|}{\varphi_1 \left| \mathbf{f}_1(\mathbf{x}_i) \right|} = \lambda_i \quad (i = 2, 3, \dots, n), \quad (16)$$

$$F(\bar{\mathbf{x}}, \bar{\boldsymbol{\varphi}}) = \sum_{i=1}^n \left| \mathbf{f}_i(\mathbf{x}_i) \theta_i \sum_{j=1}^{k_i} L_j \varphi_{ij}(\mathbf{x}_{ij}, t) \right| \rightarrow \max. \quad (17)$$

Ушбу моделлардаги параметрлар интервал аниқмасликларга эга бўлган ҳоли учун, Кравчик усули ва IMOD алгоритмига биноан синов-тажриба қўламида синалган ва бу жараёнда ихтиёрий ҳақиқий ечим интервал ечимга тегишлилиги аниқланган. Ўз вақтида интервал ечимнинг кенглигига олинган априор баҳолашлар назарияга мувофиқлиги кўзатишган.

Диссертациянинг **«Кенг доирадаги фойдаланувчиларга мўлжалланган интервал алгоритмларни қўллаш учун дастурий таъминот»** деб номланувчи учинчи бобида кенг доирадаги фойдаланувчилар учун интервал алгоритмларни қўлланилиши бўйича дастурий таъминот баён этилган. §3.1 да интервал алгоритмларни дастурий вариантини яратиш муаммолари тадқиқ қилинган ва мос модулар объектга йўналтирилган тамойил асосида яратилган. §3.2 да “хайрихоҳлик тамойили” асосида яратилган интервал алгоритмлар пакетининг функционал имкониятлари ва тузилиши ёритилган. Бу ерда “хайрихоҳлик тамойили” кенг доирадаги фойдаланувчиларнинг интервал анализ асослари билан танишиш зарурати мос аналитик алмаштиришларни бажариш қўламидан холос қилишни англатади. Бунда икки интервал алгоритмлар пакети тавсифланган. Биринчи пакет алгебраик ифода шаклида берилиши мумкин бўлган турли вариантдаги мос интервал арифметикалар доирасида ифодаларни қийматини ҳисоблаш масаласига бағишланган. Бу пакет объектга йўналтирилган тамойил асосида синф шаклида яратилган бўлиб интервал арифметикаларнинг мос ижросини “қайта юклаш” механизми асосида қўлланилишини таъминлайди.

Дўстлик тамойили асосида қўлланилган интервал алгоритмлар пакетини функционал имкониятлари ва тузилиши баён этилиб, икки пакет кўринишида ёритилган. Биринчиси мумкин бўлган алгебраик ифодалар интервал арифметикаси турли вариантларда ҳисоблашга мўлжалланган. Бунда дастурлашнинг объектга йўналтирилган тамойиллари асосида ва интервал арифметиканинг тўртта вариантыга мос операцияларни юклашга йўл берувчи интервал алгоритмлардан синф кўринишида фойдаланишган. Иккинчи пакет кенг доирадаги фойдалаувчилар учун мўлжалланган модуллар мажмуасини ўз ичига олади. Бу бобда интервал аниқмас параметрли шартларда сонли усулларни қўллашнинг ўзига хос хусусиятлари муҳокама қилиниб, пакетни интерфейси баён қилинган, унинг модулларини қўлланилиши мисоллар ва таклиф этилаётган алгоритмлардан фойдаланилган сонли экспериментлар натижалари атрофлича таҳлил қилинган (1-расм).



1-расм. Интервал арифметика вариантыни танлаш.

1-расмда муайян масалани ечиш учун зарур бўлган интервал арифметикани қайта юклаш механизми асосида белгилашга доир пакетнинг мос интерфейси ифодаланган.

Иккинчи пакет кенг доирадаги фойдаланувчилар учун мўлжалланган дастурлаш мажмуаси бўлиб мос алгоритмларни синаш учун синов-тажрибаларни дастурий мажмуаси сифатида қаралиши мумкин. Бу бобнинг иккинчи параграфида аниқмас параметрларнинг интервал шаклида назарда тутилиб кенг кўламдаги тажриба-синовларини амалга оширишга доир намуналар берилган. Жумладан, интервал шаклдаги натижаларни мазмунли изоҳлашга доир мисоллар келтирилган.

§3.3 да экин майдонлари ва мос ресурсларни тақсимлаш масаласи интервал анализ усуллари билан тадқиқ қилинган.

Бу ерда математик моделлаштириш усули билан қишлоқ хўжалигида фаолият олиб борувчи шахснинг олдида намоён бўладиган муаммолар интервал анализ доирасида таҳлили қилинган. Жумладан, ишлаб чиқилган

интервал мукаммаллаштириш модели доирасида экин майдонларини махсулот бўйича таркибини ва уларга сув ва биржинсли ўғитлар миқдори интервал аниқмасликдаги катталиклар бўлиши мумкинлиги фараз қилиниб, уларни экин майдонларига ресурс сифатида тақсимланиши алгоритми ишлаб чиқилган ҳамда тегишли дастурий таъминот яратилган.

Мос интервал мукаммаллаштириш модели қуйидаги шаклга келтирилган.

$$Q(\bar{S}, \bar{W}, \bar{C}) = \sum_{j=1}^n (s_j f_j(s_j, w_j, c_j) q_j - (c c_j + w w_j + r_j) s_j) \rightarrow \max, \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^n s_j \subseteq \bar{S}, \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j \subseteq \bar{W}, \quad (20)$$

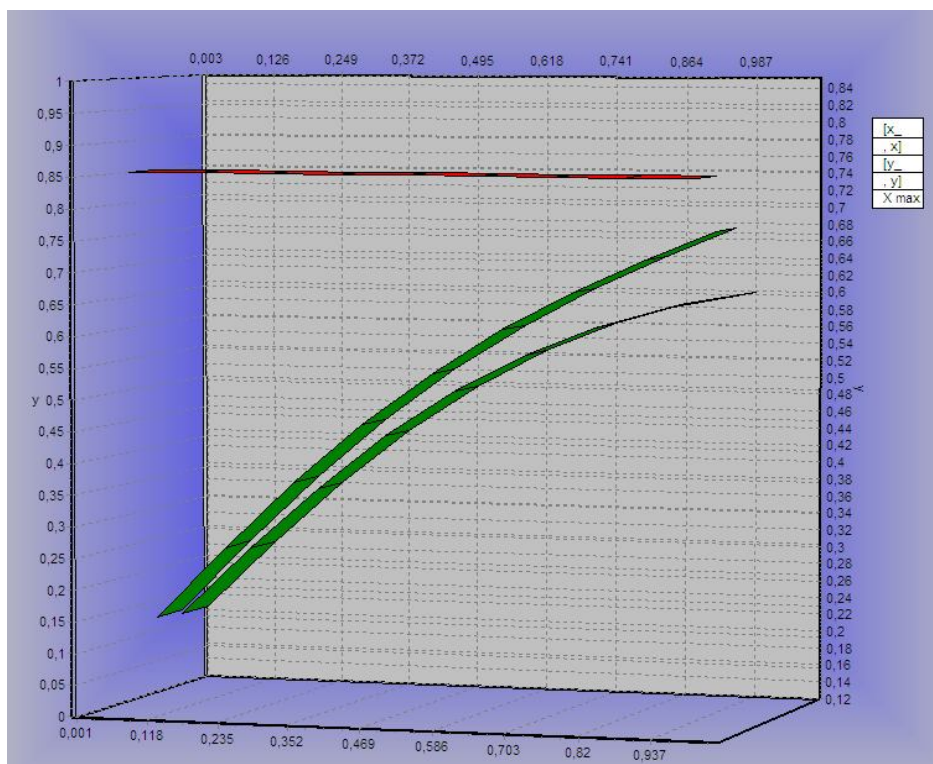
$$\sum_{j=1}^n c_j \subseteq \bar{C}. \quad (21)$$

Келтирилган моделдаги барча интервал катталиклар амалиётдаги мазмунли талқинига эга. Масалан, (19) муносабат жами экин майдонларининг қуйи ва юқори чегараларини уларнинг бонитетини инобатга олган ҳолда қуйи ва юқори чегараларини белгиланиши мумкинлигини ифодалайди.

Ўтказилган синов-тажриба ҳисоблашларидан намуна сифатида атроф-муҳитни муҳофазалаш масаласини интервал усуллар билан ечишга доир 3-расмдаги шаклларни келтириш мумкин. Бу ерда қизил чизиқ муҳитдаги офат даражасини миқдор жиҳатдан белгилайди муҳитдаги экотоксикантнинг қуйи ва юқори чегаралари интервал тасмада ифодаланган.

Решение задачи прогнозирования экологических катастроф интервальным методом	
x[1]=[0.0000000001; 0.0000000001]	y[1]=[0.0938640856; 0.4224342223]
x[2]=[0.1170000001; 0.1230000001]	y[2]=[0.1697875810; 0.5420550431]
x[3]=[0.2340000001; 0.2460000001]	y[3]=[0.2233650583; 0.6577312706]
x[4]=[0.3510000001; 0.3690000001]	y[4]=[0.2506752492; 0.7701459602]
x[5]=[0.4680000001; 0.4920000001]	y[5]=[0.2527870125; 0.8811467010]
x[6]=[0.5850000001; 0.6150000001]	y[6]=[0.2527870125; 0.8811467010]
x[7]=[0.7020000001; 0.7380000001]	y[7]=[0.2527870125; 0.8811467010]
x[8]=[0.8190000001; 0.8610000001]	y[8]=[0.2527870125; 0.8811467010]
x[9]=[0.9360000001; 0.9840000001]	y[9]=[0.2527870125; 0.8811467010]

2 –расм. Экологик хавфларни башорат қилишда интервал усулларни тадбиқ қилиш.



3-расм. Экоотоксикантни муҳитни мувозанатдан чиқарувчи факторлар мавжудлигидаги тарқалиш динамикаси.

## ХУЛОСА

Диссертация иши аниқмас параметрлар тебраниши чекланганлиги шароитида экология, иқтисодиёт ва ер ресурсларидан самарали фойдаланиш масалаларини интервал-аналитик усуллар билан тадқиқ қилишга бағишланган ва мантиқий боғланувчи яқунланган тадқиқотдир. Диссертацияда амалиётда муҳим бўлган аниқмас параметрларни интерваллаштириш умумий услуби таклиф этилган ва асосланган. Тадқиқ қилинган масалаларни ечишда интервал анализ усуллари тадқиқ қилиш корректлиги мос тегишли теоремаларни ўрнатиш билан асосланган.

Тадқиқотнинг асосий натижалари қуйидагилардан иборат.

1. экология, иқтисодиёт ва ер ресурсларидан самарали фойдаланишга доир масалаларда параметрлар интервал аниқмасликка эга бўлган ҳолати учун уларни тавсифловчи муайян математик моделларни синтез ва тадқиқ қилиш услубиёти яратилган.

2. Леонтьев интервал моделини самаралилигини ўрнатиш учун етарли шарт ўрнатилган, мос теорема исботланган.

3. илк бор интервал усуллар билан сармоялаштириш масаласи тадқиқ қилинган ва мос жараёни тавсифловчи оптимал ечим қуриш алгоритми таклиф этилган;

4. интервал усуллар билан атроф муҳитга ажратиб чиқарилган экоотоксикант миқдорини ўзгариши яъни консерватив экотизимнинг мувозанати шартлари ўрганилган;

5. интервал дастурлар мажмуасини яратиш тамойиллари ишлаб чиқилган ва интервал арифметикаларнинг кўп вариантлилиги шартида муайян дастурлар яратилган;

6. муайян масалаларни интервал вариантда ечиш учун мос дастурий таъминот яратилган: кенг доирадаги фойдаланувчилар учун интервал анализ асосларини ўрганишни талаб қилмайдиган икки амалий дастурлар пакетига интеллектуал мулк агентлигидан патентлар олинган.



**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.FM.01.02  
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ  
НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

---

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА**

**КАЛХАНОВ ПОЛАТБЕК ЖУМАБАЕВИЧ**

**ИНТЕРВАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ  
МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

**05.01.07- Математическое моделирование. Численные методы и комплексы программ**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент-2018**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2018.1.PhD/FM172.**

Диссертация выполнена в Национальном Университете Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (<http://ik-fizmat.nuu.uz>) и на Информационно-образовательном портале «Ziynet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:** **Юлдашев Зиявидин Хабибович**  
доктор физико-математических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Хужаёров Бахтиёр**  
доктор физико-математических наук, профессор  
**Хужаев Исматулла Кушаевич**  
доктор технических наук, старший научный сотрудник

**Ведущая организация:** **Термезский государственный университет**

Защита диссертации состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 года в \_\_\_ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.FM.01.02 при Национальном университете Узбекистана (Адрес: 100174, г. Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 4. Тел.: (+99871) 227-12-24, факс: (+99871) 246-53-21, e-mail: nauka@nuu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национального университета Узбекистана (зарегистрирована за №\_\_\_). (Адрес: 100174, г. Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 4. Тел.: (+99871) 246-02-24).

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 года.  
(протокол рассылки №3 от 22 мая 2018 года).

**А.Р.Марахимов**

Председатель научного совета по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

**З.Р.Рахмонов**

Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н.

**М.Арипов**

Председатель научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии(PhD))**

**Актуальность и востребованность диссертации.** Анализ мирового опыта приводят к заключению о том, что во многих случаях проблема учёта недетерминированных параметров приводят к необходимости решение задач с недетерминированными параметрами изучению и развитию методов их рациональной интервализации и решению соответствующих задач интервального анализа. Нелинейные процессы математического моделирования с ограниченным колебанием недетерминированных данных, являются объектом прикладной математики, вычислительной математики, математического моделирования и объектно-ориентированного программирования. Методы интервального анализа используется для определения интервалов, которые включают недетерминированные, но ограниченные по амплитуде колебания параметры задач экологии и оптимального землепользования. Поэтому изучение задач экологии, производства, задач оптимального использования земельных ресурсов на основе интервально-аналитических методов, с целью построения алгоритмов численного решения и создания комплексов прикладных программ является одно из важнейших задач.

Мировой опыт показывает что, при решении задач с недетерминированными параметрами, вероятностно-статистические методы моделирования, методы теории нечетких множеств, вычисления в рамках интервального анализа, являются актуальными задачами прикладной математики. В этом случае, особое значение приобретают методы интервального анализа, как средство исчисления интервалов, включающих в себя недетерминированные параметры с ограниченной амплитудой колебания. В этой связи актуальной является задача построения адекватной интервально-аналитической модели, а также задача создания соответствующего комплекса программ, ориентированного на широкого круга пользователей, имеющего удобный интерфейс.

В нашей стране усилено внимание научным направлениям прикладной математики, которые имеют важное научное и прикладное значение для фундаментальных наук. Широкое применение интервальные методы нашли в задачах идентификации параметров, в разработке логико-динамических систем, в решении задач с учётом динамических свойств и построении интервальных систем автоматического управления производственных процессов. Здесь получены результаты по решению задач теории и практики интервального анализа признанные, как актуальные, со стороны отечественных и зарубежных специалистов. Проведение научных исследований на международном уровне по важным направлениям «прикладной математики и математического моделирования» выделено как основная задача фундаментальных исследований<sup>2</sup>. Важное значение для

---

<sup>2</sup> Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан №292 «О мерах по организации деятельности вновь созданных научно-исследовательских учреждений академии наук Республики Узбекистан» от 18 мая 207 года.

обеспечения исполнения данного постановления имеет развитие теории математического моделирования и развитие интервально-аналитических методов исследования процессов с недетерминированными параметрами.

Данная диссертация, в определенной степени нацелена на решение задач, обозначенных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан №-ПП-916 «О дополнительных мерах по стимулированию внедрения инновационных проектов и технологий в производство» от 15 июля 2008 года, №-ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года, №УП-2909 от 20 апреля 2017 года «О мерах по дальнейшему развитию системы высшего образования» и №-УП-4947 «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 8 февраля 2017 года, а также в других нормативно-правовых актах по данной деятельности.

**Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике Узбекистан IV. «Математика, механика и информатика».

**Степень изученности проблемы.** Р.Э. Мур, Г. Алефельд, Ю.Херцбергер и Ю.И. Шокин были авторами монографии для освещения основ интервального анализа. В работах К. Никелья, Н. Апостолатоса, У.Кулиша, Р. Кравчука, Г. Майера и А. Ноймайера авторитетными исследованиями были созданы определёнными продуктивными алгоритмами. К авторам программного обеспечения по интервальному анализу, в частности к автору программного обеспечения задач, указанных в данной диссертационной работе можно отнести А. Гибба, который является первым специалистом данной области, разработавший программное обеспечение интервальных арифметических процедур и имеющий соответствующее официальное свидетельство.

Ряд работ исследователей по разработке вариантов интервальных арифметик и соответствующего программного обеспечения, как например Е.Хансена, С.М. Маркова, Т. Сендова, Г. Криста, Э.Каухера, В.М. Кахана и П.С.Панкова стали основой для формирования новых направлений в области интервального анализа. В работе М.Файзуллаева рассмотрена задача распределения основных природных ресурсов: воды и удобрений, по инфраструктуре посевных площадей с учётом бонитета посевной площади в вещественной постановке.

В работах Р.Р. Белоскурского рассмотрены задачи экологии и экономики в условиях недетерминированности параметров. В Узбекистане вопросы теории и практики интервальных методов исследовались в работах З.Х.Юлдашева, Р.Х. Хамдамова, Ш.А. Назирова, Н.Р. Юсупбекова, Ш.М.Гулямова, М.Б. Базарова, А.А. Абдукадырова, А.А. Ибрагимова и У.Шарипова.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего учебного заведения, в которой выполнялась диссертация.** Работа выполнена в соответствии плановой тематикой «Алгоритмы и программное обеспечение решения задач прикладной математики» Национального университета Узбекистана.

**Целью исследования** является совершенствование интервально-аналитических методов и программного обеспечения при математическом моделировании задач экологии и землепользования.

**Задачи исследования** состоят в следующем:

численное решение задач экологии и рационального распределения земельных ресурсов, имеющих ограниченную амплитуду колебания на основе предложенного принципа рациональной интервализации неточно заданных параметров;

обоснование эффективности методов и алгоритмов выбора диапазона изменения недетерминированных параметров в рамках математической модели;

определение ширины интервалов принадлежности на основе принципа включения;

разработка алгоритмов интервально-аналитического решения и соответствующего программного обеспечения, работающего в режиме онлайн для задачи рационального распределения земельных ресурсов.

**Объектом исследования** являются процессы с недетерминированными параметрами, интервально-аналитические модели, алгоритмическое и объектно-ориентированное программное обеспечение.

**Предметом исследования** является синтез интервально-аналитических моделей на основе принципа рациональной интервализации параметров, создание алгоритмов и адекватного программного обеспечения.

**Методы исследования.** Методы математического моделирования, интервального анализа и объектно-ориентированного программирования.

**Научная новизна** исследования заключается в следующем:

предложен и обоснован принцип рационального выбора диапазона значений параметров с ограниченной амплитудой колебания на примере прикладных задач экологии и землепользования;

обоснована эффективность выбора дифференцированных недетерминированных параметров из конечного набора способов синтеза математической модели;

разработаны принципы создания программного обеспечения для решения задач, требующего наличия дружественного интерфейса;

создано мобильное программное обеспечение для интервальных алгоритмов, используемых при решении задачи землепользования;

определены ширины интервалов принадлежности на основе принципа включения.

**Практические результаты** исследования заключаются в том, что для интервальных решений задач эффективного использования земельных

ресурсов и задач экологии, на основе теоремы включения, получены оценки ширины интервального решения.

**Достоверность результатов исследования.** Обоснована, доказательством теорем включения, установлением оценок ширины интервального решения на основе использования методов вычислений и теории погрешности, при условии сохранения информативности решений задач прикладной математики.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов состоит в разработке и обосновании принципа рациональной интервализации параметров при исследовании установлении условий продуктивности балансных уравнений и доказательстве теорем включения для интервалов.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что полученные результаты могут быть использованы при решении задач вычислительной математики и получении численных решений методами интервального анализа.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных научных результатов при исследовании интервально-аналитических методов моделирования сложных систем:

рекомендации полученные на основе алгоритмов распределения естественных ресурсов по посевным площадям применены для определения структуры распределения естественных ресурсов землепользования управлением земельными ресурсами и государственного кадастра Республики Каракалпакстан (Справка №316 от 20 апреля 2018 года Управление по земельным ресурсам и Государственного кадастра Республики Каракалпакстан). Применение результатов по рациональному распределению основных земельных ресурсов позволило создать электронную технологическую карту посевных площадей;

применение интервального алгоритма позволила использовать интервально-аналитические методы в рамках гранта А-5-44 провести исследования задачи по определению качественных свойств нелинейных биологических систем в рамках гранта по теме определение свойств биопопуляции типа Колмогорова-Фишера. (Справка №89-03-1649 от 2 мая 2018 года Министерства высшего и средне-специального образования Республики Узбекистан). Применение результатов исследования даёт возможность при решении нелинейной задачи о определении качественных свойств биологических популяций на основе проекта определение свойств биопопуляции типа Колмогорова-Фишера описывающих численных решений и визуализации.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования были обсуждены на 16 научно-практических конференциях, в том числе на 12 международных и 4 республиканских.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 25 научных работ, из них 6 входят в перечень научных изданий, предложенных Высшей аттестационной комиссией Республики

Узбекистан для защиты диссертаций доктора философии, в том числе из них 2 опубликованы в зарубежных журналах и 4 в республиканских научных изданиях.

**Структура и объем диссертации:** Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованной литературы и 3 приложений. Объем диссертации составляет 90 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Здесь далее приведены обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации и степень изученности проблемы, сформулированы цели и задачи, выявлены объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов, даны сведения о внедрении результатов исследования, об опубликованных работах и о структуре диссертации.

Первая глава диссертации, названная **«Принцип рациональной интервализации параметров при синтезе и анализе интервальных вариантов экономических моделей»**, посвящена обоснованию принципа рациональной интервализации параметров при синтезе и анализе интервальных вариантов моделей сложных систем.

В §1.1 дано обоснование важности и необходимости применения методов интервального математического моделирования при исследовании задач экономики, в предположении что, недетерминированные параметры имеют ограниченные колебания. Отмечено что, при наличии различных подходов учёта недетерминированных параметров, выбор конкретного метода зависит от типа недетерминированности. В свою очередь интервальные методы математического моделирования целесообразно применять при выполнении условия ограниченности колебания недетерминированных параметров. Приведён вариант логики введения интервальных объектов и соответствующего исчисления интервалов называемого интервальным анализом. В этой связи приведён сравнительный анализ ряда работ по применению методов интервального анализа при исследовании задач экономики, где характерна интервальная недетерминированность параметров.

В §1.2. дано изложение сути принципа рациональной интервализации недетерминированных параметров при применении интервальных методов для решения реальных задач. Здесь для примера предлагается все параметры, имеющие тип натуральный, указывающие порядковые номера объектов, предполагать детерминированными, а характеристики, имеющие точно измеримые вещественные значения также считать не интервальными, во избежание “эффекта раскрутки”. Таким образом, принцип рациональной интервализации параметров можно сформулировать следующим образом:

при синтезе математических моделей реальных процессов, интервальными считаются только параметры с ограниченной амплитудой колебания, которые возникают как неустранимые погрешности.

Далее в §1.3 первой главы приведена вещественная межотраслевая балансная модель Леонтьева, для которой, на основе указанного принципа рациональной интервализации параметров, строятся соответствующие интервальные варианты.

Конкретнее здесь рассмотрена статичная модель межотраслевого баланса в вещественной и интервальной постановках.

Основной вопрос, возникающий в планировании производства на период  $[T_0, T]$ , формулируется следующим образом: при заданном векторе конечного потребления  $c$  требуется определить вектор валового продукта  $x$ . Другими словами, требуется решить систему уравнений

$$x - Ax = c, \quad (1)$$

при заданном векторе  $c$  и матрице межотраслевых связей  $A$ .

Тогда с учётом предположения о интервальном задании части или всех величин  $a_{ij}$  - задающих объём продукции  $i$ -й отрасли, требующийся для производства единицы продукта отрасли с номером  $j$ , задача решения системы (1) по аналогии может быть сведена к поиску множества

$$\tilde{X} = \{x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \mid x - Ax = c, A \in \mathbf{A}, c \in \mathbf{c}\}. \quad (2)$$

Задачу поиска совокупности векторов  $\tilde{X}$  в соответствии (2) назовём **интервальным вариантом модели Леонтьева**. Здесь и всюду ниже приведенные в формате «ж» величины считаются интервальными.

В §1.4 рассмотрена проблема продуктивности приведённых интервальных балансных моделей, а именно доказана следующая

*Теорема 1.* Интервальная модель Леонтьева (2) будет продуктивной при ограниченности спектрального радиуса интервальной матрицы  $\mathbf{A}$  единицей

$$\left| \lambda_{\max} \right| < 1. \quad (3)$$

$A \in \mathbf{A}$

Вторая глава диссертации, названная «**Исследование эколого-экономических задач в условиях интервальности исходных величин**», посвящена синтезу и исследованию интервальных вариантов моделей прогнозирования экологических катастроф, назначения штрафов за загрязнение окружающей среды и задачи распределения инвестиций по отраслям хозяйствования.

В §2.1 при условии недетерминированности объёма однородного экотоксиканта, построена интервальная логико-динамическая модель прогнозирования экологических катастроф, предложен метод двустороннего апостериорного оценивания параметров загрязнённости консервативной или ограниченной по объёму окружающей среды.

Рассматривается оптимизационная интервальная логико-динамическая модель



$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = -k[\mathbf{x}^2 + (\mathbf{y}_0 - \mathbf{q})\mathbf{x}] + \frac{\alpha\beta}{V}, \quad (4)$$

$$\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0, \quad (5)$$

$$\mathbf{q} = \sum_{i=1}^n L_i^q \mathbf{q}_i \left( \sum_{j \in S \setminus L} L_j^\varphi \varphi_i(\mathbf{p}(t)), \sum_{j \in L} L_j^\varphi \varphi_i(\mathbf{p}(t)), L_i^j t \right), \quad (6)$$

$$Q = \left| \int_0^T \mathbf{u} \left( \mathbf{x}(t), \sum_{j \in L} L_j^\varphi \varphi_i(\mathbf{p}(t)), t \right) dt \right| \rightarrow \min. \quad (7)$$

Для решения интервальной задачи Коши

$$\mathbf{x}' = -k[\mathbf{x}^2 + (\mathbf{y}_0 - \mathbf{q})\mathbf{x}] + \frac{\alpha\beta}{V}, \quad (8)$$

$$x(t_0) \in \mathbf{x}_0, \quad (9)$$

где  $\mathbf{x}_0$  – некий интервал, содержащий неточно заданное начальное значение, можно применить метод  $s$ -го порядка, который является интервальным аналогом явного метода Рунге-Кутты. Однако, при решении систем уравнений явные методы Рунге-Кутты, подвержены “эффекту раскрутки” и обычно при большом числе переменных исключаются из рассмотрения, поскольку с увеличением порядка метода, быстро растут вычислительные затраты, а область устойчивости является ограниченной. В нашем случае, число аргументов моделирующей функции равна двум:

количество загрязнителя выброшенного окружающую среду может быть интервально-недетерминированной и показатель “чистоты среды”, регулируемый природоохранными мерами, эффективность которых непосредственно зависит от объема инвестиций, направляемых на эти цели.

Пусть при любом  $x(t_0) \in \mathbf{x}_0$  задача (8)–(9) имеет единственное решение.

Тогда для определения на  $\Delta_t = [t_0, c]$  интервалов  $\mathbf{x}(t_j) = \mathbf{x}_j$  таких, что

$$x(t_j) \in \mathbf{x}_j, t_j = t_0 + jh, h = (c - t_0)/n, (j = \overline{1, n}), \quad (10)$$

можно использовать полуявные формулы Рунге-Кутты.

Заметим, что вещественные и интервальные методы решения задачи Коши, минимизирующие невязку путём аппроксимации её значения многочленами, относятся к классу конечно-разностных методов. Имеет место следующая:

*Теорема 2.* Для интервалов  $\mathbf{x}_j$ , вычисленных по одному из интервальных аналогов конечно-разностных методов, справедливы включения

$$x(t_j) \in \mathbf{x}_j, t_j = t_0 + jh, h = (c - t_0)/n, (j = \overline{1, n}), \quad (11)$$

и оценка ширины интервального решения

$$\omega(\mathbf{x}_j) \leq \tilde{a}\omega(\mathbf{x}_0) + \tilde{b}h^s, \quad (12)$$

где константы  $\tilde{a}$ ,  $\tilde{b}$  не зависят от шага интегрирования  $h$ , а  $x(t_0)$  принадлежит интервалу  $\mathbf{x}_0$  из  $\Delta_i = [t_0, c]$ .

В §2.2 приведено исследование задачи распределения инвестиций по отраслям хозяйствования интервальными методами.

Соответствующая оптимизационная модель имеет вид:

$$f_i(0) = 0, \quad (13)$$

$$\mathbf{x}_i = \sum_{j=1}^{k_i} \mathbf{x}_{ij}, \quad (14)$$

$$T = \sum_{j=1}^{k_i} T_i^j, \quad (15)$$

$$\frac{\varphi_i \left| \mathbf{f}_i(\mathbf{x}_i) \right|}{\varphi_1 \left| \mathbf{f}_1(\mathbf{x}_i) \right|} = \lambda_i \quad (i = 2, 3, \dots, n), \quad (16)$$

$$F(\bar{\mathbf{x}}, \bar{\boldsymbol{\varphi}}) = \sum_{i=1}^n \left| \mathbf{f}_i(\mathbf{x}_i) \theta_i \sum_{j=1}^{k_i} L_j \varphi_{ij}(\mathbf{x}_{ij}, t) \right| \rightarrow \max. \quad (17)$$

Приведённые модели при соответствующих недетерминированных данных решались интервальными вариантами метода Кравчика и методом IMOD. Численные эксперименты показали включение произвольного вещественного решения в интервальное, а также согласование априорных оценок на ширину интервального решения с практическими результатами.

Третья глава диссертации, названная «**Программное обеспечение для реализации интервальных алгоритмов ориентированное на широкий круг пользователей**», посвящена описанию программного обеспечения по реализации интервальных алгоритмов для широкого круга пользователей. В §3.1 рассмотрены вопросы реализации интервальных алгоритмов, обсуждаются особенности составления программного обеспечения, предполагается использование объектно-ориентированного подхода при создании совокупности соответствующих модулей. В §3.2. описана структура и функциональные возможности пакета интервальных алгоритмов реализованного на основе принципа дружелюбности. Точнее здесь описаны два пакета. Первый предназначен для вычислений в рамках различных вариантов интервальных арифметик алгебраически допустимых выражений. Он реализован в виде класса интервальных алгоритмов, на основе принципов объектно-ориентированного программирования и допускает перегрузки операций, соответствующих четырём вариантам интервальных арифметик. (рис 1.)

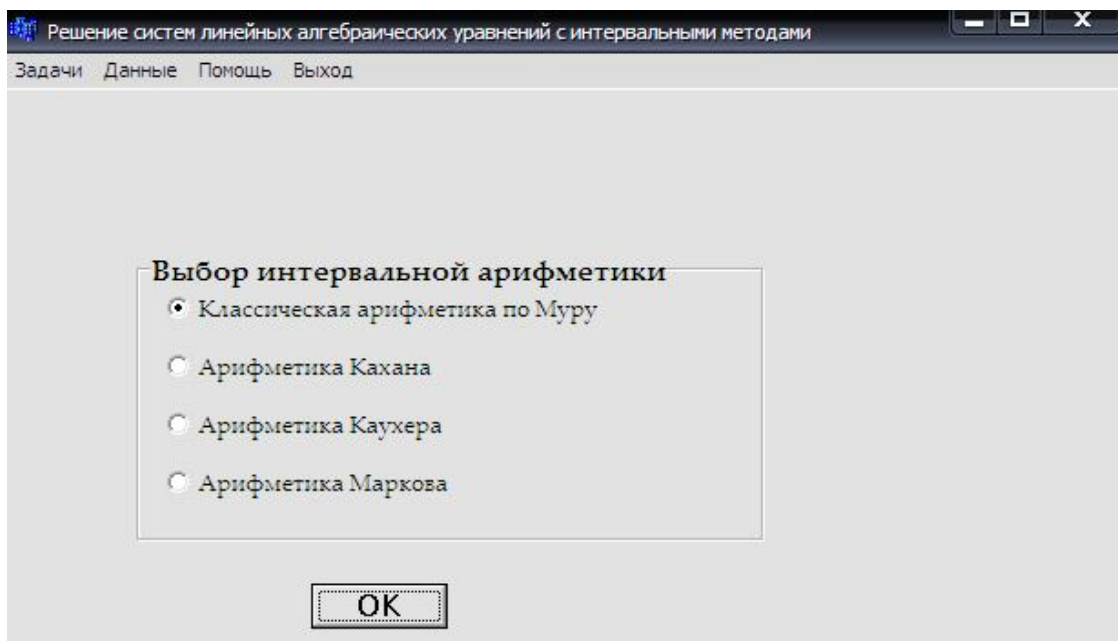


рис 1. – Выбор варианта интервальной арифметики

На рис 1. изображён интерфейс пакета для выбора соответствующего набора интервальных модулей, подходящей для решения интервальной задачи базовой интервальной арифметики с использованием механизма перегрузки.

Второй пакет представляет собой комплекс модулей ориентированных на широкий круг пользователей. В данном втором параграфе третьей главы также обсуждаются особенности проведения численных экспериментов в условиях интервальной недетерминированности параметров, приводится описание интерфейса пакета, примеры реализации его модулей и анализ результатов численных экспериментов по применению предложенных алгоритмов.

В §3.3 рассмотрена задача распределения посевных площадей и ресурсов при интервальной недетерминированности параметров.

Здесь методом математического моделирования проанализированы проблемы, возникающие перед субъектом, работающим в сельскохозяйственном производстве. В частности, на основе разработанной оптимизационной математической модели, предложен алгоритм планирования земель под посевные культуры и распределения на эти земли водных ресурсов и однородных удобрений, при интервальной недетерминированности параметров.

Тогда, мы можем рассмотреть следующую интервальную оптимизационную модель,

$$Q(\bar{S}, \bar{W}, \bar{C}) = \sum_{j=1}^n (s_j f_j(s_j, w_j, c_j) q_j - (cc_j + w w_j + r_j) s_j) \rightarrow \max, \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^n S_j \subseteq \bar{S}, \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j \subseteq \overline{W}, \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^n c_j \subseteq \overline{C}. \quad (21)$$

Эта модель изначально в каждом случае может иметь содержательную интерпретацию. Например, соотношение (19) даёт верхнюю и нижнюю границы посевных площадей, определяемых на основе бонитета конкретной посевной площади.

К качеству примера по проведённым численным экспериментам, можно привести результаты, когда природоохранные мероприятия позволяют указать процесс подавления влияния экотоксиканта и выхода характеристик среды на режим состояния равновесия. Так на рисунке 3 красная линия означает уровень экотоксиканта приводящий к экологической катастрофе. А верхние и нижние границы его насыщенности в консервативной среде изображены интервальной полосой.

```

Решение задачи прогнозирования экологических катастроф интервальным метод
x[1]=[0.0000000001; 0.0000000001] y[1]=[0.0938640856; 0.4224342223]
x[2]=[0.1170000001; 0.1230000001] y[2]=[0.1697875810; 0.5420550431]
x[3]=[0.2340000001; 0.2460000001] y[3]=[0.2233650583; 0.6577312706]
x[4]=[0.3510000001; 0.3690000001] y[4]=[0.2506752492; 0.7701459602]
x[5]=[0.4680000001; 0.4920000001] y[5]=[0.2527870125; 0.8811467010]
x[6]=[0.5850000001; 0.6150000001] y[6]=[0.2527870125; 0.8811467010]
x[7]=[0.7020000001; 0.7380000001] y[7]=[0.2527870125; 0.8811467010]
x[8]=[0.8190000001; 0.8610000001] y[8]=[0.2527870125; 0.8811467010]
x[9]=[0.9360000001; 0.9840000001] y[9]=[0.2527870125; 0.8811467010]

```

Рис 2. –Решение задачи прогнозирования экологических катастроф интервальными методами.

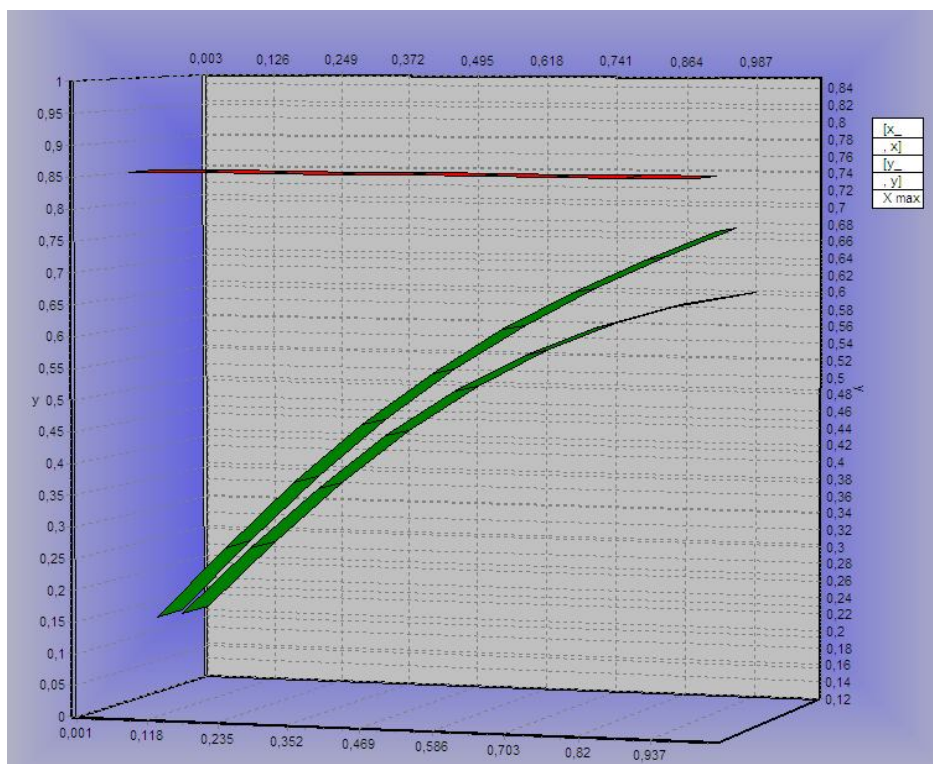


Рис 3. – Определение динамики распределения экотоксиканта при наличии подавляющих факторов равновесия факторов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа представляет собой единое и законченное исследование интервально-аналитическими методами эколого-экономических задач и задач землепользования в условиях недетерминированности параметров. При этом в работе предложена методика оптимальной, с точки зрения практики, интервализации недетерминированных параметров, для синтезированных моделей обоснована корректность применения известных интервальных методов при решении рассмотренных задач, доказательством теорем включения и построением оценок на ширину интервального решения.

Полученные результаты конкретно можно охарактеризовать следующим образом:

1. разработана и апробирована на конкретных задачах методика синтеза и анализа математических моделей с интервальной недетерминированностью при исследовании эколого-экономических задач и задач землепользования в условиях недетерминированности параметров;
2. получены достаточные условия продуктивности интервальной модели Леонтьева, доказана соответствующая теорема;
3. впервые интервальными методами рассмотрен вариант задачи инвестирования, предложен алгоритм построения оптимального решения;
4. интервальными методами исследована задача устойчивости консервативных экосистем в условиях недетерминированности количества токсичных выбросов.

5. разработаны принципы создания комплексов интервальных программ и предложены конкретные реализации с использованием многовариантности интервальных арифметик.

6. разработано соответствующее программное обеспечение для решения конкретных задач в интервальной постановке: запатентованы два пакета прикладных программ для широкого пользователя в агентстве интеллектуальной собственности, позволяющих использовать интервальные методы без требования изучения основ интервального анализа.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.27.06.2017.FM.01.02 NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**  

---

**NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

**KALKHANOV POLATBEK JUMABAEVICH**

**INTERVAL ANALYTIC METHODS OF MODELLING COMPLEX  
SYSTEM**

**05.01.07-Mathematical simulation. Numerical methods and software**

**ABSTRACT OF DISSERTATION OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON  
PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

**TASHKENT-2018**

**The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2018.1.PhD/FM172.**

Dissertation has been prepared at National University of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the website ([www.ik-fizmat.nuu.uz](http://www.ik-fizmat.nuu.uz)) and the "ZiyoNet" Information and educational portal ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Scientific supervisor:** **Yuldashev Ziyavidin Khabibovich**  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

**Official opponents:** **KHujayorov Bakhtiyor**  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

**KHujayev Ismatulla Kushaevich**  
Doctor of Technical Sciences, senior staff scientist

**Leading organization:** **Termez State University**

Defense will take place « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 at \_\_\_\_ at the meeting of Scientific Council number DSc.27.06.2017.FM.01.02 at National University of Uzbekistan. (Address: University str. 4, Almazar area, Tashkent, 100174, Uzbekistan, Ph.: (+99871) 227-12-24, fax: (+99871) 246-53-21, e-mail: [nauka@nuu.uz](mailto:nauka@nuu.uz)).

Dissertation is possible to review in Information-resource centre at National University of Uzbekistan (is registered № \_\_\_\_ ) (Address: University str. 4, Almazar area, Tashkent, 100174, Uzbekistan, Ph.: (+99871) 246-02-24).

Abstract of dissertation sent out on « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 year  
(Mailing report № 3 on 22 may 2018 year)

**A. R. Marahimov**  
Chairman of scientific council  
on award of scientific degrees,  
D.F.-M.S., professor

**Z.R. Rakhmonov**  
Scientific secretary of scientific  
council on award of  
scientific degrees, D.F.-M.S.

**M. Aripov**  
Chairman of scientific seminar  
under scientific council on award  
of scientific degrees,  
D.F.-M.S., professor



## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research work** is the improvement of interval-analytical methods and software for mathematical modeling of tasks of ecology and land use.

**The object of the research work** are processes with nondeterministic parameters, interval-analytical models, algorithmic and object-oriented software.

**Scientific novelty of research work** is as follows:

proposed and justified the principle of rational choice of a range of values of parameters with a limited amplitude of oscillation in the example of applied problems of ecology and land use;

the effectiveness of choosing differentiated nondeterministic parameters from a finite set of methods for synthesizing a mathematical model is substantiated;

developed the principles of creating software to solve problems that require a user-friendly interface;

created mobile software for interval algorithms used in solving the land use problem;

the widths of membership intervals are determined on the basis of the inclusion principle.

**Implementation of the research results.** On the bases of received scientific results in the research of interval-analytical methods for modeling complex systems:

the recommendations obtained on the basis of the algorithms for the distribution of natural resources across the sown areas were applied to determine the structure of the distribution of natural resources of land use by land management and the state cadastre of the Republic of Karakalpakstan (Reference No. 316 of April 20, 2018, the Department of Land Resources and the State Cadastre of the Republic of Karakalpakstan). The application of the results on the rational distribution of the main land resources made it possible to create an electronic technological map of acreage areas;

the use of the interval algorithm allowed the use of interval-analytical methods within the framework of grant A-5-44 to carry out research on the problem of determining the qualitative properties of nonlinear biological systems within the framework of the grant on the definition of the properties of the Kolmogorov-Fisher biopopulation. (Reference No. 89-03-1649 of May 2, 2018 of the Ministry of Higher and Secondary Special Education of the Republic of Uzbekistan). The application of the results of the research makes it possible to solve the nonlinear problem of determining the qualitative properties of biological populations on the basis of the project to determine the properties of the Kolmogorov-Fisher biopopulation describing numerical solutions and visualization.

**The structure and volume of the thesis:** The thesis consists of an introduction, three chapters, conclusion, a list of used literature and 3 applications. The volume of the thesis is 90 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (1 часть; part 1)**

1. Базаров М.Б., Худайбердыев О.Ж., Юлдашев З.Х., Калханов П.Ж. Об интервальном варианте модели прогнозирования экологических катастроф // Вычислительные технологии. – Новосибирск, 2008. –Том 13, – С.182-184. (01.00.00; №18)
2. Калханов П.Ж., Юлдашев З.Х. Исследование задачи распределения инвестиций по отраслям хозяйствования интервальными методами // Вестник НУУз. – Ташкент, 2010. – №3, – С. 100-103. (01.00.00; №8).
3. Калханов П.Ж., Юлдашев З.Х. Принцип рациональной интервализации параметров при синтезе интервальных вариантов экономических моделей // Вестник НУУз. – Ташкент, 2011. – №4(1), – С. 228-233. (01.00.00; №8).
4. Калханов П.Ж. Программное обеспечение для реализации интервальных алгоритмов, ориентированное на широкий круг пользователей // Узбекский журнал. Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2011. – №6. – С.78-83. (05.00.00; №5)
5. Yuldashev Z.KH., Kalkhanov P.J. Research in interval methods of model of interbranch balance with nondetermined data // Вычислительные технологии. – Новосибирск, 2013. Часть 1. – С.256-263. (01.00.00; №18)
6. Yuldashev Z.KH., Ibragimov A.A., Kalkhanov P.J. Problem distribution of acreage and resources at the interval non-determination of parameters // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2018. – №1(13). – С.70-76. (01.00.00; №9)

**II бўлим (2 часть; part 2)**

7. Калханов П.Ж., Худайбердиев О.Ж., Юлдашев З.Х. Алгоритм решения одной интервальной модели прогнозирования экологических катастроф // Вестник КазНУ им. Аль-Фараби серия математика, механика, информатика. – Алматы, 2010. №4(67), – С. 54-55.
8. Юлдашев З.Х., Худайберганов О.Ж., Калханов П.Ж. Моделирование назначения штрафов за загрязнение окружающей среды в условиях недетерминированности параметров // Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании: Труды международной конференции. 2006. – Павлодар, С.344-346.
9. Юлдашев З.Х., Абдукадыров А.А., Калханов П.Ж., Базаров М.Б., Юсупбеков Н.Р. Интервальный вариант динамической модели межотраслевого баланса // Математические методы в технике и технологиях: Сб.трудов XIX международной конференции, ММТТ-19, Том 7, ВГТА, –Воронеж, 2006. –С.35-38.
- 10.Юлдашев З.Х., Базаров.М.Б., Худайбердыев О.Ж., Калханов П.Ж. Об

- интервальном варианте модели прогнозирования экологических катастроф // Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф: Тезисы докладов IX всероссийской конференции. –Барнаул, 2007. –С.11.
11. Калханов П.Ж. Определение продуктивности балансных уравнений с интервальными коэффициентами // Вычислительные технологии и математическое моделирование: Материалы республиканских научных конференции, – Ташкент, 2009. – С.44-45.
  12. Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х., Калханов П.Ж. Технология учёта недетерминированных данных при синтезе интервально-аналитических моделей // Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития: Материалы международной научно-технических конференции, – Навои, 2010. – 455-456.
  13. Юлдашев З.Х., Ибрагимов А.А., Калханов П.Ж. Пакет интервальных алгоритмов для широкого пользователя // Современные проблемы прикладной математики и механики: теория, эксперимент и практика: Труды межд. конф. – Новосибирск, 2011.
  14. Калханов П.Ж. Алгоритм решения задачи прогнозирования экологических катастроф в интервальном варианте // Роль физико-математических наук в современном образовательном пространстве: Сб. материалов III межд. науч.-теор. конф. –Атырау, 2011. – С.55-60.
  15. Калханов П.Ж. Программное обеспечение для реализации интервальных алгоритмов для широкого круга пользователя // Современные проблемы комплексного и функционального анализа: Материалы Респ. науч. конф. – Нукус, 2012. – С. 101-104.
  16. Yuldashev Z.KH., Ibragimov A.A., Kalkhanov P.J. Program complex for mathematical modeling in conditions of nondetermined parameters // Collection of thesis of the V-th World Congress of Ingeneering and Technology—WCET-2012 «Science and Technology: Step to Future», – Almaty, 2012. – P. 302-303.
  17. Yuldashev Z.KH., Ibragimov A.A., Kalkhanov P.J. Problem of creation of the software for realization of interval algorithms // Zbornik Radova konferencije ISBN 978-86-80795-20-1 (PMF), MIT 2013, – Kosovska Mitorvica, Serbia. 2013. – P.746-751.
  18. Юлдашев З.Х., Ибрагимов А.А., Калханов П.Ж. Проблема создания программного обеспечения для реализации интервальных алгоритмов // Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании: X конференция – Будва Черногория, 2013. – С.154.
  19. Юлдашев З.Х., Калханов П.Ж. Интервально-аналитические методы при моделировании сложных систем // Роль физико-математических наук в современном образовательном пространстве: Сб. материалов IV международной научно-практических конференции, – Атырау, 2014. С.77-81.
  20. Юлдашев З.Х., Калханов П.Ж. Система организации вычислений с

многократной точностью методами интервального анализа // Matematika va uni zamonaviy pedagogik texnologiyalar yordamida o'qitish muammolari: Respublika ilm.-amal. konf. materiallari. II tom, –Navoiy, 2015. 205-206 betlar.

21. Юлдашев З.Х., Калханов П.Ж. Применение теории ключевых при интервальной недетерминированности данных // Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий- Аль-Хорезмий 2016: Труды V международной конференции I том, – Бухара, 2016. – С.63-67.
22. Yuldashev Z.KH., Ibragimov A.A., Kalkhanov P.ZH. Structure and functional capabilities of software package developed for realization of interval algorithms // Abstracts of VI Congress of the Turkic World Mathematical society, – Astana, 2017. – P.343-344.
23. Yuldashev Z.KH., Ibragimov A.A., Kalkhanov P.ZH., Fayzullaev M. Mathematical model of planning of lands and distribution of agricultural resources on them // Contemporary Problems in Mathematics and Physics: Abstracts of the Uzbek-Israel International Conference, –Tashkent, 2017. – P.122-123.
24. Юлдашев З.Х., Ибрагимов А.А., Калханов П.Ж. Пакет интервальных алгоритмов для широкого пользователя // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 02201, 19.05.2011.
25. Юлдашев З.Х., Ибрагимов А.А., Калханов П.Ж. Комплекс программ для вычисления значений интервальных алгебраически допустимых выражений в рамках различных интервальных арифметик // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 02202, 19.05.2011.

Автореферат Ўзбекистон Миллий университетининг «ЎзМУ хабарлари»  
журнали таҳририясида 2018 йил 20 июнда таҳрирдан ўтказилди.

Босишга рухсат рухсат этилди 21.06.2018. Ҳажми 2,5 босма табоқ.  
Бичими 60x84 1/16. Адади 100 нусха. Буюртма 114  
М.Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий Университети  
босмахонасида чоп этилди.





