

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ ва
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ФАН
ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРИШ БЎЙИЧА
14.07.2016.Т.29.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ
ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**

САДУЛЛАЕВА ШАХЛО АЗИМБАЕВНА

**ИККИ КАРРА НОЧИЗИҚЛИ РЕАКЦИЯ-ДИФФУЗИЯ СИСТЕМАЛАРИ
ЖАРАЁНЛАРИНИ МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАШТИРИШ**

05.01.07– Математик моделлаштириш. Сонли усуллар
ва дастурлар мажмуи
(физика-математика фанлари)

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2016

1
УДК 519.957

Докторлик диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата докторской диссертации
Content of the abstract of doctoral dissertation

Садуллаева Шахло Азимбаевна Икки қарра нозизиқли реакция-диффузия системалари жараёнларини математик моделлаштириш	3
Садуллаева Шахло Азимбаевна Математическое моделирование процессов систем реакции-диффузии с двойной нелинейностью.....	29
Sadullaeva Shakhlo Azimbaevna Mathematical modeling of reaction-diffusion system processes with double nonlinearity	55
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works	81

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ФАН
ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРИШ БЎЙИЧА
14.07.2016.Т.29.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ
ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**

САДУЛЛАЕВА ШАХЛО АЗИМБАЕВНА

**ИККИ КАРРА НОЧИЗИҚЛИ РЕАКЦИЯ-ДИФФУЗИЯ СИСТЕМАЛАРИ
ЖАРАЁНЛАРИНИ МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАШТИРИШ**

05.01.07– Математик моделлаштириш. Сонли усуллар
ва дастурлар мажмуи
(физика-математика фанлари)

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2016

Докторлик диссертацияси Ўзбекистон Миллий университети ва Тошкент ахборот технологиялари университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз) Илмий кенгаш веб-саҳифаси (www.tuit.uz) ва «ZIYONET» таълим ахборот тармоғида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи: Арипов Мерсанд

физика-математика фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: Абдурахимов Бахтиёр Файзиевич

физика-математика фанлари доктори, профессор

Нормуратов Чори Бегалиевич

физика-математика фанлари доктори, профессор

Имомназаров Холмат Худойназарович

физика-математика фанлари доктори, профессор (Россия Федерацияси)

Етакчи ташкилот: Самарканд давлат университети

Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ва Ўзбекистон миллий университети ҳузуридаги фан доктори илмий даражасини бериш бўйича 14.07.2016.Т.29.01 рақамли илмий кенгаш нинг 2016 йил «__» ноябр соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100202, Ташкент, Амир Темур кўчаси, 108. Тел.:(99871) 238-64-43; факс:(99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

Докторлик диссертацияси билан Тошкент ахборот технологиялари университети Ахборот ресурс марказида танишиш мумкин (____ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100202, Ташкент, Амир Темур кўчаси, 108. Тел.:(99871) 238-64-43; факс:(99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

Диссертация автореферати 2016 йил «__» ноябр куни тарқатилди.
(2016 йил «__» ноябрдаги ____ рақамли реестр баённомаси)

Р.Х.Хамдамов

Фан доктори илмий даражасини берувчи
Илмий кенгаш раиси, т.ф.д.

М.С.Якубов

Фан доктори илмий даражасини берувчи
Илмий кенгаш илмий котиби,
т.ф.д., профессор

Н. Равшанов

Фан доктори илмий даражасини берувчи
Илмий кенгаш қошидаги
илмий семинар раиси, т.ф.д.

дунё амалиётида табиий фанлар соҳасида реакция-диффузия жараёнларини бошқариш тизими самарадорлигини ошириш усуллари ишлаб чиқаришда чизиксиз математик моделларини ўрганиш долзарб масалалардан бири ҳисобланади. Elsevier таҳлилий маркази базаси маълумотларига кўра чизиксиз реакция-диффузия тенгламаси учун қўйиладиган Коши масаласини чегаравий шартларда ечиш ва натижаларини амалиётга татбиқ этишда чизиксиз фильтрация ва биологик популяцияга бағишланган дунё олимларининг илмий ишлари сони мунтазам равишда ошиб бормоқда.

Ўзбекистон Республикасида бир жинсли бўлмаган муҳитда икки карра ночизикли тенгламалар билан ифодаланувчи диффузия жараёнларини математик моделлаштириш, диффузион жараёнларни компьютерда визуаллаштириш учун автоматлаштирилган тизимларини яратишга оид тадбирларни самарали ташкил қилиш юзасидан кенг қамровли чора тадбирлар амалга оширилди. Шу нуқтаи назардан, ишлаб чиқаришнинг ночизикли жараёнларнинг математик моделларини ўрганишда муҳим аҳамиятга эга автоматлаштирилган тизимларини яратиш, ночизикли жараённи моделлаштириш ва визуаллаштириш усуллари такомиллаштиришга бағишланган қатор илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ҳозирги кунда жаҳонда қатор фундаментал муаммолар ночизикли жараёнларни математик моделлаштиришни, визуаллаштириш усуллари ва воситаларини такомиллаштирилиши, икки карра ночизикли реакция-диффузия масалалари ечимларининг муҳим натижаларини амалиётга жорий этишлиши билан изоҳланади. Ҳозирги кунда икки карра ночизикли тенгламаларни ўрганиш ва амалитётга тадбиқ этиш юзасидан қуйидаги йўналишлардаги илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади: чизикли бўлмаган моделларни ўрганиш натижасида визуаллаштириш усуллари ишлаб чиқиш; ночизикли жараёнларни ўрганишга ёрдам берувчи комплекс дастурлар яратиш; ҳисоблаш эксперименти ўтказиш технологиясини яратиш, вақт бўйича эволюцион жараённи назорат қилиш усулини, параметрларнинг динамик ўзгаришига боғлиқ хоссаларини аниқлашнинг компьютерлаштирилган тизимини ишлаб чиқиш. Юқорида келтирилган илмий-тадқиқотлар йўналишида бажарилаётган илмий изланишлар мазкур диссертация мавзусининг долзарблигини изоҳлайди.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2012 йил 21 мартдаги ПҚ-1730-сон «Замонавий ахборот-коммуникация технологияларини янада жорий этиш ва ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2010 йил 15 декабрдаги ПҚ-1442-сон «Ўзбекистон Республикасининг саноатини 2011-2015 йилларда ривожлантиришнинг устувор йўналишлари ҳақида»ги Қарорларида, Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2012 йил 1 февралдаги 24-сонли «Жойларда компьютерлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини бундан кейинги ривожлантиришга

шароитлар яратиш учун чора-тадбирлар тўғрисида»ги қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли барча меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян

даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланиши нинг устувор йўналишларига боғлиқлиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи¹. Икки карра ночизикли масалалар учун Fujita типдаги глобал ечимларнинг мавжудлиги, ҳарорат тарқалиш тезлигининг чеклилиги, автомодел ечимларнинг сифат хоссалари, чегараланмаган (blow-up) ечимларнинг фазовий локализацияси, функционал фазоларда ечим ва эркин чегара баҳоси, ночизикли масалаларни сонли ечишга йўналтирилган кенг қамровли илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан, North Carolina, Berkely, California State University (АҚШ), Tokyo, Osaka, Nagoya, Fukuoka University (Япония), Autonomous University of Madrid (Испания), Tel Aviv University (Исроил), Chongqing, Changchun University (Хитой), Paris Mathematics Center, Mathematical Institute of Leiden (Голландия), Technical University of Budapest (Венгрия), Россия Фанлар Академиясининг Амалий математика институти, Москва давлат университети (Россия), Грузия математика ва амалий математика институти, Болгария математика ва ҳисоблаш математикаси институти, Донецк математика ва механика институти (Украина), Ўзбекистон Миллий университети, Самарқанд давлат университети, Урганч давлат университети ва Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги дастурий маҳсулотлар ва аппарат-дастурий мажмуалар яратиш марказларида (Ўзбекистон) олиб борилмоқда.

Ночизикли дифференциал тенгламалар ва тизимлар билан боғлиқ бўлган хоссаларни аниқлаш усуллари, сонли ечиш ва визуаллаштириш усулларини такомиллаштиришга оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан, қуйидаги илмий натижалар олинган: икки каррали ночизикли реакция-диффузия жараёнларини моделлаштириш масалалари ечимларини турли фазоларда баҳолари олинган (North Carolina, California State University), Н. Fujita икки карра ночизиклилиқ типдаги масалаларнинг глобал ечимлари мавжудлиги исботланган (Tokio University), икки карра ночизикли масалаларнинг чегараланмаган ечимларига хос функциялар хоссалари ўрганилган ва классификацияланган (Россия Фанлар академиясининг Амалий математика институти), ярим чизикли тизимлар учун критик экспоненталари аниқланган (Autonomous University of Madrid), икки карра ночизикли реакция-диффузия масалалари хусусиятларини

¹ Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи Department of Physics, University of California, Berkly, California 94720, USA, Department of Aerospace Engineering, Department of Energy Engineering and Science, Nagoya University Nagoya, Japan ва бошқа манбалар асосида фойдаланилган.

дифференциал тенгламаларни сонли-аналитик ўрганиш, ҳамда визуаллаш тириш усуллари ва воситаларини ишлаб чиқиш бўйича қатор, жумладан, қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: ночизикли масалалар учун Fujita типидagi глобал ечимлар топиш; иссиқлик тарқалиш тезлигининг чеклилигини топиш; автомодел ечимларни топиш; чегараланмаган (blow-up) ечимларнинг фазовий локализациясини топиш; турли функционал фазоларда ечим ва эркин чегара баҳосини топиш; ночизикли масалаларни сонли ечиш усуллариини такомиллаштириш ва ночизикли жараёни визуаллаштириш учун дастурлар мажмуасини ишлаб чиқиш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ночизикли бўлмаган иссиқлик тарқалиш, фильтрация диффузия моделлари учун фазовий локаллашиш хоссаси ва чекли тезликка эга иссиқлик тарқалиш эффекти Зельдович-Баренблатт типидagi ечимлар асосида олимлар Мартинсон ва Павлов томонидан ўрганилди. Шу даврдан ночизикли математик моделлар устида кенг қамровли изланишлар олиб бориш, уларни янги мураккаб ночизикли математик моделлар учун исбот қилиш ва уларнинг турли янги хоссаларини ўрганиш ишларига катта эътибор қаратилди. Шунингдек, ўрганилаётган математик моделларнинг кўп соҳаларда учрайдиган ночизикли жараёнларда қўлланилди ва чизикли тенгламаларга хос бўлмаган янги эффектлари топилди.

Кейинги 20 йилда ночизикли масалалар бўйича эълон қилинган кўплаб илмий ишлар бу соҳага бўлган қизиқишнинг юқори эканлигидан далолат беради. Жумладан, Fujita типидagi глобал ечимларнинг мавжудлигига бағишланган илмий изланишлар Tokyo университетида (H.Fujita, X.Y.Chen, H.Matano, M.Mimura), Nagoya университетида (M.Sugimoto), Osaka университетида (Y.Naito), North Carolina университетида (C.V.Pao, W.H.Ruan), California State University да (L.A.Caffarelli, A.Friedman, B.McLeod); Lp-Лаплас ва PME тенгламалари, уларнинг умумлашган ҳоллари, ҳамда критик экспоненталар бўйича Autonomous University of Madrid да (J.L.Vazquez раҳбарлигидаги илмий мактаб), Axen University (Germany) да (M. Winkler), Politecnico di Milano да (G. Grillo, M. Muratori), Хитойнинг кўпчилиқ университетида, жумладан Chongqing, Changchun University да (J.Wu, J.Yin, H.Li, J.Zao, P.Zeng, C.Mu, D.Liu, Sh.Zhou, M.X.Wang, C.H.Xie); ярим чизикли системалар билан Complutense University (Spanish) да (M.Escobedo, M.A.Herrero, M.Fila.), Tel Aviv University да (H.A.Levine, S.Kamin); ночизикли параболик масалалар учун турли функционал фазоларда ечимнинг мавжудлик шартларини ўрганиш ва ечимни баҳоларини ўрнатиш билан Paris Mathematics Center (G.L.Leons ва унинг шогирдлари); ночизикли математик моделларнинг янги сифат хоссаларини ўрганиш билан Россия ФА нинг Амалий математика институти ва Москва давлат университетида (А. П. Михайлов, В. А. Галактионов, Е. Куркина), Болгариянинг Математика ва ҳисоблаш математикаси институтида

(С.Н.Димова, М.С.Костешиев, М.Ж.Колева) кенг қамровли илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Ночизикли тенгламалар ва улар билан боғлиқ жараёнларни тадқиқ

қилишда, хусусан Кортвег-де Фриз типдаги тенгламалар хоссаларини ўрганишнинг янги замонавий усуллари Урганч давлат университети математиклари А.Хасанов, Г.Уразбоев, А.Яхшимуратовлар томонидан таклиф этилган ва бу мақсадда аналитик назария яратилган; А.С. Расулов ва унинг шогирдлари ночизикли жараёнларни статистик моделлаштириш усули билан ечиш, Н.Мухитдинов, А. Бегматов, Б. Хужаяров, Н. Равшанов И. Алимов, И. Хўжаевларнинг илмий изланишларида эса нефть, суюқлик ва газ масаларини тадқиқ қилишга ва ночизикли бўлмаган фильтрация масаларини чизиклаштириш усули билан сонли ечишга қаратилган; М. Арипов ва унинг шогирдлари (Т.Каюмов, Д.Эшметов, А.Хайдаров, Ж.Мухаммадиев, Ш.Сеттиев, Ш.Садуллаева, А.Матякубов, З.Рахманов, Д.Мухаммадиева) томонидан ночизикли масалаларни автомодел ёндошув асосида қурилган турли хилдаги ечимлари, ночизикли математик моделларнинг янги хусусиятлари, ҳамда умумлашган Эмден-Фаулер типдаги тенгламалар ва системаларнинг ечимлари асимптотикаси ўрганилган. Бузилишга эга бўлган параболик тенгламаларга олиб келадиган ўзгарувчан зичлик, муҳитнинг ўтказувчанлик қуввати, конвектив кўчишга эга бўлган ҳоллар учун ночизикли системаларга бағишланган илмий изланишлар ҳозирги кунда етарли даражада қўрилмаган.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент ахборот технологиялари университетининг илмий тадқиқот ишлари режасининг ОТ-Ф1-125 «Клейн-Гордон типдаги реакция диффузия системалари билан ифодаланувчи чизикли бўлмаган жараёнларни визуаллаштириш, компьютерли моделлаштириш» (2009-2011), ЁФ-4-10 «Колмогоров-Фишер типдаги биологик популяция системаларини сонли моделлаштириш» (2013-2014), ИТД-5-44 «Колмогоров-Фишер типдаги ўзаро боғлиқ биологик популяция системаларини сонли моделлаштириш» (2015-2017) мавзуларидаги фундаментал лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади автомодель усуллари ёрдамида ютилиш ёки манбага эга бўлган муҳитда икки қарра ночизикли ўзгарувчан зичликка эга бузилувчан параболик тенгламалар системаси билан аниқланган реакция диффузия, иссиқлик, суюқлик ва газларнинг тарқалиши, фильтрация жараёнларни математик моделлаштиришдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

икки қарра ночизикли, ўзгарувчан зичликка эга реакция-диффузия системаси учун чекли тезликка эга иссиқлик тарқалиш эффекти (ИТЭ) ва эффектив фазовий локаллашиш ҳодисаларини асослаш;

манба ёки ютилишга эга бўлган муҳитда икки қарра ночизикли реакция-диффузия модели учун Коши масаласининг глобал ечимини қуриш;

икки қарра ночизикли реакция-диффузия тенгламалар ва тенгламалар системалари учун blow-up хоссаларга эга ечим асимптотикасини топиш; автомодел тенглама ва системаларнинг компакт юритувчилик

умумлашган ечимларининг асимптотик ифодаларини топиш; икки қарра ночизикли, манба ёки ютилишга ва конвектив кўчишга эга реакция-диффузия тенгламалар ва системалар учун критик экспонентани топиш алгоритминини

қуриш;

икки карра ночизикли, манба ва конвектив кўчиш хусусиятига эга ўзаро-диффузия системалар учун Зельдович-Баренблатт типдаги ечимлар топиш ва уларнинг ёрдамида фазовий локализация ва иссиқлик тарқалиш тезлигининг чегараланганлиги (ИТТЧ) хоссаларини исботлаш;

ўрганилган ночизикли математик моделлар хоссалари ёрдамида яқинлашувчи итерацион жараён тузиш. Ташқи факторларни ва қаралаётган муҳит хоссаларини (ўзгарувчан зичлик, муҳит ўтказувчанлиги, конвектив кўчиш ва бошқ.) ҳисобга оладиган бир ёки бир қанча ночизикли тенгламалар системалари сонли моделлаштириш масаласини ечиш;

ночизикли хосмас параболик тенгламалар ва системаларга асосланган визуал ночизикли жараёнларни ўрганишга ёрдам берувчи комплекс дастурлар ишлаб чиқиш ва ҳисоблаш экспериментини ўтказиш.

Тадқиқотнинг объекти бир ёки икки компоненталик муҳитга хос ночизикли реакция-диффузия жараёнларидан иборат.

Тадқиқотнинг предмети икки карра ночизикли тенгламалар системаси ечимларига ташқи муҳитнинг таъсирини тадқиқ қилиш, жумладан бир ёки икки компоненталик муҳитдаги конвектив кўчиш, ўзгарувчан зичлик, ютувчи ёки манба таъсирида, икки карра ночизикли бузулувчан тенгламалар ёки системалар билан аниқланувчи иссиқлик тарқалиш, суюқлик ва газларнинг фильтрацияси, диффузия, биологик популяция масалаларида тўлқин тарқалишини ўрганиш, назарияларини амалиётда қўлланиш услубларини яратиш, ўрганилаётган жараёнларни компьютерда ечимнинг сонли усуллари, ҳисоблаш алгоритмлари ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот ишида автомобиль усуллар, ечимларни солиштириш тамойиллари, ечимларни баҳолаш усуллари, сонли усуллар ва ҳисоблаш экспериментларини ўтказиш усуллари қўлланилган. **Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

икки карра ночизикли ўзгарувчан зичлик муҳитдаги реакция-диффузия системаси ва тенгламалари учун иссиқлик тарқалиш тезлигининг чеклилиги (ИТТЧ) ва фазовий локаллашиш ҳодисалари, blow-up хоссаларга эга ечим асимптотикаси топилган;

манба ва ютилишга эга бўлган икки карра ночизикли реакция диффузия модели учун Коши масаласининг глобал ечими қурилган; икки карра ночизикли тенгламалар ва системалар синфи учун уларнинг ечимлари ва фронтларини баҳолаш усуллари, автомобиль тенгламалар ва системаларнинг компакт юритувчилик умумлашган ечимларининг асимптотик ифодалари ишлаб чиқилган;

икки карра ночизикли манба ёки ютишга ва конвектив кўчиш хусусиятига эга реакция-диффузия тенглама ва системалар учун Зельдович Баренблатт типдаги ечимлар топилган ва улар ёрдамида фазовий локализация ва ИТТЧ хоссалари ўрганилган, критик экспонентани топиш алгоритми ишлаб чиқилган;

ўрганилган ночизикли математик моделлар хоссалари ёрдамида яқинлашувчи итерацион жараёнлар қурилган;

ташқи омиллар ва қаралаётган муҳит хоссаларини (ўзгарувчан зичлик,

муҳитни ўтказувчанлиги, конвектив кўчиш ва бошқ.) ҳисобга оладиган бир ёки бир қанча ночизикли тенгламалар системаларини сонли моделлаштирилган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси қуйидагилардан иборат: ночизикли хосмас параболик тенгламалар ва системаларга асосланган визуал ночизикли жараёнларни ўрганишга ёрдам берувчи дастуй таъминот ишлаб чиқилган;

яратилган дастурлар ёрдамида ҳисоблаш эксперименти ўтказиш, вақт бўйича эволюцион жараёни назорат қилиш, параметрларга боғлиқ реакция диффузия хоссаларини ўрганиш ишлари амалга оширилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги олинган натижалар ва тасдиқлар билан қатъий исботланади ва сонли тадқиқотлар натижалари билан тасдиқланади. Ечимлар олинган баҳолардан фойдаланган ҳолда ечимларнинг сонли таҳлили келтирилган бўлиб, улар таклиф этилган усулларини ҳамда эталон тенгламалар ва автомодел таҳлилга асосланган ҳисоблаш усулларининг тўғрилигини ва самарадорлигини тасдиқланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти икки карра ночизикли реакция-диффузия тенгламалари ва системалар учун blow-up хоссаларини қўлланилиши, реакция-диффузия жараёнларининг моделлари учун Коши масаласининг глобал ечими мавжудлиги, шунингдек, олинган натижалар ёниш назарияси, суюқлик ва газлар фильтрацияси, иссиқлик ўтказувчанлик масалалари, бир ёки икки компоненталик ночизикли муҳитлардаги диффузия, Колмогоров Фишернинг биологик популяция масаласига татбиқ этилиши билан изоҳланади.

Тадқиқот ишининг амалий аҳамияти ишлаб чиқилган дастурлаш услублари ночизикли фильтрация, иссиқлик ўтказиш, ночизикли муҳитда диффузия, ер ости сувларининг ҳаракати масалаларида ҳисоблаш эксперименти ўтказиш орқали ночизикли реакция-диффузия жараёнларини ўрганишга хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Диссертация тадқиқоти жараёнида олинган натижалар қуйидаги йўналишларда амалиётга жорий қилинган:

икки карра ночизикли реакция-диффузия тенгламаси учун Коши масаласининг глобал ечими учун олинган натижалар DMS-1401316 гранти лойиҳасида ночизикли масалаларнинг глобал ечими қуришда фойдаланилган («California State University»нинг 2016 йил 29 октябрдаги маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши ночизикли жараёнларни визуаллаштиришга хизмат қилган;

икки карра ночизикли реакция-диффузия системалари ечимлари мосланган манбали Кортевег-де Фриз тенгламаси ОТ-Ф1-002 «Штурм-

Лиувилл операторларининг квадратик дастаси учун тўғри ва тесқари спектрал масалалар» грант лойиҳасида ночизикли тенгламалар ва системалар синфи учун уларнинг ечимларини қуриб олиш ва хоссаларини аниқлашда қўлланилган (Фан ва технологияларни ривожлантиришни мувофиқлаштириш

қўмитасининг 2016 йил 3 ноябрдаги ФТК-03-13/744-сон маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланиши Коши масаласи глобал ечимининг мавжудлигини исботлаш имконини берган;

ночизикли парчалаш ва фильтрация масаласи учун ҳайдаш усули, ечиш алгоритми ва модели ФА-Ф4-Ф042 «Ғовак муҳитда бир жинсли бўлмаган суюқлик фильтрацияси гидродинамик моделини ишлаб чиқиш ва татқиқ қилиш» гранти лойиҳасида ночизикли жараёнларни математик моделлаштириш, уларнинг ечимларини куриб олиш ва ечим хоссаларини ўрганишда қўлланилган (Ўзбекистон Республикаси ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2016 йил 10 ноябрдаги 33-8/6160-сон маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланиши тўқин тарқалиш тезлиги чеклилик эффекти, фазовий локализация, ғовак муҳитда бир жинсли бўлмаган суюқлик фильтрацияси масалаларини ечишда, жумладан кольмация ва суффозия билан ҳисобланган суспензияларни топиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 36 та илмий-техник, шу жумладан 19 халқаро анжуманларда муҳокама қилинган: «Современное состояние и пути развития информационных технологий» (Тошкент, 2008), «Интегральные уравнения-2009» (Киев, 2009), «Современные проблемы газовой и волновой динамики» (Москва, 2009), «Вычислительные технологии и математическое моделирование» (Тошкент, 2009), «Control and Optimization of Dinamical Systems – CODS-2009» (Тошкент, 2009), «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий – Аль Хорезми 2009» (Тошкент, 2009), «Предельные теоремы теории вероятностей и их приложения» (Тошкент, 2011), «Progressin Analysis and its Applications» (London, 2009), IV Жаҳон Турк Математиклари Жамияти Конгрессида (Баку, 2011) «Science and Technology: step to future» (Алмата, 2012), «Актуальные проблемы математического анализа» (Урганч, 2012), «Интеллектуальные Системы для Индустриальной Автоматизации» WCIS – 2012 (Тошкент, 2012), «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий - Аль-Хорезми 2012» (Тошкент, 2012), «Современные проблемы дифференциальных уравнений и их приложения» (Тошкент, 2013), «Амалий математика ва ахборот хавфсизлиги» (Тошкент, 2014), V - Жаҳон Турк Математиклари Жамияти Конгрессида (Бишкек, 2014), Профессор Сугимото Мицури Халқаро семинарида (Нагоя университети, Япония, 2013), Математикларнинг Интернационал Конгрессида (Сеул, 2014), «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий - Аль Хорезми 2014» (Тошкент, 2014), «Неклассические уравнения и физики и их приложения» (Тошкент, 2014), «Радиотехника, телекоммуникация ва ахборот технологиялари: муаммолари ва келажак ривожи» (Тошкент, 2015), «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и

образовании» (Алмата, 2015).

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 36 та илмий иш чоп этилган бўлиб, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 197 бетни ташкил этган.

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Ушбу

$$t \quad = \geq \in > (2) =$$

филтратсияси, икки карра $\nabla \nabla$ коэффициентли $\rho_{x u u u}^{m k l}$ ()
ночизикли $\frac{1}{2}$

ва ўзгарувчан

муҳитда диффузия $\Delta u = 0$, $\Delta u = f$

q_n

$\rho(x) = \rho_0$ зичликка эга бўлган

жараёнлари масалаларининг асосини ташкил қилади. (1) тенглама секин
диффузия диффузия

$(k, p, m) = (2, 1, 0) \rightarrow$ да), тезкор

12

$(k, p, m) = (2, 1, 0) \rightarrow$ да), p -Лаплас

$(m, k, l) = (1, 1, 1)$ да) ва ғовак муҳит

$(p, l) = (2, 1)$ да) тенгламаларини ўзида мужассамлаштирган. Агар бирор

соҳада

$\nabla u = 0$ бўлса, (1)

тенглама бузилишга эга

$u = 0$ ёки

бўлади ва чизиқли

тенгламага айланади. Бундай соҳаларда функция ҳосилалари узилишга эга бўлиб, (1) тенглама классик маънода ечимга эга бўлмаслиги мумкин. Бундай ҳолатларда (1) тенглама учун кучсиз(умумлашган) ечимлар изланади ва ўрганилади.

Б. Зельдович ва А. Компанеев (1) нозизиқли иссиқлик ўтказувчанлик тенгламанинг хусусий ҳоли, оний манба

$_{2,1} p, l, x = 2, 1, () () 1 \rho$ р учун

таъсиридаги масаланинг иссиқлик тарқалиш тезлигининг чеклилиги (ИТТЧ) хоссасига эга бўлган ечимини, яъни $0 < t < \infty$ l, t С функцияси шундай

мавжудки, агар

$||x|| \geq l$ бўлса, унда ечимини

$u(x, t) = 0$ бўладиган

топишади. Бундай эффект чизиқли $p, k, m = 2, 1, 1$ учун ўринли ҳол:

бўлмайди. (1)

$k, l = 1, 2, 1 \rho () () 1 x 2 \rho () 1 x$ хусусий

тенгламанинг

$= 1$ и

ҳоли учун Коши масаласи Тедеев А.Ф. ва унинг ўқувчилари томонидан 2004-2013 йиллар давомида $u(x, t) = 0$ сонли

ўрганилиб,

чегаравий функция ва

параметрлар учун қайси шартларда ИТТЧ ва чекли ораликда ечимнинг бузилиши (ЧОЕБ) эффектлари содир бўлишини ўрнатдилар. Кейинчалик (2014 й.) бу масала G. Grillo ва M. Muratori лар томонидан қаралиб, сонли параметрларнинг хусусий $k, l, p = 1, 2$ ҳол учун қийматларида, яъни

умумлашган ечимнинг L_p – нормадаги баҳолари олинган.

Диссертацияда автомодел усулга асосланган умумий ҳолда қуйидаги Зельдович-Баренблатт типдаги умумумий ечим топилади:

$$u(x, t) = T(t) a(b T^{p, k, p, m, l, s}(x, t), 0), \quad ((2) 2) = + - >$$

$$\begin{aligned}
 & \gamma \\
 & [] () \\
 & \xi \\
 & + - + + - \\
 & + \\
 & p \\
 & - () ^1 1 \\
 & a b k p m l \\
 & > = - + ^ + - | | () 0, (2) 2 , \\
 & () \\
 & p \\
 & () \\
 & x N n \\
 & s p n q p n N \\
 & \phi \\
 & - \\
 & = = + < < \\
 & \xi \\
 & [()] ^ p \\
 & , , , . \\
 & t p n \\
 & \tau \\
 & 1 / -
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Теорема 1. Агар (1) тенгламада шартлари бажарилса, ҳамда

$$k p m l (2) 2 0 - + + - > , n N p n < >$$

$$\begin{aligned}
 & (0,) (0,), ^ N \\
 & u x z x x R \leq \in
 \end{aligned}$$

ўринли бўлган ҳолда (1)-(2) масала ечими учун қуйидаги баҳо ўринли:

$$\begin{aligned}
 & u x z x (t, Q. \\
 &) (t,), \leq v
 \end{aligned}$$

Теорема 2. Агар (1) тенгламада шартлари бажарилса, ҳамда

$$k p m l (2) 2 0 - + + - > , n N p n < >$$

$$\begin{aligned}
 & (0,) (0,), . ^ N \\
 & u x z x x R \leq \in
 \end{aligned}$$

ўринли бўлган ҳолда масала ИТТЧ хоссасига эга бўлади.

Теорема 1 ёрдамида (1) тенглама ечимининг фазовий локализация хоссаси бажарилиши кўрсатилади. Шунингдек, ютилиш ва конвектив кўчиш таъсирида ҳамда тезлик вақтга боғлиқ шароитларида ҳам бу хоссанинг намоён бўлиши диссертацияда кўрсатилган. Хусусан, фазовий локализация

хоссасининг бажарилиш шарти қуйидагича бўлади

$$\int_{-\infty}^t k p m l v y dy t - + + - > \quad (2) \quad 2 \quad 0, \quad () \quad 0, \quad ()$$

бунда $v t()$ – конвектив кўчишнинг тезлиги.

Қуйидаги автомодел масалани қараймиз

$$\begin{aligned} & \frac{d df df df}{s s m f f} \xi \alpha_{\xi \xi} \\ & \frac{1 \quad 1 \quad 1}{- - -} 0, \quad k \quad p \quad - \quad 2 \\ & \frac{d d d p d k p m}{\xi \xi \xi \xi \alpha} \end{aligned} \quad 1 \quad ((2) 1)$$

$$f c f d d (0) 0, () 0, , = > = < \infty f f'(0) 0, () 0, = \infty =^{(5)} \quad (4), (5)$$

масаланинг компакт юритувчили ечими

$$\begin{aligned} & \frac{d f d f}{s m f f C} \quad p \quad -2 \\ & \frac{1 \quad 1}{- -} 0 (), (0,)^{k l} \leq \infty \\ & \xi \xi \quad d d \xi \xi \end{aligned}$$

синфга тегишли ва $-\infty$

$$\begin{aligned} & \frac{d f d f s}{s m_s f y f y d y} \quad () \\ & \frac{\alpha}{- - -} \quad \frac{d d p k p m}{\xi \xi \alpha} \\ & \frac{1 \quad 1 \quad 1}{- - -} \xi \quad () 0 \\ & 1 \quad ((2) 1) 0 \end{aligned} \quad (7)$$

интеграл тенгликни қаноатлантиради. Бундай умумлашган ечимлар биринчи

$$\xi \xi \gamma \gamma^{-} \quad () , , .$$

$$= + = = \quad \gamma$$

$$- - + + -$$

$$1 (2) 2$$

Теорема 4. Фараз қилайлик $k p m l p n (2) 2 0, - + + - < > p$
 $+ < s$

$$0$$

$- + + -$ (тезкор диффузия) бўлсин. У ҳолда (4), (5) $k p m l$

$$(2) 2$$

масаланинг бу ерда

$$(1) , \xi \xi = + _{22} (o)$$

сқуйидаги алгебраик

$\xi \rightarrow \infty$ да қуйидаги

тенглама ечими бўлади: 2

асимптотикага эга $f c f () () 1$

$$- + + - () - + + - - () -$$

$$_{k p m l} k p m l p p$$

$$(2) 2 1 1 1$$

p_p

$$-_-$$

$$^2_{(1)2}$$

$$| | - + = | | () - - + + - - - + + - ()$$

$$(2) 2$$

$$()$$

$$p p p p k p m l k p m l 1 (2) 2 1 (2) 2$$

α

$$c$$

0.

2_2

$$() ()$$

$$\alpha$$

2 параграфда қуйидаги масала

қаралди: ∂

$$^p u ^{m k l} u u u \operatorname{div} v t u$$

$$- \quad 2$$

$$= \nabla \nabla \nabla - u x q x (0 ,) () , = \delta (9)$$

$$_1 \quad () ,$$

$$\partial t$$

$$() ()$$

(9) масаланинг ечими қуйидаги кўринишга эга

$$- \quad N \quad \gamma$$

$$p k p m l N u t x t a b$$

$$\begin{matrix} + & - & + & + & - \\ (2) & 2 \end{matrix}$$

(,),

$$= - (10)$$

$$\begin{pmatrix} \end{pmatrix} \eta \begin{pmatrix} \end{pmatrix}$$

$$\begin{matrix} 1 \\ + \end{matrix}$$

$$p p - 1 \begin{matrix} p \\ - \end{matrix} (\begin{matrix} \end{matrix}) b k p m \begin{matrix} 1 \\ p \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \forall \forall \\ = = \end{matrix} \begin{matrix} 1 (2) 2 \\ = - + - | | \cup \end{matrix}$$

, ,

$$(2) 1 .$$

$$\begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix}$$

$$\begin{pmatrix} \end{pmatrix}$$

$$p k p m l$$

$$p$$

$$\begin{matrix} - & - & + & + & - \end{matrix}$$

$${}^{\tau p} \eta \tau = -x \nu y \int dy t$$

(10) да автомодел ўзгарувчи^{1/}

$$() / [()]$$

$$_0$$

$$k p m l (2) 2 0, - + + - >$$

Теорема 5. Фараз қилайлик

$$N$$

$$(0,) (0,),^N$$

$$\alpha$$

$$- + \leq$$

$$1 ((2) 2)$$

ва

$$0$$

$$\begin{matrix} - & - & + & + & - \end{matrix}$$

$$u x z x x R \leq \in \text{шартлар } \nu$$

$$p k p m l$$

$$\alpha$$

$$\begin{matrix} - \\ 1 \end{matrix} \eta \begin{pmatrix} \end{pmatrix}^{\alpha \forall}$$

бажарилсин, бу ерда

$$= + -_{11} b , , \forall \forall - \text{ юқорида}$$

$$z t x T t a b (,) [] ,$$

$$\begin{matrix} 1 \\ + \end{matrix} \text{)ечими} \\ u t x (, \text{ ва } x t$$

$$()_{\phi}$$

аниқланган қийматлар. У ҳолда (9),(10) масаланинг

фронт учун қуйидаги баҳолар ўринли:

$$t$$

$${}^{p p p} x t \nu y dy a b t \tau$$

$$() () (/) [()]$$

$$- \leq \int .$$

$$(1) / 1/$$

$$(,) (,), \text{ да, } {}_T u t x z t x Q$$

$$\Phi 1 0$$

$$\leq$$

Агар қуйидаги шарт ўринли бўлса

$$\int_0^t v(y) dy + v(t) = + \forall t \in (0, \infty)$$

$$\int_0^t v(y) dy + v(t) = + \forall t \in (0, \infty)$$

$$\int_0^t v(y) dy + v(t) = + \forall t \in (0, \infty)$$

у ҳолда ечимнинг фазовий локализация хоссаси бажарилади. Биринчи бобнинг якунида Краник-Никольсоннинг ўзгарувчан йўналишлик ҳайдаш алгоритмига асосланган, ҳисоблаш схемаси келтирилган. Бунда, сонли моделлаштириш жараёнининг бошланғич итерациясини танлаш, ечимларнинг олдинги параграфларда исботланган хоссаларига таянади. Ҳисоблаш экспериментлари натижалари таклиф қилинган бошланғич яқинлашиш математик моделларининг нозичлиги хоссаларини ўзида мужассамлантирганини ва таклиф этилаётган усулнинг эффективлигини кўрсатади.

Диссертациянинг «**Икки карра нозичли муҳитда тўлқин ечимларининг иссиқлик тарқалиш тезлигининг чеклилиги ва фазовий локаллашиши**» деб номланган иккинчи бобида бир ёки икки компоненталик муҳитда вақтга боғлиқ конвектив кўчиш ва ютилишга эга бўлган фазовий локаллаштирилган ечимлар топилади. Қаралаётган масалада иссиқликнинг ўзаро ютилиши ва конвектив кўчиши таъсири остида температура тўлқини фронтини тўхтаб қолиш эффекти юзага келиши мумкинлиги кўрсатилади. Бундан ташқари, икки карра нозичли Колмогоров-Фишер типидagi биологик популяция масаласи учун тўлқин тарқалиш чуқурлиги ва тезлигини баҳолаш амалга оширилган.

Ушбу

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{\beta} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\beta} \frac{\partial u}{\partial t} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\beta} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{\beta} \frac{\partial u}{\partial t} \right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{\beta} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\beta} \frac{\partial u}{\partial t} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\beta} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{\beta} \frac{\partial u}{\partial t} \right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{\beta} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\beta} \frac{\partial u}{\partial t} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\beta} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{\beta} \frac{\partial u}{\partial t} \right)$$

Коши масаласига асосланган Колмогоров-Фишер типидagi биологик популяция модели бир ўлчовли ярим чизикли тенглама учун, яъни (11) да $N, p, m = 1, 2, 1, 1$ бўлган ҳол Р.Фишер ва А.Н.Колмогоров, И.Г.Петровский, Н.С.Пискунов томонидан ўрганилган. Маълумки, тўлқинли ечим деганда

$$u x t f x c t = = + \xi \xi \sum (12)$$

$$() ()$$

кўринишдаги ечими функция куйидаги Номаълум
тушилилади, бунда c – тўлқин тезлиги. $f(\xi)$

$$() | | - + - = | | ()$$

$$d df df df^m D N f c n f f$$

$() d d d d$ ёрдамида топилади.
(13)

$$\xi \xi \xi \xi$$

автомодел тенгламанинг ечимлари

16

Р.Фишер ҳолда (11) тенгламанинг
 $N p m = = = = 1, 2, 1, 1 \beta$ бир ўлчовли
 $0 1 \leq \leq$ ишартга бўйсунувчи ва тўлқин тарқалиш тезлиги

$$\min c c n D \geq = 2$$

шартини қаноатлантирувчи чексиз кўп тўлқин типдаги ечимлари мавжудлигини кўрсатди. А.Н.Колмогоров, И.Г.Петровский ва Н.С. Пискуновлар (КПП) умумийроқ шарт остида (11) нинг ягона ечимга эга бўлишини ва бу ечим (13) нинг автомодел ечими орқали (12) кўринишда, $\min c c$ =тезликка эга тўлқин кўринишида бўлишини исботлаган.

Р. Фишер, А.Н. Колмогоров, И. Г. Петровский ва Н.С. Пискуновлар (ФКПП) моделида вақтнинг катта қийматларида $d x t$ – критик (резонанс) ҳол, яъни (1) $x t ()$ – тўлқин тенгламада $k p m l (2) 2 0 - + + - =$ бўлганда

тарқалиш узунлиги $x t ()$ ва тезлиги $()$ =учун мос
баҳолар: $c t$ $()$ равишда куйидаги
 dt

$$\left[\frac{1}{\Gamma} \left(\frac{1}{\Gamma} \right) \right]^{-1} + \left[\frac{1}{\Gamma} \left(\frac{1}{\Gamma} \right) \right] + \frac{1}{p} \ln 2 \ln(\cdot)$$

$$x t p n k l D t \quad N \quad T t$$

$$(\cdot) 1, \frac{1}{2} \frac{1}{2}$$

$$\frac{p}{p p}$$

$$(\cdot)$$

$$0.2/p$$

$$t$$

$$\left[\frac{1}{\Gamma} \left(\frac{1}{\Gamma} \right) \right]$$

$$p d x t^{p p} c t n D k l t$$

$$(\cdot)$$

$$\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{1}$$

$$-- = \cong (\cdot) 2 \cdot (\cdot)$$

$$dt \quad 0$$

$$p l = = 2, 1 \text{ да тўлқин}$$

олинган. Бунда (11) тенгламанинг хусусий ҳоли

$$d x t (\cdot) \quad n D$$

$$= \text{га тенг } c$$

$$2$$

тарқалиш тезлиги вақтнинг катта қийматларида

$$0$$

$$dt$$

бўлади ва у ўз навбатида ФКПП лар натижаси билан устма-уст тушишини кўрамиз.

Параграф 2 да конвектив кўчиш, манба ва ютилишга эга бўлган реакция диффузия тенглама

$$\frac{\partial}{\partial t} \frac{m k l}{p u} \operatorname{div} u u u \operatorname{div} v t u t u$$

$$2$$

$$= \nabla \nabla + + = \pm$$

$$(\cdot) (\cdot), 1,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\cdot) (\cdot) t \quad \varepsilon \gamma \varepsilon \beta$$

иссиқлик тўлқинлари кўринишидаги ечимлар учун янги хосса – фазовий локаллашиш ҳодисаси топилган.

Қаралаётган масалада, агар

$$t$$

$$k p m l - + + - > - < \infty \forall > c t v y d y t \tau \int$$

$$(2) 2 0, () () , 0,$$

0

шартлари бажарилса унда тенгламанинг тўлқин кўринишдаги ечими локаллашган бўлади ва иссиқлик тарқалиши фронти чекли бўлади ва тўхташ эффекти намоён бўлади. Бундан ташқари,

17

$$k p m l b y d y t - + + - > < \infty \forall > \int$$

$$(2) 2 0, () , 0,$$

0

шартларда, агар иссиқлик ўтказиш коэффициенти вақтга боғлиқ бўлиб $p_{mk} l b t$ $u u u$

- 2

$$_1^1 ()$$

- ∇ кўринишга эга бўлса, ютилиш ва конвектив кўчишнинг

бор йўқлигидан қатъий назар иссиқлик тарқалиши фазовий локализацияси намоён бўлишлиги исбот қилинган.

Шунингдек, реакция-диффузия, иссиқлик тарқалиш, фильтрация ва бошқа жараёнларни тасвирловчи икки карра ночизикли тенгламалар системалари учун ҳам юқорида келтирилган хоссалар ўринли эканлиги кўрсатилган ва автомодел ечимлар асимптотикаси олинган. Хусусан,

$$\partial \partial \partial \partial \partial ()$$

$$u u u^u v l t t u$$

$$= - - \left| \left| \partial \partial \partial \partial \partial \right| \right| \left(\right) \left(\right) , \quad 1$$

$$t x x x x \partial \partial \partial \partial \partial Y^1$$

$$()$$

$$v v v^v u l t t v$$

$$= - - \left| \left| \partial \partial \partial \partial \partial \right| \right| \left(\right) \left(\right) . \quad 1$$

$$t x x x x \quad 2$$

$$Y$$

система учун бир вақтда конвектив кўчиш ва ютишнинг ўзаро таъсирида ечимларнинг фазовий локаллашиш шarti топилган ва система тўлқин кўринишдаги финит ечимларининг асимптотикаси келтирилган.

$$() ()^{1/2}$$

Теорема 6. Фараз қилайлик юритувчи ечимлари асимптотикага
 $_{12}p\ m\ m > + - - 2\ 1\ 1\ \lceil\ \lfloor\ \rfloor$ бўлсин. эга
 Унда $\xi\ a \rightarrow$ -да қуйидаги
 юқоридаги системанинг компакт

$$_{12}fAf o Bfo\ (\)\ (\)(1\ (1)),\ (\)\ (\)(1\ (1)).\ \xi\ \xi\ \psi\ \xi\ \xi$$

$$= + = + \text{ Бунда}$$

$$(\)\ (\),\ 1,2,\ (\)\ \max(0,\),\ (\),\ (\)\ (\),\ ^ifaibbctxtvy\ dy\ \xi\ \xi\ \tau\ \tau =$$

$$- = = - =$$

$$^{++}\int$$

$$_i$$

$$_0$$

$$p\ p\ m\ p\ p\ m$$

$$- - + - - +$$

$$1\ (\ 1)\ 1\ (\ 1)$$

$$(\)(\)(\)(\)$$

$$_{12^2}$$

$$n\ n\ n\ p\ m\ m = = = - - - - ,\ ,\ 2\ 1\ 1\ ,$$

$$(\)(\)(\)$$

$$_{1212}n\ n$$

$$^{pp}{}_m m^{pp}n\ A\ B\ c\ n\ A\ B\ c^{- - - - -}$$

$$^{11}_{11111}$$

$$(\)(\)$$

$$_{12}$$

$$_{12},$$

ва A, B ўзгармаслар системанинг $=$ алгебраик
 ечими бўлади.

Диссертациянинг «Манба ёки ютилишга эга бўлган икки карра
 ночизикли реакция-диффузия жараёнларнинг математик моделининг
 хоссалари» деб номланган учинчи бобида тезлиги вақтга боғлиқ конвектив
 кўчиш, ютилиш ёки манбага эга икки карра ночизикли, бузилишга эга бўлган
 параболик тенглама учун Коши масаласининг глобал ечими мавжудлиги
 исбот қилинади. Бунда Фужита типидagi критик экспонентани топиш учун
 янги алгоритм ишлаб чиқилади. Олинган натижалар етарли даражада умумий
 бўлиб, бошқа авторларнинг (Х.Фужита, А.А.Самарский,

Учинчи бобнинг 1-параграфида ушбу

Иссиклик ўтказиш реакция-диффузия жараёни, суюқлик ва газларнинг () $t u^B$

(14) тенглама $u = 0$ ёки $\bar{u} = 0$ бўлади. Шунинг

учун ҳам уни кучсиз (умумлашган) ечими ўрганилади. (14) тенгламани сонли моделлаштириш масаласининг қийинчилиги шундан иборатки, бузулган ночизиқли масалалар учун одатдаги сонли схемалар ярамайди. Шу сабабдан (14) тенглама учун сонли ечим ва визуал жараен ўрганилганда, олдин ечимнинг сифат хоссалари, жумладан глобал ечимнинг мавжудлиги, тўлқин тақалиш тезлигини чеклилиги, ечимнинг локализацияланганлиги, асимптотикаси, тенглама параметрларига боғлиқ равишда эркин чегара хусусиятларини ўзгариши каби хоссалари ўрганилади. Шу мақсадда диссертацияда ушбу глобал ечимнинг мавжудлиги ҳақидаги теорема исбот қилинади. Бунинг учун

, агар (2) 2 0,

Боб охирида қаралаётган масаланинг сонли ечиш усуллари келтирилган. Икки карра ночизикли реакция-диффузия жараёнларининг математик Писмен-Речфорд схемасидан фойдаланилди моделини сонли ечиш учун бундай масалаларни ечиш учун хос бўлган [– – –

$1\ 1\ 1\ k\ k\ k\ k\ k\ k\ k\ +\ +\ +$

$${}_{222}(\,)(\,)(\,)+++++$$

$$1\,1,1,,1,,1,,1\,2$$

$$m\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,2$$

$$h_1$$

$$|_{-+^{+-}}|_{xyyyyyy}$$

$${}_{1\,2}{}^n{}_{m\,p}{}_{--}{}_{1\,1}$$

$$k\,k\,k\,k\,k\,k$$

$$++_{22}$$

$$,\,(\,)(\,)(\,)$$

$$i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j$$

$$,,1,,1,,1,$$

$$---$$

$$[\wedge=+^{+-}]\!|_{yxyyyyy}$$

$${}^n{}_{m\,p}$$

$$1\qquad\qquad\qquad1\,2\qquad\qquad\qquad--$$

$$k\,k\,k\,k\,k\,k\,k(\,)(\,)(\,)+++++2,1,1,,1,,1,1\,2$$

$$m\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,2$$

$$h_2$$

$$|_{-++^{-}}|_{xyyyyyy}$$

$${}^n{}_{m\,p}{}_{--}{}_{1\,2}$$

$$k\,k\,k\,k\,k\,k$$

$$,\,(\,)(\,)(\,)$$

$$i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j$$

$$,,,1,,1,,1$$

$$---$$

$$i\,j\,n\,,\,1,2,...,\,1,\,1,2.\overset{\alpha}{=}\overset{\alpha}{-}=\overset{\alpha}{=}$$

Бошланғич ва чегаравий шартлар куйидагича олинади

$$|=\in|_{y\,u\,x\,x}$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ \omega \end{pmatrix}$$

$$_{ijh}$$

$$\{ = = y j j n$$

$$_{kk}^{++}$$

$$_{ij} \phi, \text{ агар } 0 \text{ ва },$$

$$_{211}$$

$$= = \lfloor y i n$$

$$|_{kk++22}, \text{ агар } i 0 \text{ ва },$$

$$_{ij}$$

$$\phi$$

$$, 1$$

$$_{kkk}^T$$

$$1 \phi \phi \phi \phi \phi^{++} = + - \wedge -$$

$$_{11}$$

$$(\) (\)$$

$$_2$$

$$24$$

бу ерда

.

Итерация аниқлиги учун қуйидаги шарт бажарилиши

$$\text{ЛОЗИМ } ss$$

$$+ 1$$

$$y y \epsilon$$

$$\max .$$

$$- <$$

$$'' 0$$

$$_{ijij} in$$

$$0 \leq \leq \leq \leq 1$$

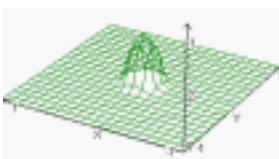
$$_{jn}$$

Қуйида эса

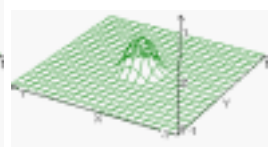
$$m p = = = - 2, 2.5, 0.5, m = 2, p = 2.5, \beta = 0.8,$$

$$1 \beta \epsilon \text{ ва}$$

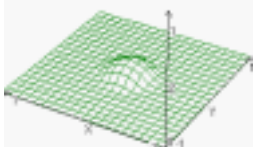
$\epsilon = +1$ бўлгандаги ҳисоблаш натижалари келтирилган:



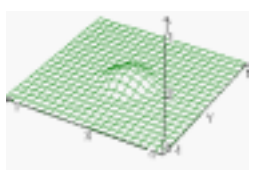
$$t = 0$$



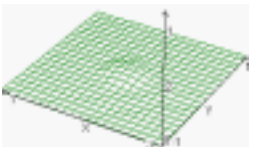
$$t = 0.1$$



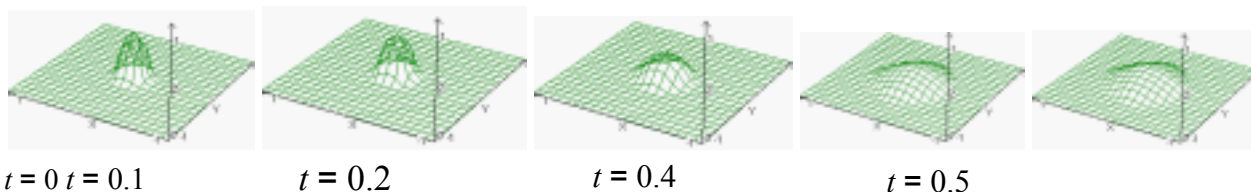
$$t = 0.2$$



$$t = 0.4$$



$$t = 0.5$$



Диссертациянинг «Икки карра ночизиқли реакция-диффузия системаларини сонли-аналитик тадқиқ қилиш» деб номланган тўртинчи бобида ютилиш ва манбага, ўзгарувчан зичликка эга ва фазовий икки компоненталик муҳитда аниқланган икки карра ночизиқли, бузилувчи параболик тенгламалар системаси учун ечимнинг ИТТЧ эффекти ва фазовий локализация хоссаси намоён бўлишлиги шартли олинади. Автомодел таҳлил асосида қаралаётган система учун Fujita типигаги глобал ечим мавжудлиги ҳақидаги теорема исбот қилинади. Ярим чизиқли системалар учун бундай натижа олдинроқ Эскобедо-Херреро томонидан исбот қилинган.

Суст ва тезкор диффузия ҳоллари учун, учинчи бобдагига ўхшаб, асимптотиканинг бош қийматини ҳисоблаш услуби таклиф қилиниб, бош қиймат коэффициенти муайян алгебраик тенгламалар системасининг ечими каби ифодаланиши исбот қилинди.

$$\{(\cdot, \cdot) : 0, \cdot\}$$

${}^N Q t x t x R = > \in$ соҳада аниқланган бузиладиган, зичлиги бир

жинсли бўлмаган, икки карра ночизиқли параболик тенгламалар системасини қарайлик:

21

$$x \operatorname{div} x u u u t x v = \nabla \nabla + =$$

$$\frac{\partial}{\partial t} u_{n k p}^n m - - () 0,$$

2_1

$$\beta_{11}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} () \gamma$$

(15)

$$x \operatorname{div} x v v v t x u = \nabla \nabla + =$$

$$\frac{\partial}{\partial t} v_{n k p}^n m - - () 0,$$

2_1

$$\beta_{22}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} () \gamma$$

$$\begin{aligned} & (0, 0, 0, 0,)_{00} () () () \\ & u x u x v x v x x R = \geq = \geq \in , \end{aligned}$$

бунда $n, k, \in R_{12} m m, 1, >_{12} \beta \beta, 1, \geq p 2 \geq$ берилган сонлар, $(.) (.)$

$$\nabla - grad_x,$$

$$0 () (0,). < \in +\infty \forall t C$$

Қуйидаги солиштирувчи функцияларни киритайлик

$$\begin{aligned} & {}^{12}u t x T t f v t x T t T, () (), , () (), 0, {}^{\alpha\alpha}\xi \psi \xi_{++} = + = + \geq \\ & () () \end{aligned}$$

бунда

$$\begin{aligned} & \beta \qquad \qquad \qquad 1, _1 \qquad \qquad \qquad = + 1 (3), 1, 2, \lambda m p i \tau \\ & \alpha \qquad \qquad \qquad 1 \qquad \qquad \qquad \alpha_{iii} = - + - = \\ & + \qquad \qquad \qquad t T t^\lambda \\ & = - \qquad \qquad \qquad () () ,^i \\ & \begin{matrix} i \\ i \end{matrix} \qquad \qquad \qquad \lambda \\ & \beta \beta - \qquad \qquad \qquad \begin{matrix} i \\ q q \end{matrix} \\ & \begin{matrix} i i \\ 3 \end{matrix} \end{aligned}$$

$$_2^{1/(1)} / (1)^{(1)} () , (, 0, _{pp} p p f a a a \xi \xi \psi \xi \xi ^{- -} = - - = - >$$

$$() ()$$

$$++$$

$$\begin{aligned} & p p \\ & - - \\ & 1 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & q q \\ & = = \end{aligned}$$

$$, ,$$

$$\begin{aligned} & + - + - () \max(0,). b b + \\ & = \end{aligned}$$

$$_{12}$$

$$\begin{aligned} & m p m p \\ & \qquad \qquad \qquad 3 3 \\ & \qquad \qquad \qquad 1 2 \end{aligned}$$

Теорема 8. (Фужита типидagi глобал ечим ҳақида). Фараз қилайлик

$$+ - ^{-} > =$$

$$p m_i$$

$$\begin{aligned} & 3 \qquad \qquad \qquad \beta \\ & k n p n N + < < , , 3 0, m p_i +, 1, 2, \\ & - >^3 \end{aligned}$$

$$_i$$

$$\beta_{\beta} \quad \beta_{\beta} \quad + - + - < \quad \beta_{\beta} \quad + - + - < \quad m_p N \quad \gamma \tau \quad () () , t t v$$

$$1 \quad m_p N \quad \gamma \tau \quad () () , t t u \quad 222(2)$$

$$111(2) \quad - - + 1 ()$$

$$\beta_{\beta} \quad \beta_{\beta} \quad - - + 1 () p n k \quad 12 \quad p n k$$

$$u x u x v x v x x R_{++} \geq$$

$$\geq \in$$

$$(0, , 0, ,)_{00} () () ()$$

бўлсин. У холда етарлича кичик масаланинг
 $u x v x_{00} () , ()$ лар учун (15)
 ечими $, , , ,) \leq \leq_{12++} () () ()$
 Қсоҳада қуйидагича
 баҳолашга эга:

$$u t x A u t x v t x A v t x (, \quad (16)$$

бунда аниқланган функциялар, $_{12} A A > > 0,$
 $u t x v t x_{++} (, , ,) ()$ лар юқорида 0
 -ўзгармас қийматлар.

(16) тенгсизликлардан ечимлар учун ИТТЧ эффекти намоён бўлишлиги
 келиб чиқади.

Теорема 9. Фараз қилайлик $\gamma () 1 t = , 3 0, m p_i + - >$
 (15) да

$$+ - - > = p m_i \quad () + \beta_{\beta}$$

$$3 \quad 1 \quad q q N -$$

$$\beta_i \quad , 1, 2, \quad a a$$

$$3 \quad i \quad | | + < \quad , \beta_{\beta}$$

$$m p \quad 1 \quad 1211$$

$$+ - \quad 3$$

$$\begin{array}{ccc} \begin{array}{c} i \\ () + \beta_{\beta} \end{array} & \begin{array}{c} \lfloor \rfloor - \\ 1 \\ , \\ {}^{N}_{qq} \\ a a_{p n k} \end{array} & \begin{array}{c} \beta \beta^{-} \\ {}^{2 \ 1 \ 2 \ 1} \\ 1 \\ a a \\ {}^{N}_{qq} - \end{array} \\ \begin{array}{c} {}^{1 \ 2} \\ 1 \\ p \\ () + \beta_{\beta} \end{array} & \begin{array}{c} | | + < \end{array} & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \begin{array}{c} \lfloor \rfloor - - + p n k n N > + < , , \\ {}^2 \\ 1 () \\ 1 \end{array} & \begin{array}{c} {}^{1 \ 2 \ 1 \ 1} \\ , \\ \beta \beta \\ \lfloor \rfloor - \end{array} & \\ | | + < & & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \begin{array}{c} {}^{1 \ 2} \\ 1 \\ \lfloor \rfloor + < \end{array} & \begin{array}{c} () + \beta_{\beta} \\ {}^{N}_{qq} \\ 1 \\ a a \end{array} & \begin{array}{c} {}^{1 \ 2} \\ 1 \\ p \end{array} \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \begin{array}{c} | | + < \\ {}^{2 \ 1 \ 2 \ 1} \end{array} & \begin{array}{c} (0, , 0, ,)_{00} () () ()^N u x u x v x v x x \\ R_{++} \geq \geq \in \end{array} & \end{array}$$

$$\begin{array}{c} {}^2 \\ 2 \\ \beta \beta \end{array}$$

$$\lfloor \rfloor - - + 1 ()$$

$$\begin{array}{c} {}^{1 \ 2} \\ p n k \end{array}$$

бўлсин. У холда (15) системанинг Q соҳада кучсиз ечими учун етарлича кичик бунда

баҳолашлар ўринлидир: $u t x A u t x v t x A v t x (, , , ,) \leq \leq {}_{34++} () () ()$
(17) $u t x v t x {}_{++} (, , ,) ()$ лар юқорида аниқланган функциялар бўлиб,

$u x v x {}_{00} () , ()$ ларда қуйидаги

${}_{34} A A > > 0$, Олар факат (15) системанинг сонли параметрларидан боғлиқ ўзгармас сонлар.

Теорема 9 дан (15) системанинг Fujita типидagi критик экспоненталари учун қуйидаги қийматларни оламиз

$$\begin{array}{ccc} \beta_i & \frac{1}{N} & = = , 1,2 \\ + & & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \beta \beta - & {}^{- + + -} & \\ i & 1 (3) p p m N & \end{array}$$

Бу натижа
 $\frac{iii}{3}$

$p\ m\ i\ +\ -\ =$ хусусий холда

Эскобедо-Ферреро $3\ 0,\ 1,2\ _i$

хол дейилади. Бу холда (15) система ИТТЧ эффектани намоён қилмайди ва ечим бошқа характерга эга бўлади.

натижасини беради.

$3\ 0,\ 1,2\ m\ p\ i\ +\ -\ =$ хусусий холга
махсус (резонанс)

$k\ n\ p\ m\ p\ i\ n\ N\ +\ <\ +\ -\ =\ =\ <$ ва

Теорема 10. Фараз қилайлик $\beta\ \beta\ <\ <$

$+\ +$

$_{1\ 2}$

$1\ 1$

,

$N\ N$

$,\ 3\ 0,\ 1,2,\ _i$

$- \ -\ +\ - \ -\ +$ тенгсизликлар бажарилсин. У

$\beta\ \beta\ \beta\ \beta$

$1\ (\)\ 1\ (\)$

$p\ k\ n\ p\ k\ n$

$_{1\ 2\ 1\ 2}$

холда етарлича кичик $u\ x\ v\ x\ _{0\ 0}\ (\)$, $(\)$ лар учун Q соҳада (15) тенгламалар системаси ечими қуйидаги баҳолашга эга бўлади:

$\beta\ \beta$

$+\ +$

$1\ 1$

$_{1\ 2}$

$- \ -$

$_1\ ^1\ u\ t\ x\ T\ t\ f\ v\ t\ x\ T\ t\ f,\ (\)\ (\),\ ,\ (\)\ (\),\ -\ ^-\leq +\leq +$

$\beta\ \beta\ \beta\ \beta\ \xi\ \xi$

$_{1\ 2\ 1\ 2}$

$(\)\ (\)$

p

$(\)\ (\)\ \exp^{/},\ (\)\ (\)$

$f\ p\ \xi\ \psi\ \xi\ \xi\ =\ =\ -$

$x\ p$

ϕ

$(\)$

$\xi\ \phi\ ^-\ ^+\ (\)\ \forall$

$=\ =$

$p\ k\ n\ p$

$T\ t\ p\ k\ n$

$+\ -\ +$

p

Хусусий

$1/\ ,\ \cdot$

$x\ x$

$(\)$

$(\)\ (\)$

$n\ k\ p\ p\ m\ i\ =\ =\ =\ +\ -\ =\ =$ холда

Теорема 10 дан $0,\ 2,\ 3\ 0,\ 1,2\ _i$

Эскобедо-Ферреро теоремаси келиб чиқади.

тезлигининг чеклилиги ва локаллашиши» деб номланган бешинчи бобида бузилувчан икки карра ночизикли, зичлиги ўзгарувчан, конвектив кўчувчан параболик кросс система учун ечимларнинг қуйидаги сифат хоссалари ўрнатилади: глобал ечимнинг мавжудлиги, Фужита типдаги критик экспонента қиймати, фронт хусусияти, ИТТЧ эффекти, компакт юритувчи ечимларнинг асимптотикалари, эркин чегара, автомодел системаларнинг ва чексизликда нолга айланувчи ечимларининг хусусиятлари, уларнинг сонли параметрлардан боғлиқликлари ва б. Бундан ташқари, сонли моделлаштириш ва итерацион жараёнининг муҳим муаммоси – итерацион жараён учун бошланғич яқинлашишни аниқлаш масаласи ҳал қилинади. Сонли экспериментларда таклиф этилган итерацион жараённи тез яқинлашувчи эканлиги ҳам исбот қилинади.

Ушбу бузулувчи параболик тенгламалар системаси орқали берилган ўзаро реакция-диффузия математик модель системасини қарайлик ()

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \rho u &= \nabla \cdot (\nabla u + \rho u \nabla u) + \text{div} \, x u \quad (1) \\ \frac{\partial}{\partial t} \rho v &= \nabla \cdot (\nabla v + \rho v \nabla v) + \text{div} \, x v \quad (2) \\ \frac{\partial}{\partial t} \rho &= \nabla \cdot (\nabla \rho + \rho \nabla \rho) + \text{div} \, x \rho \quad (3) \end{aligned}$$

(18)

Диссертациянинг V бобида (18) системанинг Зельдович-Баренблат типдаги ечими топилади:

$$u(t, x) A(t, x) + v(t, x) B(t, x) + T(t, x) = 0, \quad (19)$$

$$\begin{array}{ccc} (\,) \, (\,) & [\, (\,) \,]^p & \tau \\ & & t \end{array}$$

бунда

$$T\,t^{}\qquad\qquad\qquad (\,) +^{}$$

$$(\,) \, , \, 1 \, (\, 1 \,) \, (\, 2 \,) \, 0 \, , \, t \, p \, m \, p$$

$$= \, = \, - \, - \, - \, - \, - \, > \, \tau \, \alpha \, \alpha$$

$$\begin{array}{ccc} p & & 1 \, 1 \, 2 \, 1 \\ \scriptstyle 1 & & \end{array}$$

$$\begin{array}{c} ^{q}p \\ f \, a \, a \, a \, c \, c \, (\,) \, , \, (\,) \, , \, 0 \, , \, (\,) \, \max \, 0 \, , \, ^{\vee \vee} \xi \, \xi \, \psi \, \xi \, \xi \, \gamma \, + \end{array}$$

$$\begin{array}{c} = \, - \, = \, - \, > \, = \, = \\ \scriptstyle 1_2 \end{array}$$

$$\begin{array}{c} (\,) \, (\,) \, (\,) \\ ++ \end{array}$$

$$\begin{array}{c} p \\ 1 \\ - \end{array}$$

$$\begin{array}{c} (\, 1 \,) \, (\, 1 \,) \, (\, 1 \,) \, (\, 1 \,) \\ p \, p \, m \, p \, p \, m \\ - \, - \, + \, - \, - \, + \\ (\, _1 2 \,) \, (\,) \end{array}$$

$$\begin{array}{c} q \, q \\ = \, = \end{array}$$

$$\mathfrak{,} \, \mathfrak{,}$$

$$\begin{array}{c} q \, q \\ \scriptstyle 12 \end{array} \qquad \qquad \qquad \begin{array}{c} ^2 \\ q \, p \, m \, m = - \, - \, - \, - \, (\, 2 \,) \, (\, 1 \,) \, (\, 1 \,) \end{array}$$

бўлиб,

$$\begin{array}{c} n \, N \, n \, N \\ \alpha \, \alpha = \, = \end{array}$$

$$\mathfrak{,} \, \mathfrak{,}$$

$$\begin{array}{c} ^2 ^1 \\ n \, n \, n \, m \, N \, n \, n \, n \, m \, N \\ + \, - \, + \, - \end{array}$$

$$(\, 1 \,) \, (\, 1 \,)$$

$$\begin{array}{c} ^1 ^2 \\ ^1 ^3 ^2 ^1 ^3 ^2 ^2 \\ ^1 ^1 ^2 ^3 n \, k \, p \, m \, n \, k \, p \, m \, n \, p \, k \, p \, N = - \, + \, - \, = \, - \, + \, - \, = \, + \, - \, (\, 2 \,) \, (\, 1 \,) \, , \, (\\ 2 \,) \, (\, 1 \,) \, , \, (\, (\, 2 \,) \, \text{сонлари} \end{array}$$

$$\alpha_1 \quad 2) - - - - N$$

$$1 (1) (= ,$$

$$m p p$$

$$\alpha \alpha$$

$$1 2 1$$

$$1 2 1 2 1 2 (1) (2) (1) (2) m p m p - - - = - - - \alpha \alpha \alpha \alpha$$

алгебраик тенгламалар системасини $A B$, ўзгармас сонлар
 ечимларидан ва

$$1 1$$

$$(), (), p k p p k p m m A B A B$$

$$Y Y Y - - - - -$$

$$= =$$

$$1 (2) 1 (2)_{11} 1 1$$

$$p p$$

$$1 2$$

$$p p p$$

$$- -$$

$$1 1$$

$$Y Y Y$$

$$= = =$$

$$p k p m l k p m l$$

$$- - + + - - + + -$$

$$1 (2) 2 (2) 2$$

$$1 2$$

$$1 2$$

муносабатлардан топилади. (19) ечим ИТТЧ хоссасига эга бўлиб, ундан
 Коши масаласидан ташқари бошқа нозизиқли чегаравий масалаларнинг
 глобал ечимга эга бўлишида фойдаланилади.

Бешинчи бобда бундан ташқари қуйидаги
 асимптотикалари ўрганилади. Улар $f(), () \xi \psi \xi$ хос функциялар

$$f() ||| + + = | | | \{ d df df df l f$$

$$\frac{p}{2} \quad \frac{---}{N N m}$$

$$k$$

$$\xi \xi \psi \quad \xi$$

$$1 1 1$$

$$d d d p d$$

$$\xi \xi \xi \xi$$

$$0,$$

усуллари нозизиқли масалаларни сонли ечишда автомодел ёндошув, чизиқсиз ажратиш ва стандарт тенгламалар усулидан фойдаланиб куриб олинган ечимлар асосида ечимнинг бошланғич яқинлашиши билан нозизиқли эффектларни олишда самарали натижа олиш мумкин.

Қуйида икки карра нозизиқли ўзаро реакция-диффузия масаласини сонли ечишда параметрларнинг турли қийматларидаги хисоблаш натижалари келтирилган:

Қийматлар	$t = 1$	$t = 20$	$t = 40$
$m_1 = 0.2,$ $m_2 = 0.2,$ $p = 3.8$ $eps = 10^{-3},$ $k=1$ $\gamma_1 = 2.80,$ $\gamma_2 = 2.80$			

(time1(FRAME + 0),time2(FRAME + 0) time1(FRAME + 20),time2(FRAME + 20)time1(FRAME + 40),time2(FRAME + 40))26

Қийматлар	$t = 1$	$t = 20$	$t = 40$
$m_1 = 1.4,$ $m_2 = 1.4,$ $p = 3$ $k=1,$ $eps = 10^{-3}$			

«Икки карра ночизикли реакция-диффузия системалари жараёнларини математик моделлаштириш» мавзусидаги докторлик диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Автомодел анализ ва солиштириш принциплари асосида бир жинсли ва бир жинсли бўлмаган муҳитда иссиқлик ўтказиш, фильтрация ва реакция диффузия масалалари ночизикли математик моделларини ўрганиш назарияси

27

асосида ечишда сонли модел, ҳисоблаш алгоритмлар ва дастурлар мажмуини қўллашнинг таҳлили уларнинг ўзига хос хусусиятларини белгилайди ва ривожланиш истиқболларини аниқлаб беради.

2. Зельдович-Баренблатт типигаги ечимларни қуриш ёрдамида зичлиги ўзгарувчи муҳитда икки карра ночизикли реакция диффузия модели учун ИТТЧ ва ечимлар локализацияси хоссалари ўрганишда хизмат қилади.

3. ИТТЧ ва ечимлар локализацияси хоссалари тезлиги вақтга боғлиқ ночизикли ҳаракатланувчи муҳитда намоён бўлиши кўрсатилади. 4. Ютилиш ёки манбага эга муҳитда реакция-диффузия ночизикли модель учун локал тўлқин структураси юзага чиқиши кўрсатилади. 5. Икки карра ночизикли, зичлиги ўзгарувчан, реакция-диффузия математик модел учун ИТТЧ ва ечимлар локализацияси хоссалари ўринли эканлиги кўрсатилади.

6. Икки карра ночизикли реакция-диффузия автомодел тенгламалар системаси ечимлари учун blow-up хоссалари ўринли эканлиги кўрсатилади. 7. Икки карра ночизикли автомодел тенглама ёки тенгламалар системасининг компакт юритувчилик ва чексизликда нолга айланувчи кучсиз ечимлари асимптотикаси қурилади.

8. Икки карра ночизикли, манба ёки ютилишга эга бўлган реакция диффузия жараёнларининг бундай масалалари глобал ечимга эга бўлиши исбот қилинади.

9. Икки карра ночизикли, манба ёки ютилиш, ҳамда конвектив кўчишга эга бўлган реакция-диффузия жараёнларининг бундай масалалари учун критик экспонента топишнинг универсал алгоритми қўлланилади.

10. Ночизикли кросс-диффузия системаси учун ИТТЧ ва фазовий локализация хоссаларига эга бўлган Зельдович-Баренблатт типигаги ечимлар қурилади.

11. Ишлаб чиқилган дастурий таъминот реакция-диффузия системалари ночизикли математик моделларини сифат хоссалари асосида ўрганиш учун компьютерда моделлаштиради.

12. Икки карра ночизикли параболик тенгламалар системаси ечимлари учун ҳисоблаш схемалари, алгоритмлар ва дастурларий таъминот бундай масалаларни назариясини ва сонли ечиш жараёнларини ўрганишда юқори унумдорликка олиб келади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ при ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ и НАЦИОНАЛЬНОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА по ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК 14.07.2016.Т.29.01**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

САДУЛЛАЕВА ШАХЛО АЗИМБАЕВНА

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМ
РЕАКЦИИ-ДИФФУЗИИ С ДВОЙНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ**

05.01.07 – Математическое моделирование. Численные методы
и комплексы программ
(физико-математические науки)

АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Ташкент – 2016

29

Тема докторской диссертации зарегистрирована за №14.07.2016/B2016.3.FM279 в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан.

Докторская диссертация выполнена в Национальном университете Узбекистана и Ташкентском университете информационных технологий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский) размещен на веб-странице Научного совета по адресу (www.tuit.uz) и информационно-образовательном портале «ZIYONET» (www.ziyonet.uz).

Научный консультант: Арипов Мерсаид

доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: Абдурахимов Бахтиёр Файзиевич

доктор физико-математических наук, профессор

Нормуратов Чори Бегалиевич

доктор физико-математических наук, профессор

Имомназаров Холмат Худойназарович

доктор физико-математических наук, профессор (Российская Федерация)

Ведущая организация: Самаркандский государственный университет

Защита диссертации состоится «__» ноября 2016 г. в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета по присуждению ученой степени доктора наук 14.07.2016.Т.29.01 при Ташкентском университете информационных технологий и Национальном университете Узбекистана. (Адрес: 100202, Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz)

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер ____). Адрес: 100202, Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz

Автореферат диссертации разослан « » ноября 2016 года.
(протокол рассылки № от « » ноября 2016 г.)

Р.Х.Хамдамов

Председатель Научного совета по присуждению
учёной степени доктора наук, д.т.н.,

М.С.Якубов

Ученый секретарь Научного совета по присуждению
учёной степени доктора наук, д.т.н., профессор

Н. Равшанов

Председатель Научного семинара при Научном
совете по присуждению
учёной степени доктора наук, д.т.н.,

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. На сегодняшний день в мировой практике области естественных наук в разработке методов повышения эффективности системы управления процессов реакции-диффузии изучение нелинейных математических моделей считается одним из актуальных задач. По данным базы Elsevier количество научных работ ученых во всем мире, посвященных исследованию нелинейного уравнения реакции-диффузии, также задачи Коши и граничных задач для этого уравнения, практическому применению результатов исследования постоянно растет.

В Республике Узбекистан проведены широкомасштабные работы по эффективной организации мероприятий, посвященных созданию автоматизированных систем для компьютерной визуализации диффузионных процессов, по математическому моделированию процессов диффузии, описываемых нелинейными уравнениями с двойной нелинейностью в неоднородной среде. С этой точки зрения, проводится ряд научно исследовательские работы, посвященные усовершенствованию методов исследования и визуализации нелинейного процесса, по созданию автоматизированных систем производства, которые играют важную роль в изучении математических моделей нелинейных процессов.

В настоящее время в мире ряд фундаментальных проблем требуют математическое моделирование нелинейных процессов, усовершенствование способов и средств визуализации, также, применение к практике полученных важных результатов задач реакции-диффузии с двойной нелинейностью. В настоящее время по изучению уравнений с двойной нелинейностью и практическому применению, проведение целевых научных исследований по нижеследующим направлениям считается одним из важных задач: разработка способов визуализации при изучении нелинейных моделей; создание программных комплексов, помогающих изучению нелинейных процессов; создание технологию проведения вычислительного эксперимента, контроля эволюции процесса по времени, создание компьютеризированной системы определения свойств, зависящих от динамики изменения параметров.

Научные исследования, выполняемые по вышеперечисленным направлениям научных исследований, указывают актуальность темы данной диссертации.

Исследования данной диссертации, в определенной степени, служат для реализации поставленных задач во всех нормативно-правовых актах по данной деятельности, постановление Президента Республики Узбекистан от 21 марта 2012 года № ПП-1730 «О мерах по дальнейшему внедрению и развитию современных информационно-коммуникационных технологий», от 15 декабря 2010 года № ПП-1442 «О приоритетах развития промышленности Республики Узбекистан в 2011-2015 годах», постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 1 февраля 2012 года № 24 «О мерах по созданию условий для дальнейшего развития компьютеризации и

31

информационно-коммуникационных технологий на местах», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии приоритетного направления развития науки и технологий республики IV. «Развитие информатизации и информационно коммуникационных технологий».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации¹.

Научные исследования, направленные численному решению нелинейных задач, исследованию существования глобальных решений типа Fujita для разных нелинейных задач, явлению конечной скорости распространения температурных возмущений (КСРВ), исследованию качественных свойств автомодельных решений, пространственной и эффективной локализации неограниченных решений (blow-up), оценке решения и свободной границы в различных функциональных пространствах осуществляется в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе, North Carolina, Berkeley, California State University (США), Tokyo, Osaka, Nagoya, Fukuoka University (Япония), Autonomous University of Madrid (Испания), Tel Aviv University (Израиль), Chongqing, Changchun University (Китай), Paris Mathematics Center (Франция), Mathematical Institute of Leiden (Голландия), Technical University of Budapest (Венгрия), Институт прикладной математики, Московский государственный университет (Россия), Математический институт и Институт прикладной математики Грузии, Институт математики и вычислительной математики Болгарии, в Донецком институте математики и механики (Украина), Национальный университет Узбекистана, Самаркандский государственный университет, Ургенчский государственный университет, центр разработки программных продуктов при Ташкентском университете информационных технологий (Узбекистан).

В результате исследований, проведенных в мире, относящихся по определению новых свойств, связанных с нелинейными дифференциальными уравнениями и системами уравнений, численному решению и усовершенствованию способов визуализации, получены ряд научных результатов, в том числе: разработан алгоритм оценки решений задач моделирования процессов реакции-диффузии с двойной нелинейностью в разных пространствах (North Carolina, California State University), доказано

существование глобальных решений задач с двойной нелинейностью типа H.Fujita (Tokio University), классифицированы свойства функций, соответствующих неограниченным решениям задач с двойной нелинейностью (Институт прикладной математики Российской Академии Наук), определена критическая экспонента для полулинейных систем (Autonomous University of Madrid), получены решения с помощью ⁻¹ Обзор международных научных исследований по теме диссертации основан на работах Department of Physics, University of California, Berkly, California 94720, USA, Department of Aerospace Engineering, Department of Energy Engineering and Science, Nagoya University, Nagoya, Japan и др.

32

автомодельного метода, при изучении свойства двухкратных нелинейных задач (Chongqing, Changchun University).

В мире при моделировании нелинейных процессов по численно аналитическому изучению дифференциальных уравнений параболического типа, разработке способов и средств визуализации по ряду приоритетных направлений проводится исследования, в том числе: нахождение глобального решения типа Fujita для нелинейных задач; определение конечной скорости распространения возмущений; нахождение автомодельных решений; нахождение пространственной локализации для неограниченных (blow-up) решений; оценка решения и свободной границы в различных функциональных пространствах; совершенствование методов для численного решения нелинейных задач и разработка программного комплекса для визуализации нелинейного процесса.

Степень изученности проблемы. Свойства пространственной локализации и конечной скорости распространения возмущений, для моделей теплопроводности, фильтрации, диффузии вместе с решениями типа Зельдовича-Баренблатта были изучены Мартинсоном и Павловым. С этого периода было уделено большое внимание широкомасштабным исследованиям над нелинейными математическими моделями, доказательству для других нелинейных математических моделей и изучению их различных новых свойств. Также найдены применение изучаемых математических моделей в нелинейные процессы, встречающихся в разных отраслях, и найдены новые эффекты, несвойственные линейным уравнениям.

Количество опубликованных научных работ по нелинейным задачам в последние 20 лет, показывают высокий интерес к этому направлению. Научные исследования, посвященные существованию глобальных решений типа Fujita проводились в университете Tokyo (H.Fujita, X.Y.Chen, H.Matano, M.Mimura), в университете Nagoya (M.Sugimoto), в университете Osaka (Y.Naito), в университете North Carolina (C.V.Pao, W.H.Ruan), в California State University (L.A.Caffarelli, A.Friedman, B.Mcleod); по уравнениям L_p Лаплас и PME, обобщенные случаи, также по критическим экспонентам в Autonomous University of Madrid (научная школа под руководством J.L.Vazquez), в Axen University (Germany) (M. Winkler), в Politecnico di Milano (G. Grillo, M. Muratori), во многих университетах Китая, в том числе в Chongqing, Changchun University (J.Wu, J.Yin, H.Li, J.Zao, P.Zeng, C.Mu, D.Liu, Sh.Zhou, M.X.Wang, C.H.Xie); полулинейными системами в Complutense University (Spanish) (M.Escobedo, M.A.Herrero, M.Fila.), в Tel Aviv University (H.A.Levine, S.Kamin); изучение условий существования

решений в различных функциональных пространствах для нелинейных параболических задач и получение оценок решений выполнялись в Paris Mathematics Center (G.L.Leons и его ученики); изучением новых качественных свойств нелинейных математических моделей занимаются в институте прикладной математики Российской Академии Наук и в Московском государственном университете (А.П.Михайлов, В.А.Галактионов, Е.Куркина), в Институте математики и вычислительной

33

математики Болгарии (С.Н.Димова, М.С.Костешиев, М.Ж.Колева) ведутся широкомасштабные научные исследования.

При исследовании нелинейных уравнений и процессов, связанных с ними, собственно, в изучении свойств уравнений типа Кортвега де Фриза предложены новые современные методы математиками Ургенчского Государственного университета А.Хасановым, Г.Уразбоевым и А.Яхшимуратовым и создана аналитическая теория; работы А.С.Расулова и его учеников направлены решению нелинейных процессов статистическим моделированием, работы Н.Мухитдинова, А.Бегматова, Б.Хужаярова, Н.Равшанова, И.Алимова, И.Хужаева направлены численному решению нелинейных задач фильтрации на основе линеаризованных уравнений применительно к задачам нефти и газа; а в работах М.Арипова и его учеников (Т.Каюмов, Д.Эшматов, А.Хайдаров, Ж.Мухаммадиев, Ш.Сеттиев, А.Матякубов, З.Рахманов, Д.Мухаммадиева) изучены разные виды решений, построенные на основе автомодельного и приближенно автомодельного подходов, новые свойства нелинейных математических моделей, асимптотика решений обобщенного уравнения и систем типа Эмдена Фаулера. Свойства математических моделей, описываемых вырождающимися параболическими уравнениями и системами с учетом переменной плотности, с конвективным переносом и источником в настоящее время недостаточно изучены.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами выполненной высшего образовательного учреждения. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ фундаментальных проектов Ташкентского государственного технического университета по теме: ОТ-Ф1-125 «Компьютерное моделирование, визуализация нелинейных процессов, описываемые уравнениями и системами типа реакции-диффузии и Клейна-Гордона, некорректные задачи для абстрактных дифференциальных уравнений» (2009-2011), ЁФ-4-10 «Численное моделирование систем биологической популяции типа Колмогорова – Фишера» (2013-2014), ИТД 5-44 «Численное моделирование взаимной систем биологической популяции типа Колмогорова – Фишера» (2015-2017).

Целью исследования является математическое моделирование процессов фильтрации, реакции-диффузии, распространения тепла, жидкости и газа, определяемых вырождающимися параболическими и системами уравнений в среде с двойной нелинейностью при переменной плотности с учетом влияния источника или поглощения с помощью автомодельных методов.

Задачи исследования:

обосновать существование КСРВ и пространственной локализации в рамках математической модели систем реакции-диффузии с двойной нелинейностью и с переменной плотностью;

построить глобальное решение задачи Коши для модели реакции диффузии с двойной нелинейностью с источником или поглощением;

34

получить асимптотику решения со свойством blow-up для одного и системы уравнений реакции-диффузии с двойной нелинейностью; установить асимптотическое поведение обобщенных решений с компактным носителем автомодельного уравнения и систем с двойной нелинейностью;

разработать алгоритм определения значения критической экспоненты для уравнения и системы реакции-диффузии с двойной нелинейностью с источником или поглощением и конвективным переносом;

построить решение типа Зельдовича-Баренблатта для системы взаимной диффузии с двойной нелинейностью с источником и конвективным переносом и доказать свойства конечной скорости распространения возмущения КСРВ и пространственной локализации;

на основе свойств, изученных нелинейных математических моделей построить итерационный процесс, который приводит к быстрой сходимости итерационного процесса. Разработать методы решения численного моделирования нелинейных задач, описываемых одним вырождающимся уравнением параболического типа и системой таких нелинейных влияния внешних факторов и нелинейности среды (переменная плотность, проводимость среды, конвективный перенос и др.);

разработать комплекс программ и провести вычислительный эксперимент, позволяющий визуально исследовать нелинейные процессы, описываемые одним и вырождающимися параболическими уравнениями системами.

Объектом исследования являются нелинейные процессы, систем реакции-диффузии в одно- и двухкомпонентных средах.

Предмет исследования составляет исследование влияние внешних сред на решение нелинейных систем уравнений с двойной нелинейностью, в том числе, в изучении распространения возмущений в задачах теплопроводности, фильтрации жидкости и газа, диффузии в одно- и двухкомпонентных средах, биологической популяции, описываемых вырождающимися уравнениями и системами с двойной нелинейностью, под воздействием нелинейного источника или поглощения, конвективного переноса, переменной плотности, разработка методики практической реализации теории, численные методы, вычислительные алгоритмы компьютерного решения изучаемых процессов.

Методы исследования. В диссертации применены автомодельные методы, принципы сравнения решений, методы оценки решений, численные методы и методы проведения вычислительного эксперимента.

Научная новизна исследования заключается в следующем: определена асимптотика решений со свойством blow-up для уравнения и

системы реакции-диффузии с двойной нелинейностью в среде переменной плотности свойства КСРВ и пространственной локализации; построено глобальное решение задачи Коши для модели реакции диффузии с двойной нелинейностью с источником или поглощением; разработаны методы оценки решения и фронтов для класса систем и

35

уравнений с двойной нелинейностью, асимптотические выражения обобщенных решений с компактным носителем нелинейных вырождающихся автомодельных уравнений и систем;

определены решения типа Зельдовича-Баренблатта и на их основе изучены свойства КСРВ и пространственной локализации для системы взаимной диффузии с двойной нелинейностью с источником и со свойством конвективного переноса, разработаны алгоритмы критической экспоненты;

на основе свойств, изученных нелинейных математических моделей, построены сходящиеся итерационные процессы;

осуществлено численное моделирование одно или систем нелинейных уравнений, учитывающих свойств рассматриваемой среды и внешних факторов (переменной плотности, пропускаемость среды, конвективный перенос и др.).

Практические результаты исследования заключаются в следующем: на базе качественных исследования свойств решений, разработан программное обеспечение, позволяющий изучение нелинейных процессов визуально, описываемых одной и системой нелинейных вырождающихся параболических уравнений;

на основе этих программ проведен вычислительный эксперимент, позволяющий наблюдать за эволюцией процесса по времени, в зависимости от значения числовых параметров.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновывается доказательствами и полученными результатами и численно подтверждены с помощью вычислительного эксперимента. Приведен численный анализ решений, с помощью полученных оценок решений и это подтверждается утверждением правильности вычислительных методов, основанных автомодельному анализу, эталонным уравнениям, также методам, предложенным в диссертационной работе.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в том, что при решении аналогичных задач могут быть применены свойства blow-up, существование глобальной разрешимости задачи Коши для нелинейных математических моделей, а также полученные результаты могут быть применены в исследовании задач нелинейной диффузии в одно- и двухкомпонентных средах, задач биологической популяции типа Колмогорова-Фишера, в теории горения, в фильтрации жидкости и газа, в задачах теплопроводности.

Практическая значимость полученных в диссертации результатов заключается в том, что предложенные методы и программы могут применяться при проведении вычислительного эксперимента для решения задач нелинейных процессов фильтрации, теплопроводности, диффузии в

нелинейной среде, движения подземных вод.

Внедрение результатов исследования. Полученные результаты в процессе диссертационного исследования практически внедрены в следующих направлениях:

36

Полученные оценки для глобального решения уравнения реакции диффузии с двойной нелинейностью использовался в проекте DMS-1401316 для построения глобального решения нелинейных задач (Справка «California State University» от 29 октября 2016 года). Применение научных результатов служили для визуализации нелинейных процессов;

решения системы реакции-диффузии с двойной нелинейностью для уравнения Кортевег де Фриза с источником в гранте ОТ-Ф1-002 «Прямые и обратные спектральные задачи для квадратичных пучков операторов Штурма-Лиувилля» использовались для построения решений нелинейных уравнений и систем, при определении их свойств (Справка Комитета по координации развития науки и технологий ФТК-03-13/744 от 3 ноября 2016 года). Применение научных результатов позволяли доказать существование глобальных решений задачи Коши;

метод нелинейного расщепления, метод прогонки для задач нелинейной фильтрации, модель и алгоритм решения использованы в проекте ФА-Ф4-Ф042 «Разработка и исследование гидродинамической модели фильтрации неоднородной жидкости в пористой среде» применены для математического моделирования нелинейных процессов, построения их решений и изучение их свойств (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан 33-8/6160 от 10 ноября 2016 года). Применение научных результатов конечная скорость распространения возмущений, пространственная локализация позволяли решать задачи фильтрации неоднородной жидкости в пористой среде, в том числе, изучение фильтрации суспензий с коагуляцией и суффозией.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования доложены на 36 научно-практических конференциях, в том числе, на 19 международных: «Современное состояние и пути развития информационных технологий» (Ташкент, 2008), «Интегральные уравнения-2009» (Киев, 2009), «Современные проблемы газовой и волновой динамики» (Москва, 2009), «Вычислительные технологии и математическое моделирование» (Ташкент, 2009), «Control and Optimization in Dynamical Systems – CODS-2009» (Ташкент, 2009), «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных Технологий – Аль Хорезми 2009» (Ташкент, 2009), «Предельные теоремы теории вероятностей и их приложения» (Ташкент, 2011), «Progress in Analysis and its Applications» (London, 2009), «The IV congress of the Turkish World Mathematical Society» (Baku, 2011), «The Vth World Congress of Engineering and Technology, WCET-2012» (Almaty, 2012), «Актуальные проблемы математического анализа» (Ургенч, 2012), «Интеллектуальные Системы для Индустриальной Автоматизации, WCIS–2012» (Ташкент, 2012), «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий - Аль-Хорезми 2012» (Ташкент, 2012),

«Современные проблемы дифференциальных уравнений и их приложения» (Ташкент, 2013), «Амалий математика ва ахборот хавфсизлиги» (Ташкент, 2014), The Vth Congress of Turkish World Mathematicians (Bishkek, 2014),

37

международный семинар проф. Сугимото Мицуру (Университет Нагоя, Япония, 2013), The International Congress of Mathematicians (Seoul, 2014), «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий - Аль-Хорезми 2014» (Ташкент, 2014), «Неклассические уравнения физики и их приложения» (Ташкент, 2014), «Радиотехника, телекоммуникация ва ахборот технологиялари: муаммолари ва келажак ривожлари» (Ташкент, 2015), «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании» (Алмата, 2015).

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы всего 36 научных работ, из них 14 журнальных статей, в том числе 6 в иностранных, 8 в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, приложений. Объем диссертации составляет 197 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Свойства математических моделей выражающимися уравнениями с двойной нелинейностью**» рассмотрена математическая модель, описываемая вырождающимися параболическим уравнением с двойной нелинейностью общего вида и доказаны условия при котором имеет место нелинейное явление КСРВ, пространственная локализация решения, асимптотика решений с компактным носителем в случае медленной и быстрой диффузии приведены условия вычисления. Также исследовано влияние конвективного переноса переменной плотности на эволюцию процессов нелинейной теплопроводности, диффузии, фильтрации жидкости и газа и эволюционному процессу движения грунтовых вод.

Рассматриваемая задача Коши для уравнения с двойной нелинейностью

$$p_{u^{mkl}} A u x x u u u$$

$$\partial_{t_2}^{(0)} \left(\begin{pmatrix} \cdot \\ \cdot \end{pmatrix} \right)$$

$$t \quad = \geq \in > (2) =$$

распространения тепла, фильтрации жидкости и газа, диффузии в среде с p_{mk}^l

переменной плотностью медленной диффузии
 $\rho \rho x x x x = =$. Уравнение (1) является $(k p m (2) 1 0 - + - >)$,

быстрой диффузии $(k p m (2) 1 0 - + - <)$, $(m k l = = = 1, 1)$
 р-Лаплас уравнения

особенностью этой задачи является, то, что в $u = 0$ или области, где $\nabla = u = 0$

Впервые Б.Зельдович и А.Компанеец, рассмотрев задачу о мгновенном источнике для нелинейного уравнения теплопроводности (1) в частном случае, когда $\alpha = 0$, построили обобщенное решение,

обладающее свойством конечной скорости распространения возмущения (КСРВ): $\|(\cdot)_{x,l} t\| \geq 0$, где $0(\cdot)(0, \cdot) < \infty$ место в

линейном случае ($k l = 1$, $_{21} \rho \rho () () 1 x x =$) изучали

частном случае, когда в (1)

его ученики в 2004-2013 годах получили условия на числовые параметры и

В диссертации, на основе автомодельного подхода, найдено следующее решение типа Зельдовича-Баренблатта

Теорема 1. Пусть в уравнение (1) $k p m l (2) 2 0 - + + - > n N p n < > ,$

$$(0, \infty) \times (0, \infty), \quad N$$
$$u x z x (t, Q.) (t,), \leq_B$$

Теорема 2. Пусть в уравнении (1)
 $k p m l (2) 2 0 - + + - >, n N p n < >$

Тогда решение задачи (1),(2) обладает свойством КСРВ, если

$$(0,) (0,), .^N$$

$$u x z x x R \leq \in$$

С помощью теоремы 1 показано выполнение свойства пространственной локализации решения задачи (1), (2). В диссертации показано также, выполнение этого свойства при воздействии поглощения и конвективного переноса, когда скорость зависит от времени. Доказано, что условием пространственной локализации является

$$k p m l v y dy t - + + - > <^{\infty} \forall > \int$$

$$(2) 2 0, () 0,$$

$$()$$

$$0$$

$v t()$ – вектор скорости конвективного переноса.

где

Рассмотрим следующую автомодельную задачу:

$$(\quad) \quad (4)$$

$$\xi \alpha_{\xi \xi}$$

$$s s m d d f d f f f$$

$$k p - 2$$

$$1 1 1 0 ,$$

$$d d d p d k p m$$

$$\xi \xi \xi \xi \alpha$$

$$1 ((2) 1)$$

$$f c f d d (0) 0, () 0, , = > = <^{\infty} f f'(0) 0, () 0, = \infty = (5)$$

Обобщенное решение задачи (4),(5) с компактным носителем существует в классе

$$p -2$$

$$d f d f f f C$$

$$s m k l$$

$$1 1 0 (), (0,) \xi \xi$$

$$-- \leq \in d d (6)$$

$$\xi \xi$$

и удовлетворяет интегральному тождеству

$$p -\infty 2 ()$$

$$\begin{aligned}
& \frac{df}{ds} \frac{df}{ds} s_{kl} f_y f_y dy \\
& + + = | | \int \\
& \alpha \\
& \frac{d}{\xi} \frac{d}{\xi} p k p m \\
& \frac{1}{1} \frac{1}{1} \xi \\
& \frac{1}{1} \frac{1}{1} \xi \\
& 1 \left((2) 1 \right) 0 \\
& (7)
\end{aligned}$$

Такие обобщенные решения впервые исследованы в авторами В.Н.Gilding и L.A.Pelettier, и получено условие существования решения задачи (4), (5) с компактным носителем $s \ l = 1$. носителем в случае, когда в (4)

В диссертации для процесса медленной диффузии доказывается следующая основная теорема:

Берем следующую функцию

$$\begin{aligned}
& p p f a a c \\
& \frac{1}{1} \\
& - 1 \\
& () , , , \cdot \xi \xi \gamma \gamma \\
& = - = = = \\
& \frac{1}{1} \\
& () \\
& \frac{1}{1} \\
& (8) \\
& p k p m l \\
& - - + + - \\
& 1 (2) 2 \\
& 1 1 +
\end{aligned}$$

Теорема 3. Пусть $k p m l (2) 2 0 - + + - >$. Тогда решение задачи (4), (5) с компактным носителем при

представление

$(1) p p \eta \xi a \rightarrow \infty \rightarrow$ имеет асимптотическое

$$pp^{(1)(2)2} = \{ ||| | | | \cup - + + - || | | \cup \} c_{pkp}$$

1

$$Y_1$$

()^y 2) 2
p k p m l - - + + - 1 (

Теорема 4. Пусть $(2)_{20,0}^{kpmlps}_{kpml}$

(быстрая диффузия). Тогда исчезающее на бесконечности решение задачи (7) при представлении $f \in C(\mathbb{R}^n)$ имеет вид

асимптотическое

$$\begin{array}{c} - + + - () - + + - - () - \\ k p m l p p \\ (2) 2 1 1 1 \end{array}$$

$$^2_{(1)2}$$

$\mathcal{C}$

α

 ∂

∂_t

Решение этой задачи имеет вид

$${}^{(\cdot)}\eta$$

1
1
1 (2) 2 При этом здесь автомодельная
переменная 0
p k p m l
- - + + -
() / [()]

$$= - + - | | \cup$$

() (2) 1 .

$$\begin{array}{c} N \\ \alpha \\ - + \leq \\ 0 \\ p k p m l \\ 1 ((2) 2) \end{array} \quad \begin{array}{c} p \\ (0,) (0,),^N \\ - - + + - \\ \alpha \\ v \end{array}$$

Теорема 5. Пусть выполнены условия

И
 $u x z x x R \leq \infty$ где

η
 $(\)^{\alpha\gamma}$
 $z t x T t a b (,) [] ,$
 $= + -_{11} b , , \forall \forall$ -определенные выше числа. Тогда для
 решения и фронта оценки $()_{\phi}$
 $u t x (,)$ задачи (9),(10) справедливы

41

$$\begin{aligned}
 & \int_{\tau}^t v y d y t v t t = + \forall > \tau () [()] \\
 & () , 0 \\
 & \int_{\tau}^t v t () , < \infty_1 \\
 & \text{Если же}
 \end{aligned}$$

то имеет место пространственная локализация решения.

В заключении первой главы приводятся вычислительные схемы, основанные на схему Кранка-Никольсона метода переменных направлений. Задача решается методом прогонки. Выбор начальных приближений для итерационного процесса при численном моделировании основывается на качественных свойствах решений, полученных в предыдущих параграфах. Результаты вычислительных экспериментов показывают эффективность предложенного способа исследований нелинейных математических моделей и подтверждаются результатами вычислительного эксперимента.

Во второй главе диссертации «**Пространственная локализация и конечная скорость распространения возмущений волновых решений в среде с двойной нелинейностью**» найдены решения в виде пространственно локализованных температурных волн, при воздействии конвективного переноса, скорость которого зависит от времени и поглощения, как в случае одно- компонентной, так и в случае двухкомпонентной среды. Показано, что в рассматриваемых задачах совместное действие объемного поглощения и

$$\begin{aligned}
& -\partial_- \\
& {}^p u^m k D u u u n u u \\
& = \nabla \nabla \nabla + - \\
& \quad \quad \quad 1 \quad \quad \beta \quad \quad 0^1, \\
& \quad \quad \quad () ()
\end{aligned}$$

$$t$$

Под волновым решением понимается решение уравнения (11) в форме

$$u x t f x c t = + \xi \xi \sum (12)$$

функция автомодельного уравнения

где c -скорость волны. Неизвестная $f(\xi)$ находится из решения

Фишер, рассматривая уравнение (11) в одномерном случае, когда в (11) $N p m = = = 1, 2, 1, 1 \beta$, показал что оно имеет бесконечное число решений типа бегущей волны, для которых $0 1, \leq \leq u c$ волновыми скоростями

$$\min c c n D \geq = 2 .$$

А.Н.Колмогоров, И.Г.Петровский и Н.С.Пискунов (КПП) в более общем случае доказали, что (11) имеет единственное решение, и это решение через решение (13) имеет вид (12) монотонной бегущей волны, обладающей скоростью $\min c c =$.

Для модели Р.Фишера, Н.Колмогорова, И.Г.Петровского и Н.С.Пискунова (ФКПП) в критическом (резонансном) случае, когда в (1) $d x t$

$$k p m l (2) 2 0 - + + - =, \quad c t \quad () \quad = \text{и глубины } dt$$

распространения волны получена

$x t ()$ при достаточно больших t , нами

$$\text{оценка} \quad \frac{1/}{p} \ln 2 \ln ()$$

$$\left[\left[\left(\right) \right] \right] - + \left| \left(\right) \right| \left| \right| +$$

$$x t p n k l D t \quad N \quad T t$$

$$() 1 , \quad 1/2 2/$$

$$\frac{p}{p p} \quad p$$

$$() \quad \left| \right|$$

$$0 2 / p$$

$$t \quad \left| \right| \left[\right]$$

$$p d x t^{p p} c t n D k l t$$

$$()$$

$$1/2 2/1$$

$$-- = \cong () 2 . ()$$

$$dt \quad 0$$

$$p l = = 2, 1, \text{ скорость}$$

Отсюда, в частном случае

уравнения (11),

распространения волны для достаточно больших времени, будет равным $d x t$

$$()$$

$=$, и это в свою очередь, совпадает с результатом ФКПП. $c n D$

$$dt \quad 2 \quad 0$$

В параграфе 2 найдены решения в виде локализованных

температурных волн для уравнения реакции-диффузии с конвективным переносом, поглощением и источником

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\rho u^m k l \operatorname{div} u u u \operatorname{div} v t u t u \right) = \nabla \nabla - + = \pm \left(\right) \left(\right), 1.$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\right) \left(\right) \epsilon \gamma \epsilon \beta$$

Показано, что в рассматриваемых задачах совместное действие объемного поглощения и конвективного переноса тепла приводит к остановке фронта температурной волны, если выполнены условия

$$k p m l - + + - > - < \infty \forall > c t v y dy t \tau$$

$$(2) 2 0, () () , 0,$$

$$\int_0$$

43

т.е. волновые решения уравнения пространственно локализованы. Далее установлено, что локализация теплового возмущения может возникать даже при отсутствии поглощения и конвективного переноса, например, в случае выполнения условий

$$k p m l b y dy t - + + - > < \infty \forall > \int$$

$$(2) 2 0, () , 0,$$

0

и когда коэффициент теплопроводности

$$1^1 ()^p m k^l b t u u u$$

- ∇ зависит явно от

времени.

Показано, что вышеизложенные свойства имеют место также для систем уравнений с двойной нелинейностью, описывающих процессы реакции диффузии, теплопроводности, фильтрации и другие процессы и получена асимптотика автомодельных решений. В частности, для системы

$$\left\{ \begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} u u u u v l t t u \\ & \frac{\partial}{\partial t} x x x x \end{aligned} \right\}$$

$$m \frac{1}{-} 1 \frac{p}{-} 2 () () ,$$

$$\gamma_1$$

под совместным воздействием объемного поглощения и конвективного переноса найдено условие пространственной локализации решений и приведена асимптотика финитных волновых решений.

Теорема 6. Допустим, что $\lim_{t \rightarrow \infty} p(t) = +\infty$. Тогда решение выше

$$f a i b b c t x t v y d y \xi \xi \top \top = - = - = () () , 1, 2, () \max (0,) , () , ()$$

$$++ \int i$$

$$\begin{array}{cccccc} p & p & m & p & p & m \\ - & - & + & - & - & + \\ 1 & (1) & 1 & (1) & & \end{array}$$

$$\begin{pmatrix} (&) & (&) & (&) \end{pmatrix} \begin{matrix} 2 \\ 1 \end{matrix} \begin{matrix} 2 \\ 2 \end{matrix}$$

1 2 1 2

() ()

12,

В области, где $u = 0$ или $\nabla u = 0$ уравнение (14) вырождающимся. Поэтому исследуются обобщенные решения. Большие затруднения при численном моделировании процесса, описываемой уравнением (14), вызваны тем, что обычные численные схемы непригодны для исследования вырождающихся нелинейных задач. Поэтому для численного решения задачи и визуализации процесса, описываемой уравнением (14), предлагается, сначала изучить качественные свойства решений, такие как глобальная разрешимость, конечная скорость распространения возмущений, локализация решения, асимптотика решения, поведение свободной границы в зависимости от значений параметров уравнения и начального распределения. При этом доказана теорема о глобальной разрешимости. Для этого вводятся следующие функции

$${}^1/(\,,\,)(\,)(\,,\,)/[\,(\,)]\,,^p$$

$$z\,t\,x\,u\,t\,f\,x\,t==\xi\,\xi\,\tau$$

$$a b k p m l \left| \begin{smallmatrix} - & - & + & + & - & + \end{smallmatrix} \right|, \text{ если } (2) 2 0,$$

Теорема 7. Пусть выполнено условие ${}^{k p m l} N$

$(\cdot)(0, \cdot),^N$
 $u(x,z,x)R \leq \in$. Здесь функция $\begin{pmatrix} 2 \\ - + + - \end{pmatrix}$
 и
 0
 $u(t(\cdot))$ – решение уравнения $k p m l$

$$u(t)u(t)^\beta = -\gamma a(\cdot)(\cdot),_t \quad = \int \quad \begin{matrix} - \\ - \end{matrix} \quad \begin{matrix} t \\ 1 \end{matrix} u(t) dt^\beta \quad (\cdot)[(\cdot)] .$$

Тогда задача (14), при достаточно малых данных глобально разрешима. Из этой теоремы, при и частных значениях числовых параметров, вытекают все ранее известные теоремы о глобальной разрешимости (Х.Фуджита, А.А. Самарский, С.П. Курдюмов, А.П. Михайлов, А.Ф. Тедеев, М. Арипов).

В конце главы приводятся методы численного решения рассматриваемых задач. Для численной реализации математической модели схема Писмена-Речфорда, которая свойственна для решения таких задач процессов реакции-диффузии с двойной нелинейностью была использована [

— — —

$$\begin{aligned} & \begin{matrix} y y y y y \\ 111 \end{matrix} & & = \Lambda + \Lambda - - + \\ & & & \\ & \begin{matrix} y y v v \\ k k k k k k \\ + + + \\ 222 \end{matrix} & & \\ & \begin{matrix} i j i j k i j i j i j k k k \\ , , 1 , , , 1 , \end{matrix} & & \\ & & & + + + \\ & \begin{matrix} || & \tau & h h_{12} \\ 0.5 & \cdot & \begin{matrix} 2 \\ 12 \end{matrix} \\ | & \varepsilon \gamma & \begin{matrix} 2 \\ \beta \end{matrix} \\ & + & t y_1 & \begin{matrix} k \\ + \\ 1 \end{matrix} & , \end{matrix} \\ & \begin{matrix} | \\ (\cdot) (\cdot)_{k i j} \end{matrix} & & \\ & & & + \quad \begin{matrix} 2 \\ , \end{matrix} \\ & & & y y y y y - - - \\ & \{ & & \\ & \begin{matrix} 111 \\ = \Lambda + \Lambda - - + y y v v \end{matrix} & & \\ & & & k k k k k k + + + + + 1 1 1 2 2 2 \\ & & & 111 \\ & | & & i j i j k k i j i j k i j i j k , , 1 , , , 1 , 1 + + + + + \\ & & & h h \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccccccc} || & . & & {}^{1\,2} & & \beta & \\ & & & & {}^{1\,2}t\,y & \frac{k}{+1} & \\ 0.5 & \tau & & & & & \\ | & & + & & \varepsilon \Upsilon & & (\,) (\,)_{k\,i\,j} \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \lfloor \\ \\ \end{array} \begin{array}{c} \text{здесь} \\ + \end{array} \begin{array}{c} , \\ \\ \end{array} {}^1,$$

$$\lceil \Lambda = + + - - \rfloor_{y\,x\,y\,y\,y\,y\,y\,y}$$

$$\begin{array}{c} n \\ m\,p \end{array} \qquad \begin{array}{c} - - \\ 1\,2 \end{array}$$

$${}_{1\,1\,1}1$$

$$k\,k\,k\,k\,k\,k\,k\,k\,++2\,2\,2 \big(\, \big) \big(\, \big) \big(\, \big)$$

$$1\,1,1,,1,,1,,1\,2\,m\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j$$

$$+++++2$$

$$\begin{array}{c} h \\ 1 \end{array}$$

$$\lceil - + + - \rfloor_{x\,y\,y\,y\,y\,y\,y\,y}$$

$$\begin{array}{c} n \\ m\,p \end{array} \qquad \begin{array}{c} - - \\ 1\,2 \end{array} \qquad \begin{array}{c} - - \\ 1\,1 \end{array} \qquad \begin{array}{c} k\,k\,k\,k\,k\,k \\ ++ \\ 2\,2 \end{array}$$

$$,\big(\, \big) \big(\, \big) \big(\, \big)$$

$$\begin{array}{c} i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j \\ ,,1,,1,,1, \\ --- \end{array}$$

$$\lceil \Lambda = + + - - \rfloor_{y\,x\,y\,y\,y\,y\,y\,y}$$

$$\begin{array}{c} n \\ m\,p \end{array} \qquad \begin{array}{c} - - \end{array}$$

$$1$$

$${}^{1\,2}$$

$$k\,k\,k\,k\,k\,k\,k\,k\, \big(\, \big) \big(\, \big) \big(\, \big)_{2,1,1,,1,,1,1\,2\,m\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j\,i\,j}$$

$$+++++2$$

$$\begin{array}{c} h \\ 2 \end{array}$$

$$\lceil - + + - \rfloor_{x\,y\,y\,y\,y\,y\,y\,y}$$

$$\begin{array}{c} n \\ m\,p \end{array} \qquad \begin{array}{c} - - \\ 1\,2 \end{array}$$

$$k\,k\,k\,k\,k\,k\,k$$

, () () ()

$ijijijijijijij$
 $,,,1,,1,,1$
 $---$

46

$$ij n , 1,2,..., 1, 1,2. = - = \alpha \alpha$$

Начальное и граничные условия берутся в следующем

$$\text{виде } \left| = \in \right|$$

$$y u x x$$

0

$$, 0$$

$$(\)$$

$$ij h$$

$$\omega$$

$$\{ = = = y j j n$$

$$k k$$

$$++$$

$$1 1$$

$$ij$$

$$\phi$$

$$, 2 1 1$$

$$= = = \left| , \text{ если } i 0 \text{ и}$$

$$y i n$$

$$\left|$$

$$k k$$

$$++$$

$$2 2$$

$$ij$$

$$\phi$$

$$, 1 k k k k T$$

$$1$$

$$\phi \phi \phi \phi \phi ^{++} = + - \wedge -$$

$$1 1$$

$$(\) (\)$$

Здесь

$$2$$

$$2 4$$

Для точности итерации требуется выполнение следующего

$$\text{условия } s s$$

$$+$$

$$1$$

$$y y \epsilon$$

$$\max .$$

$$- <$$

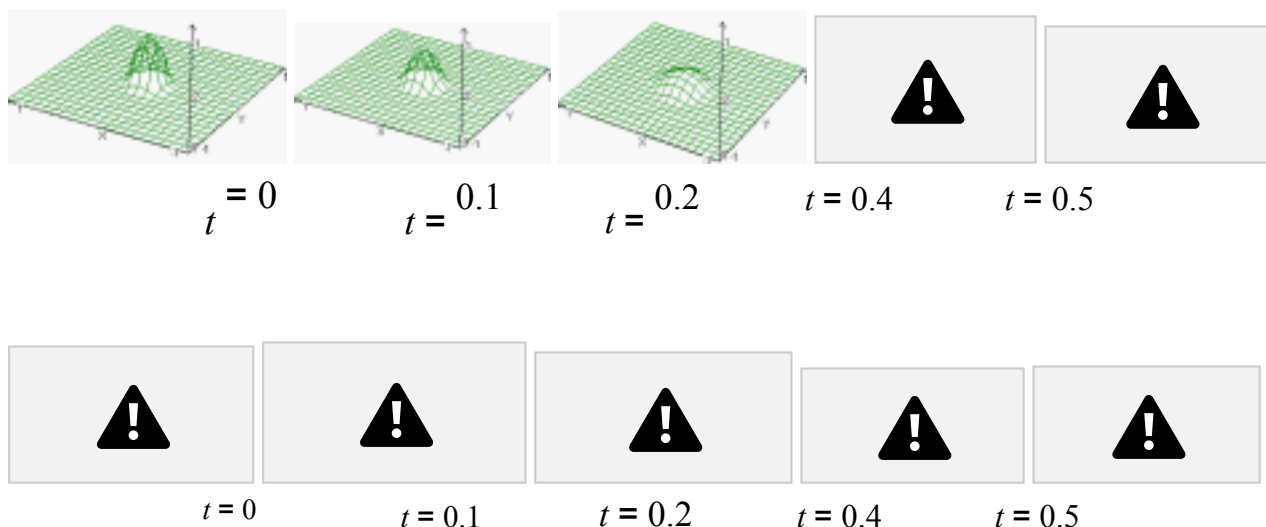
$$'' 0$$

$$ij ij i n$$

$$0 \leq \leq \leq \leq 1$$

$$j n 2$$

Ниже приведены результаты вычислений для
 $m p = -2, 2.5, 0.5, 1$ $\beta m p = +2, 2.5, 0.8, 1$ ϵ :
 ϵ и



В четвертой главе диссертации «**Численное и асимптотическое исследование системы реакции-диффузии с двойной нелинейностью**» получены условия возникновения явления КСРВ и пространственной локализации, для вырождающихся систем параболических уравнений с двумя нелинейностями при наличии источника и поглощения и переменной плотности в двухкомпонентных нелинейных средах. На основе автомодельного анализа доказаны теоремы о глобальной разрешимости типа Фуджита. Ранее, для полулинейного случая, такой результат был доказан со стороны Эскобедо-Херреро.

Предложен способ, с помощью которого установлен главный член асимптотики в случае медленной и быстрой диффузии и доказано, что коэффициенты главного члена асимптотики находятся из решения некоторой системы алгебраических уравнений.

$$\{(\cdot, \cdot) : 0, \}$$

Рассмотрим в области
 ${}^N Q t x t x R = > \in$ следующую

47

вырождающуюся дважды нелинейную параболическую задачу с неоднородной плотностью:

$$x \operatorname{div} x u u u t x v = \nabla \nabla + =$$

$$\partial u -^2_1 () 0,$$

$$n k p^n m \beta$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right) \gamma$$

$$(15)$$

$$x\,div\,x\,v\,v\,v\,t\,x\,u$$

$$=\nabla\nabla+=$$

$$\partial \qquad \qquad \qquad v \qquad \qquad \qquad ()\,0,$$

$$\qquad \qquad \qquad n\,k\,p^n\,m\,-\,-$$

2_1

$$\beta_{22}$$

$$\partial \qquad \qquad \qquad t$$

$$(\) \qquad \qquad \qquad \vee$$

$$N$$

$$(0,0,0,0,)\,_{00}(\,)(\,)(\,)$$

$$u\,x\,u\,x\,v\,x\,v\,x\,x\,R=\geq=\geq\in\,,\qquad\qquad\qquad\text{функции:}$$

где $n,k\,,\in R_{12}m\,m,1,>_{12}\beta\,\beta,1,\geq p\,2$

$\geq$ заданные числа, $0<(t)\,C(0,+)\,\vee\in\infty\,.\,\nabla-grad\,,$

Введем следующие сравниваемые $(.)\,(\cdot)_x$

$$^{12}u\,t\,x\,T\,t\,f\,v\,t\,x\,T\,t\,T,(\,)(\,),,(\,)(\,),0,^{\alpha\alpha}\xi\,\psi\,\xi_{++}=+=+\geq$$

$$(\,)(\,)$$

где

$$\alpha \qquad \qquad \qquad \beta_i \qquad \qquad \qquad 1 \qquad \qquad \qquad 1,2,\lambda\,\alpha_{iii}=\tau$$

$$+ \qquad \qquad \qquad 1 \qquad \qquad \qquad t\,T\,t^\wedge$$

$$=- \qquad \qquad \qquad , \qquad \qquad \qquad =+1\,(3), \qquad \qquad \qquad -+-=m\,p\,i(\,)(\,)^i$$

$$\qquad \qquad \qquad i \qquad \qquad \qquad 3 \qquad \qquad \qquad 1 \qquad \qquad \qquad \lambda \qquad \qquad \qquad q\,q$$

$$\beta\,\beta_{-ii} \qquad \qquad \qquad - \qquad \qquad \qquad i$$

$$_{21/(1)/(1)}(\,),(,0,^{pppp}fa\,a\,a\,\xi\,\xi\,\psi\,\xi\,\xi^{-}=-=-=->$$

$$(\,)(\,)$$

$$++$$

$$p\,p$$

$$-\,-$$

$$1\,1$$

$$q\,q$$

$$==$$

$$,,$$

$$+-+-(\,)\max(0,).b\,b_+$$

$$=$$

12

$$m\,p\,m\,p$$

$$3\,3$$

12

Теорема 8 (глобальная разрешимость типа Фуджита). Пусть

$$+ - ^{-} > =$$

$$p\,m_i$$

$$\begin{matrix} 3 & \beta \\ k\,n\,p\,n\,N + < < , , 3\,0, m\,p_i +, 1,2, \\ - > ^3 \end{matrix}$$

$$i$$

$$\begin{matrix} i \\ m\,p \\ i \end{matrix} + - \quad 3$$

$$\begin{matrix} \beta_\beta \\ \beta_\beta \\ + - + - < \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 1 \\ + - + - < \\ m\,p\,N \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 1 & \Upsilon\,\tau & m\,p\,N \\ ()(), t\,t\,u & & ()() \\ & & t\,t\,v \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 111(2) \\ \Upsilon\,\tau \\ \beta_\beta \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} p\,n\,k \\ - - + \end{matrix}$$

$$222(2)$$

$$\begin{matrix} 12 \\ 1() \end{matrix}$$

$$\beta_\beta\,_{12}$$

$$- - + 1() p\,n\,k$$

$$\text{и } (0, , 0, , .)_{00} () () ()^N u\,x\,u\,x\,v\,x\,v\,x\,x\,R_+$$

$$_+ \geq \geq \in$$

Тогда для достаточно малых $u\,x\,v\,x_{00} () , ()$ решение задачи (15) следующие оценки допускает

$$u\,t\,x\,A u\,t\,x\,v\,t\,x\,A\,v\,t\,x (, , , ,) \leq (16)$$

$$\leq _{12++} () () () \text{ в } \mathcal{Q},$$

где $u\,t\,x\,v\,t\,x_{++} (, , ,) ()$ определенные свойство КСРВ. выше функции, постоянные. $_{12} A\,A > > 0, 0 -$ Отметим, что из оценки (16) вытекает

$$\Upsilon () 1\,t = , 3\,0, m\,p_i + - >$$

Теорема 9. Пусть в (15)

$$+ - ^{-} > = p\,m_i \quad () + \beta_\beta$$

$$3$$

$$\begin{matrix} 1 \\ a\,a \end{matrix} \quad q\,q\,N -$$

$$\begin{matrix} \beta_i \\ 3 \\ m\,p \end{matrix} \quad , 1,2, \quad i \quad 1$$

$$\begin{matrix} | | + < \\ 1\,2\,1\,1 \end{matrix} \quad , \beta_\beta$$

$$\begin{matrix} + & - \\ 3 & \\ i & \end{matrix} \quad \begin{matrix} \cup & - \\ 1 & 2 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 1 \\ p \end{matrix}$$

48

$$(\) + \beta_{\beta}$$

$$(\) + \beta_{\beta}$$

$$\begin{matrix} 1 \\ , \\ q q N \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} a & a \\ p & n & k \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} | & | & + < \\ \beta & \beta & - \\ 2 & 1 & 2 & 1 \\ 1 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} a & a \\ q & q N - \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} (&) & - & - & + & p & n & k & n & N > & + < , , \\ 2 \end{matrix}$$

$$1 ()$$

$$1$$

$$\begin{matrix} | & | & + < \\ 1 & 2 \end{matrix}$$

$$1 \ 2 \ 1 \ 1$$

$$\beta \ \beta$$

$$(&) -$$

$$(\) + \beta_{\beta}$$

$$\begin{matrix} 1 & 2 \\ 1 \end{matrix}$$

$$p$$

$$q q N$$

$$1$$

$$a \ a$$

$$\begin{matrix} | & | & + < \\ 2 & 1 & 2 & 1 \end{matrix}$$

$$N$$

$$(0, , 0, , .)_{00} () () () u x u x v x v x x$$

$$R_{++} \geq \geq \in$$

$$\begin{matrix} 2 \\ 2 \end{matrix}$$

$$\beta \ \beta$$

$$(&) - - + 1 ()$$

$$1 \ 2$$

$$p \ n \ k$$

Тогда для слабого решения задачи (15), при достаточно малых начальных данных следующие оценки

$u \ x \ v \ x_{00} () , ()$, справедливы

$$\begin{matrix} u \ t \ x \ A \ u \ t \ x \ v \ t \ x \ A \ v \ t \ x (, , , , Q, (17) \\) \leq \leq_{34++} () () () \text{в} \end{matrix}$$

где

$$u \ t \ x \ v \ t \ x_{++} (, , ,) ($$

)определенные выше функции,

$$_{34} A \ A > > 0,$$

0постоянные,

зависящие от числовых параметров системы (15).

Из теоремы 9 для критической экспоненты типа Фуджита для системы (15) получим следующие значения

$$\beta \quad + \quad 1 \quad N \quad , \ 1,2$$

$$= =$$

$$i$$

$$- + + -.$$

$$\beta \beta - \quad 1 (3) p p m N$$

$$i$$

$$i i i 3$$

В частном случае Ферреро. Случай Ескобедо $3 0, 1, 2 m p i_i + - =$ будем называть особым

$3 0, 1, 2_i p m i + - =$ это дает результат

(резонансным) случае. В этом случае система (15) не обладает свойством КСРВ и поведение решений имеет иной характер. Справедлива $k n p m p i n N$
 $+ < + - = = <$ и выполнены

Теорема 10. Пусть

$$, 3 0, 1, 2, _i$$

неравенства

$$\beta \beta$$

$$+ +$$

$$1 1$$

$$N N$$

$$< <$$

$$\begin{matrix} ? \\ 12 \end{matrix}$$

решения задачи (15)

$$\beta \beta + + 1 1 1 2 - -$$

Тогда для $- - + - - +$

$$\beta \beta \beta \beta$$

$$1 () 1 ()$$

$$p k n p k n$$

$$1 2 1 2$$

достаточно малых

$u x v x_{00} (), ()$ в Q справедливы

следующие оценки для

$$^{11} u t x T t f v t x T t f, () (), , () (), - - \leq + \leq + \beta \beta \beta \beta$$

$$\xi \xi$$

$$1 2 1 2$$

$$() ()$$

$$() () \exp / , (())_p$$

$$f p \xi \psi \xi \xi = = -$$

$$x$$

$$p$$

$$\phi$$

$$()$$

$$\xi \phi^{-+} (())$$

$$= =$$

$$p k n p$$

$$x x$$

$$1 / \circ \cdot$$

$$()$$

$$() ()$$

$$T t p k n$$

$$+ - +$$

В частном случае
 $0, 2, 3, 0, 1, 2_i$
содержит результат Ескобедо-Ферреро.

В пятой главе диссертации «**Конечная скорость распространения возмущений и локализация решений систем взаимной реакции диффузии (кросс диффузии)**» для вырождающихся кросс параболической системы с двойной нелинейностью, с переменной плотностью, с конвективным переносом устанавливаются следующие качественные свойства решений: существование глобального решения, значение

критической экспоненты типа Фуджита, поведение фронта, конечная скорость распространения возмущений (КСРВ), асимптотическое поведение решений с компактным носителем, поведение свободной границы и исчезающих на бесконечности решений автомодельной системы в зависимости от значения числовых параметров. Решена главная проблема – выбор начального приближения для итерационного процесса. Показана быстрая сходимость итерационного процесса при численных экспериментах.

Рассмотрим следующую математическую модель системы взаимной реакции-диффузии, описываемой следующей системой параболических уравнений вырождающегося типа

[illegible]

В главе V диссертации найдено решение типа Зельдовича-Компанейца для системы (18) в виде

$$u\,t\,x\,A\,T\,t\,f\,v\,t\,x\,B\,T\,t\,T_{1/}(\,,\,)(\,,\,)(\,,\,,\,0=+=+=>\,,\,)^{\alpha\alpha}\xi\,\psi\,\xi\,\xi^x\quad (19)$$

$$\begin{array}{cc} \begin{array}{c} \overline{\overline{}} \\ 12 \end{array} & \tau \\ \begin{array}{c} (\,)(\,) \\ [(\,)]^p \\ T\,t \end{array} & \begin{array}{c} t \\ p \end{array} \\ & (\,)+^1 \end{array}$$

где $\begin{array}{c} = \\ = \\ - \\ - \\ - \\ - \\ - \\ > \end{array} \tau \alpha \alpha$
 $(\,,\,1\,(\,1\,)(\,2\,)0,\,t\,p\,m\,p$

$$\begin{array}{c} p \\ 1 \\ 1\,1\,2\,1 \end{array} \qquad \qquad \qquad q\,q\,p$$

$$f\,a\,a\,a\,c\,c\,(\,,\,)(\,,\,0,\,,(\,) \max\,0,\,,^{\vee\vee}\xi\,\xi\,\psi\,\xi\,\xi\,\vee\,+$$

$$\begin{array}{c} = \\ - \\ - \\ = \\ - \\ > \\ = \\ = \end{array} \qquad \qquad \qquad \begin{array}{c} 1_2 \end{array}$$

$$(\,)(\,)(\,)$$

$$++$$

$$\begin{array}{c} p \\ 1 \\ - \end{array}$$

$$\begin{array}{c} (\,1\,)(\,1\,)(\,1\,)(\,1\,) \\ p\,p\,m\,p\,p\,m \\ -\,-\,+-\,-\,+ \\ (\,_{12}\,)(\,) \end{array}$$

$$\begin{array}{c} q\,q \\ = \\ = \end{array}$$

$$,\,,$$

$$\begin{array}{c} q\,q \\ 12 \end{array}$$

$$_{12}q\,p\,m\,m = -\,-\,-\,-\,(\,2\,)(\,1\,)(\,1\,)^2.$$

Числа

$$\begin{array}{c} n\,N\,n\,N \\ \alpha\,\alpha = \\ = \end{array}$$

$$,\,,$$

$$\begin{array}{c} 2\,1 \\ n\,n\,n\,m\,N\,n\,n\,n\,m\,N \\ +\,-\,+-\, \end{array}$$

$$(\,1\,)(\,1\,)$$

$$1\,2$$

$$1\,3\,2\,2\,1\,3\,2\,2$$

$_{1\,1\,2\,2\,3}n\,k\,p\,m\,n\,k\,p\,m\,n\,p\,k\,p\,N = -\,+-\,- = -\,+-\,- = +-\,(\,2\,)(\,1\,),(\,2\,)(\,1\,),(\,(\,2\,)$ являются решением алгебраической системы

$$\begin{array}{ccccc} \alpha & & - & - & N \\ 1 & & & & \\ 1 & (1) & (2) & - & - = & , & \begin{array}{c} 121212(1)(2) - \alpha \alpha \alpha \alpha \\ (1)(2) m p m \\ p - - - = - - \end{array} \\ m p p & & & & \alpha \alpha \\ 121 & & & & \end{array}$$

и постоянные

A, B , определяются из решения

$$\begin{array}{c} 11 \\ \text{системы } (), (), \text{ } ^{pkppkpmt} A \text{ } ^{pp}_{12} \\ B A B \end{array}$$

$$\Upsilon \Upsilon \Upsilon \text{ } ^{-----} = =$$

50

$$\begin{array}{ccc} p p p & & - - \\ & & 11 \\ \Upsilon \Upsilon \Upsilon & & \\ = = = & & \end{array}$$

$$\begin{array}{c} p k p m l k p m l \\ - - + + - - + + - \end{array}$$

$$\begin{array}{c} 1(2)2(2)2 \\ 12 \end{array}$$

Отметим, что найденное решение (19) обладает свойством КСРВ и может использоваться при доказательстве глобальной разрешимости и неразрешимости не только задачи Коши но и других задач с нелинейными граничными условиями.

В главе V исследована также асимптотика решений автомодельной системы для функций $f(), () \xi \psi \xi$. Имеем следующую

вырождающихся автомодельных уравнений. $\{ \text{ } ^{()} || | \text{ } ^{+ +}$

$$= \{ | | | | \cup \}$$

$$d d f d f d f l f$$

$$\begin{array}{c} p \\ - \\ 2 \\ k \\ \xi \xi \psi \\ 111 \end{array} \quad \begin{array}{c} - - - \\ N N m \\ 1 \\ \xi \end{array}$$

$$d d d p d$$

Теорема 11. Пусть $\{x^k\}_{k=1}^{\infty}$ — обобщенного решения

$$\xi_{-} \leq +_+ \xi_{+} \quad T = 1,$$

(20), (21) при

где коэффициенты системы

$0, 1, 2 A_{i i} > =$ являются решением

алгебраических уравнений

$$\begin{array}{ccccccc} p & p & m & m & & & \\ - & - & - & - & & & \\ & & 1 & 2 & 2 & 1 & 1 \end{array}$$

$$p p \rightarrow \gamma \gamma \rightarrow \gamma \gamma$$

$$m m p p m m^p A b A A b b^-$$

$$1122212 \begin{bmatrix} \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}.$$

При численном решении задачи уравнение аппроксимируется на сетке используя неявную схему переменных направлений (для многомерного случая) в сочетании с методом баланса. Итерационные процессы были построены на основе метода Пикара, Ньютона и специальной методе. Результаты вычислительных экспериментов показывают, что все перечисленные итерационные методы эффективны для решения нелинейных задач и приводит к нелинейным эффектам, если мы будем использовать в качестве начального приближения решения автомодельные решения построенных по методу нелинейного расщепления и методом стандартных уравнений. Ниже приведены результаты вычислений для различных значениях параметров:

Значения параметров	$t = 1$	$t = 20$	$t = 40$
$m_1 = 0.2,$ $m_2 = 0.2,$ $p = 3.8$ $\epsilon = 10^{-3},$ $k=1$ $\gamma_1 = 2.8 \cdot 10^{-3},$ $\gamma_2 = 2.8 \cdot 10^{-3}$			
$m_1 = 1.4,$ $m_2 = 1.4,$ $p =$	$+ 0), time2(FRAME + 0) time1(FRAME + 0)$	$+ 20), time2(FRAME + 20) time1(FRAME + 20)$	$+ 40), time2(FRAME + 40) time1(FRAME + 40)$

3 k=1, eps 10⁻ = 3 γ₁ = > 1.429 0, γ₂ = > 1.429 0			
---	--	--	--

Значения параметров	t =1	t = 20	t = 40
m = 0.4 , 1 m = 1.4, 2 p = 3 k=1, eps 10⁻ = 3 γ₁ = > 2,581 0, γ₂ = > 0,968 0			
m = 0.2 , 1 m = 0.7, 2 p = 3 time1(FRAME + 0),time2(FRAME + 0)	time1(FRAME + 0),time2(FRAME + 0)	time1(FRAME + 20),time2(FRAME + 20) time1(FRAME + 40),time2(FRAME + 40)	time1(FRAME + 40),time2(FRAME + 40)

$k=1,$ $eps\ 10^{-3}$ $=$ $\gamma_1 = > 4,737\ 0,$ $\gamma_2 = > 3,421\ 0$			
--	--	--	--

time1(FRAME + 0),time2(FRAME + 0)

time1(FRAME + 20),time2(FRAME + 20)

time1(FRAME + 40),time2(FRAME + 40)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По теме докторской диссертации «Математическое моделирование систем реакции-диффузии с двойной нелинейностью» представлены следующие выводы:

1. При решении задач нелинейной модели реакции-диффузии, фильтрации, теплопроводности, как в однородной, так и в неоднородной среде, на основе теоретического исследования путем автомодельного анализа и принципа сравнения, анализа применения вычислительных алгоритмов и комплексов программ выделены своеобразные свойства и определено дальнейшее развитие исследований.

2. Предложенные методы служат для изучения свойств КСРВ и локализации решения нелинейной модели реакции-диффузии с двойной нелинейностью для сред с переменной плотностью путем построения решения типа Зельдовича-Баренблатта.

3. Показано, что свойство КСРВ и локализации проявляются в движущейся нелинейной среде, скорость которой зависит от времени. 4. Для нелинейной модели реакции-диффузии в средах с поглощением или источником обуславливает возникновение локализованной волновой структуры.

53

5. Обосновывается уместности свойств КСРВ и пространственной локализации для математической модели систем реакции-диффузии с двойной нелинейностью и с переменной плотностью.

6. Обосновывается уместность свойств blow up для решений системы автомодельных уравнений реакции-диффузии с двойной нелинейностью. 7. Строится асимптотика обобщенных решений с компактным носителем и исчезающих на бесконечности решений автомодельных уравнений или систем с двойной нелинейностью.

8. Доказывается глобальная разрешимость таких задач для систем реакции-диффузии с двойной нелинейностью с источником или поглощением.

9. При получении критической экспоненты для процессов реакции диффузии с двойной нелинейностью с источником или поглощением и конвективным переносом применяется универсальный алгоритм.

10. Построятся решения типа Зельдовича-Баренблатта для нелинейной

кросс системы со свойством КСРВ и пространственной локализации решения.

11. Разработанный комплекс программ дает возможность осуществить компьютерное моделирование для изучения на основе качественных свойств нелинейной математической модели систем реакции-диффузии.

12. Разработанные вычислительные схемы, алгоритмы и комплексы программ для решения системы параболических уравнений с двойной нелинейностью дают высокую производительность при изучении теории и процессов численного решения таких задач.

MATHEMATICAL MODELING OF REACTION-DIFFUSION SYSTEM PROCESSES WITH DOUBLE NONLINEARITY

05.01.07– Mathematical modeling. Numerical methods
and complex of applications
(Physical-mathematical sciences)

ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION

Tashkent – 2016

55

The theme of the doctoral dissertation is registered at the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of Uzbekistan under №14.07.2016/B2016.3FM279.

The doctoral dissertation has been prepared at the Tashkent University of Information Technologies.

The abstract of the dissertation is posted in three (Uzbek, Russian and English) languages on the website of the Scientific Council at www.tuit.uz and on the information-educational portal «ZIYONET» (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor: Aripov Mersaid

Doctor physical-mathematical science, professor

Official opponents: Abduraximov Baxtiyor Fayzievich

Doctor physical-mathematical science, professor

Normuratov Chori Begalievich

Doctor physical-mathematical science, professor

Imomnazarov Xolmat Xudoynazarovich

Doctor physical-mathematical science, professor (Russian)

Leading organization: Samarkand state university

Defence of the thesis will take place «__» November 2016 year at 10⁰⁰ at the meeting of Scientific Council 14.07.2016.T.29.01 at Tashkent University of Information Technologies and National University of Uzbekistan. (Address: 100202 Tashkent, Amir Temur str. 108. Tel.: (99871) 238-64-43; fax: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

Doctoral thesis can be found on the Information Resource Center at Tashkent University of Information Technologies (registration number ____). Address: 100202 Tashkent, Amir Temur str. 108. Ph. : (99871) 238-64-43; fax: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

Abstract of the dissertation is sent out on « » November 2016 year
Mailing report № on « » November 2016 year

R. Kh. Khamdamov

Chairman of Scientific Council on award of scientific degree, Doctor of Tekhnical Science

M. S. Yakubov

Scientific secretary of Scientific Council on award
of scientific degree, Doctor of Tekhnical Science, Professor

N. Ravshanov

Chairman of Scientific Seminar under Scientific
Council on award of scientific degree,
Doctor of Tekhnical Science

INTRODUCTION (abstract of doctoral dissertation)

The urgency and relevance of the theme of dissertation. Today in the world practice of the the natural sciences the development of methods of efficiency of the reaction-diffusion processes control system, study of nonlinear mathematical models is considered one of the most urgent tasks. According to the Elsevier information base the scientific works of scientists around the world devoted to the study of nonlinear reaction-diffusion equation, as the Cauchy problem and boundary-value problems to this equation and their practical applications.

In the Republic of Uzbekistan conducted extensive works on the effective organization of events dedicated to the development of automated systems for the computer visualization of diffusion processes, mathematical modeling of diffusion processes described by nonlinear equations with double nonlinearity in a heterogeneous environment. At the same time, carried out a series of research projects dedicated to the improvement of research methods and visualization of non-linear process, the creation of automated production systems, which play an important role in the study of mathematical models of nonlinear processes.

Currently, in the world a number of fundamental problems require

mathematical modeling of nonlinear processes, the improvement of the methods and visualization tools, and applying to the practice of obtaining important results of the reaction-diffusion problems with double nonlinearity. At present, the study of equations with double non-linearity and practical application, conducting targeted research on the following areas is considered one of the most important tasks: the development of imaging methods in the study of nonlinear models; creating software systems that help the study of nonlinear processes; creating technology of computational experiment, monitoring the evolution over time of the process, the establishment of a computerized system of determining the properties of which depend on the parameters of the dynamics of change. Research carried out on the above areas of research, indicate the relevance of the topic of this thesis.

Research of this thesis, to a certain extent, serve to implement the objectives of all legal acts on this activity, the decree of the President on March 21, 2012 № PP-1730 «On measures for further implementation and development of modern information and communication technologies», dated December 15, 2010 № PP-1442 «On the priorities of industrial development of Uzbekistan in 2011-2015», Resolution of the Cabinet of Ministers dated February 1, 2012 № 24 «On measures to create conditions for further development of computerization and information and communication field of technology», as well as other legal documents adopted in this area.

Relevant research priority areas of science and technology of the republic. This study was performed according to the priority directions of development of science and technology of the Republic IV. «Development of information and information and communication technologies.»

57

A review of international research on the topic of the dissertation¹. Extensive scientific research aimed to the numerical solution of nonlinear problems, the study of the existence of global Fujita types of solutions for different nonlinear problems, the phenomenon of finite propagation speed of temperature disturbances (FPSP), the study of qualitative properties of self-similar solutions, the space and the effective localization of unbounded solutions (blow-up), evaluation solutions and the free boundary in a variety of functional spaces are the subject of research of many foreign scientific centers. In particular, in North Carolina, Berkeley, California State University (USA), Tokyo, Osaka, Nagoya, Fukuoka University (Japan), Autonomous University of Madrid (Spain), Tel Aviv University (Israel), Chongqing, Changchun University (China), Paris mathematics Center (France), Mathematical Institute of Leiden (The Netherlands), Technical University of Budapest (Hungary), Institute of Applied Mathematics, Moscow State University (Russia), Georgian Mathematical Institute and Institute of Applied Mathematics, Bulgarian Institute of Mathematics and Computing Mathematics, in the Donetsk Institute of Mathematics and Mechanics (Ukraine), in National University of Uzbekistan, Samarkand State University, Urgench State University, in the Center of software development at the Tashkent University of Information Technologies (Uzbekistan).

As a result of research in the world, related definition of new properties associated with non-linear differential equations and systems of equations, numerical solution and improvement of methods of visualization were obtained a

number of scientific results, such as the algorithm estimates of solutions of reaction-diffusion process modeling tasks with double nonlinearity in different spaces (North Carolina, California State University), it is proved the existence of global solutions of problems with double nonlinearity type H.Fujita (Tokio University), was classified the properties of the functions corresponding to the unrestricted solutions of the problems with double nonlinearity (Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences), built the critical exponent for semilinear systems (Autonomous University of Madrid), built solutions using the self-similar method, was studied the properties of non-linear problems (Chongqing, Changchun University).

The global research in modeling of nonlinear processes for numerical and analytical study of partial differential equations of parabolic type, the development of methods and visualization tools, conducting research on the following priority areas such as: proof of the existence of global Fujita types of solutions for nonlinear problems; definition of finite speed of propagation of disturbances; study the asymptotic behavior of solutions of self-similar solutions; finding the spatial localization for unlimited (blow-up) decisions; assessment decisions and the free boundary in a variety of functional spaces; improving methods for the numerical solution of nonlinear problems and the development of software for the visualization of the nonlinear process.

⁻¹ Review of foreign scientific research on the topic of the thesis is based on: Department of Physics, University of California, Berkly, California 94720, USA, Department of Aerospace Engineering, Department of Energy Engineering and Science, Nagoya University, Nagoya, Japan and others.

58

The comments of international scientific and researches by the topic of dissertation. The existence of global solutions as the type of Fujita for various nonlinear problems nonlinear issues, and the limitance of speed in distribution of temperature, qualitative properties of avtomodel solutions, the spatial localizations of unlimited (blow-up) solutions, the solution and estimations of free boundary in different functional spaces, world's leading scientific research centers and higher education institutions, including North Carolina, Berkeley, California State University (USA), Tokyo, Osaka, Nagoya, Fukuoka, Saga University (Japan), the Autonomous University of Madrid (Spain), Tel Aviv University (Israel), Chongqing, Changchun University (China), Paris mathematics Center, Mathematical Institute of leider (the Netherlands), the Technical University of Budapest (Hungary), the Russian Academy of Sciences Institute of Applied mathematics, Moscow state University (Russia), Georgia Institute of mathematics and Applied mathematics, Bulgaria, mathematics and computing mathematics Institute, the Institute of mathematics and Mechanics of Donetsk (Ukraine), the National University of Uzbekistan Uzbekistan, Samarkand state University, Urgench state University and research centers (Uzbekistan) has aimed for the numerical solutions of the nonlinear problems in different spatial localization, and functional spaces.

According to the results of scientific researches by solving the nonlinear differential equations and defining a new properties, numerical solutions and in improving methods of their visualizations has received more scientific results including the following results: has built estimations of the solutions of of

nonlinear problems(North Carolina, and California State University), has proved the existence of the solutions in the type of Masahisa Fujita(Nagoya University), has made an classifications of according to the unlimited solutions of nonlinear problems(the Russian Academy of Sciences Institute of Applied mathematics), has built an critical exponential for semi-linear systems(Autonomous University of Madrid), in study the properties of nonlinear problems to build the solutions by using the method of self-similaring(Chongqing, Changchun University) their scientific works is a symbol of effectiveness of the studying field.

According to the development of mathematical models of nonlinear problems, methods and visualization tools, covering the achievements of modern information technologies, is conducted research on the following priority areas such as: proof of the existence of global Fujita types of solutions for nonlinear problems; definition of finite speed of propagation of disturbances; study the asymptotic behavior of solutions of self-similar solutions; finding the spatial localization for unlimited (blow-up) decisions; assessment decisions and the free boundary in a variety of functional spaces; improving methods for the numerical solution of nonlinear problems and the development of software for the visualization of the nonlinear process.

The degree of study of the problem. Nonlinear heat diffusion, filtration speed of diffusion models for the spatial localization properties and limited heat dissipation Zeldovich-Barenblat types of solutions are studied by scientists Martinson and Pavlov. At the same time, has been paid attention to study various properties on nonlinear mathematical models, to prove them for new mathematical

59

models and to study their different new properties. In addition, the study of mathematical models used in many areas of common nonlinear effects and non linear equation has been found.

The next 20 years, many published scientific works which declared by nonlinear problems demonstrated that the interests to this area becomes very hight. For instance, the researches, dedicated to the existence of global solutions type of Fujita, provided in the University of Tokyo (H.Fujita XYChen H.Matano M.Mimura), Nagoya University (M.Sugimoto), Osaka University (Y.Naito), in the University of North Carolina (CV Pao, WHRuan), California State University (LACaffarelli A.Friedman B.Mcleod); Lp-Laplace equation and the PME, the total cases, as well as the critical exponents were studed in the Autonomous University of Madrid (headed by Vazquez school), AXENS University (Germany) (M. Winkler), Politecnico di Milano (G. Grillo, M . Muratori), the majority of universities in China, including Chongqing, Changchun University (J.Wu J.Yin H.Li J.Zao P.Zeng C.Mu D.Li Sh.Zhou MXWang CHXie); on linear systems at Complutense University (Spanish) (M.Escobedo M.A.Herrero M.Fila), Tel Aviv University (H.A.Levine S.Kamin); on nonlinear parabolic issues for the study of the conditions existing in the different functional space solution with installation and solution assessment at Paris Mathematics Center (G.L.Leons and students); the study of the properties of new nonlinear mathematical modellarnig quality at Russian Academy of Sciences and the Institute of Applied Mathematics, Moscow State University (A. P. Mikhaylov, V. A. Galaktionov, E. Kurkina), Bulgaria, mathematics and computing at the Institute of Mathematics (S.N.Dimova,

M.S.Kosteshiev M.J.Koleva) is conducted a wide range of scientific research.

Nonlinear equations and the study of the processes associated with them, including Kortveg de Friz-type equations of new methods of studying the properties of Urgench State University, mathematician A.Xasanov G.Urazboev proposed by A.Yaxshimuratovlar and analytical theory was created for this purpose; N.Muxitdinov A. Begmatov B. Xujayarov I. Alimov, I. Thrashed scientific research, oil, gas and liquid to study the issues and nonlinear filtration method chiziqlashtirish of the issues to address; M. Ward and his disciples (T.Kayumov D.Eshmetov A.Xaydarov J.Muxammadiev Sh.Settiev Sh.Sadullaeva A.Matyakubov Z.Raxmanov D.Muxammadieva) nonlinear avtomodel approach based on various issues solutions of nonlinear mathematical models of new features, as well as generalized Emden-fault-type equations and systems solutions asimptotikasi studied. These complex issues in the form of research, ie leads to a parabolic equation in different environments (varying density and conductivity of the environment with the capacity to move convective cases) for nonlinear systems, scientific research had not seen enough.

Communication of the theme of dissertation with the scientific-research works of higher educational institution, which is the dissertation conducted in. The dissertation research was carried out according to the approach plan of researche works of Tashkent University of Information Technology in the framework of the grant projects: OT-F1-125 «Expressed Klein-Gordon-type reaction-diffusion systems with non-linear processes, visualization, and computer modeling» (2009-2011), YoF 4-10 «Kolmogorov-Fisher type of modeling

60

biological systems of the population» (2013-2014), ITD 5-44 «Kolmogorov-Fisher population depends on the type of biological systems modeling» (2015-2017). **The aim of research work** is consists of mathematical modeling of reaction-diffusion, heat conductivity, luquids and gas distribution, filtration processes described degenerate parabolic equations and systems of equations with double nonlinearity with the influence of the source and absorption. **The tasks of researche work:**

substantiate existence of a finite speed of propagation of the disturbance and spatial localization within the framework of the mathematical model of reaction diffusion systems with double nonlinearity and with variable density;

to build a global solution of the Cauchy problem for a model reaction diffusion equation with double non-linearity with a source or absorption; to define the asymptotic behavior of blow-up solutions of the solutions of double nonlinear reaction-diffusion equations and systems;

to establish the asymptotic behavior of generalized solutions with compact support self-similar equations and systems with double nonlinearity; to develop an algorithm determining the critical exponent for the values of the equation and reaction-diffusion system with double non-linearity to the source or absorption and convective transfer;

to construct a solution of Zeldovich-Barenblatt type of mutual diffusion system with double nonlinearity with a source and convective transfer and prove properties of finite speed of speed of distribution of disturbances and spatial localization;

based on the properties studied nonlinear mathematical models to build an

iterative process that lead to the rapid convergence of the iterative process. Develop methods for solving numerical modeling of one or some nonlinear mathematical models of nonlinear influence of external factors and the nonlinearity of the medium (variable density, conductivity of media, the convective transfer, etc.);

develop software and conduct a computational experiment to visually explore nonlinear processes are described by a degenerate parabolic equation systems.

The object of the research work are nonlinear processes, reaction-diffusion systems in one- and two-component media.

The subject of the research work are researching new qualitative properties of nonlinear problems with double nonlinearity taking into account external factors and their influence on the studied nonlinear processes and the construction of the theoretical aspects of the use of models in practice, in particular in the study of the propagation of disturbances in heat transfer problems, liquid filtration and gas diffusion in single and two-component media, biological population described degenerate equations with double nonlinearity systems under the influence of the nonlinear source or absorption, convective transfer, variable density and numerical methods, computational algorithms for computer modeling of the studied processes based on them.

Methoda of research work. On thesis is used avtomodel methods, principles of comparable solutions, the solutions in the evaluation and numerical

61

methods and computing experiment methods.

Scientific novelty of the research work is as follows:

the properties of finite speed of distribution of the disturbance and spatial localization, proof of the asymptotic behavior of blow-up solutions of reaction diffusion systems with double nonlinearity and with variable density have been studied;

global solvability of the Cauchy problem for a model reaction-diffusion equation with double non-linearity to the source or absorption have been proven; the estimates of the solution, and the front and for the class of systems of equations with double nonlinearity parabolic, asymptotic expressions of generalized solutions with compact support for degenerate nonlinear self-similar equations and systems have been produced;

the solution of type Zeldovich-Barenblatt to the mutual diffusion system with double nonlinearity with a source and convective transfer have been found, the properties of finite speed of distribution of disturbances and spatial localization are shown and an algorithm for determining the value of the critical exponent have been developed;

on based of the properties studied nonlinear mathematical models, have been built an iterative process that converges quickly;

nonlinear problem for a system or a degenerate parabolic equation with double non-linearity, take into account external factors and properties of the medium (variable density, medium conductivity, convective transfer, etc.) has numerically solved.

Practical results of the research work are as follows:

on the basis of qualitative studies of the properties of solutions, developed

programs that allows the study of nonlinear processes visually, described by the system of nonlinear degenerate parabolic equation;

programs based on these computer experiment performed, allowing to observe the evolution in time of the process, depending on the numerical values of the parameters.

The reliability of the results of the research work. The reliability of the results of the research is justified by evidence and results numerically and confirmed by computational experiment. The numerical analysis of the solutions obtained using estimates of solutions and this is confirmed by the statement of correctness of computer-based methods the self-analysis, reference equations and the methods proposed in the thesis.

Theoretical and practical significance of the study. The scientific significance of the results of the study lies in the fact that in dealing with similar problems can be applied to the properties of blow-up, global existence razreshimosti Cauchy problem for nonlinear mathematical models, as well as the results can be applied in the study of non-linear diffusion problems in one- and two-component media, tasks biological population of Kolmogorov-Fischer combustion theory, filtration and liquid gas in heat transfer problems.

The practical significance of the results obtained in the thesis is that the proposed methods and the program can be used in conducting the computational

62

experiment for solving nonlinear processes of filtration, heat conductivity, diffusion in a nonlinear medium, groundwater movement.

Implementation of the research results. The results of the dissertation and the methods applied in practice in the following areas:

The estimates for a global solution to reaction-diffusion equation with double non-linearity used in the project DMS-1401316 (certificate of «California State University», October 10, 2016 year) for the construction of a global solution to nonlinear problems. Application of scientific results were in determining the properties of solutions of nonlinear processes with double nonlinearity;

solutions of reaction-diffusion systems with double nonlinearity for the Korteweg-de Vries equation with a source in the project OT- Φ1-002 «Direct and inverse spectral problem for a quadratic pencil of Sturm-Liouville» used to construct the solutions of nonlinear equations and systems, the determination of their properties (act of Committee for coordination of science and technology ΦTK-03-13/744, November 3, 2016 year). Application of research results enables us to prove the existence of global solutions of the Cauchy problem;

method of nonlinear splitting, sweep method for nonlinear filtering problems, model and solution algorithm used in the project ΦA-Φ4-Φ042 «Development and research of hydrodynamic model of an inhomogeneous liquid filtration in a porous medium» used for mathematical modeling of nonlinear processes of constructing their solutions and to study their properties of the (act of Ministry of development of information technologies and communications of the Republic of Uzbekistan, 33-8/6160, November 10, 2016 year). Application of scientific results the ultimate speed of propagation of disturbances, spatial localization allows to solve problems filtering inhomogeneous liquid in a porous

medium, including the study of filtration of suspensions with mudding and suffusion.

Approbation of the research results. According to the research, 36 scientific-technical, including 19 international conferences has discussed: «Current state and ways of development of information technologies» (Tashkent, 2008) «Integral Equation-2009» (Kyiv, 2009), «Modern Problems of Gas and Wave Dynamics» (Moscow, 2009), «Computational Technologies and Mathematical Modeling» (Tashkent 2009), «Control and Optimization in Dynamical Systems - cODS-2009» (Tashkent, 2009), «Actual problems of applied mathematics and information Technology - Al Khwarizmi 2009» (Tashkent, 2009), «Limit theorems of probability theory and their applications» (Tashkent, 2011), «Progress in Analysis and its Applications» (London, 2009), «the IV congress of the Turkish World Mathematical Society» (Baku, 2011), «the Vth World congress of Engineering and Technology, WCET-2012» (Almaty, 2012), «Actual problems of mathematical analysis» (Urgench, 2012), «Intelligent systems for industrial automation, WCIS-2012» (Tashkent, 2012), «Recent developments in applied mathematics and information technology - Al-Khwarizmi 2012» (Tashkent, 2012), «Modern problems of differential equations and their applications» (Tashkent, 2013), «Amal math wa Akhborot havfsizligi» (Tashkent, 2014), The Vth Congress of Turkish World Mathematicians (Bishkek, 2014), an international seminar prof. Sugimoto Mitsuru (Nagoya University, Japan, 2013), The

63

International Congress of Mathematicians (Seoul, 2014), «Recent developments in applied mathematics and information technology - Al-Khwarizmi in 2014» (Tashkent, 2014), «Non-classical equations of physics and their applications» (Tashkent, 2014), «Radio engineering, telecommunications and Information Technologies: problems and future development» (Tashkent, 2015) «Computational and informational technologies in science, engineering and education» (Almaty, 2015).

Publication of the research results. According to the thesis topic published only 36 papers. From the 14 journal articles, including 6 foreign, 8 in national journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of basic scientific results of doctoral theses.

The structure and volume of the thesis. Structure of the thesis consists of an introduction, five chapters, conclusion, list of references, applications. The volume of dissertation is 197 pages.

THE MAIN CONTENT OF THE RESEARCH WORK

In the introduction is proved the urgency and a demand of a theme of the dissertation, conformity of research to priority directions of development of a science and technologies of republic is defined, are resulted the review of foreign scientific researches on a theme of the dissertation and degree of a level of scrutiny of a problem, formulated the purpose and problems, the object and an object of research are revealed, scientific novelty and practical results of research are stated, is opened theoretical and practical value of the results received, data on introduction of results of research, works published and are given dissertation

structure.

The first chapter of dissertation titled «**Properties of mathematic models which described with double nonlinear equations**» carried out the common view of mathematical models for double nonlinear spoiled parabolic equations and the effectivity of the final speed of distrubuion of wave, spatial localisation of the solutions, asymptotics of the solutions with the compact carrier in case of slow and fast diffusion and has given the conditions of calculations.

In addition, changing the density of the convective movements, nonlinear heat transfer, diffusion, liquid and gas filtration, the movement of underground waters will be the impact of evolutionary processes.

The following problem of Cauchy

$$\begin{aligned} & \rho u^{p m k l} \frac{\partial}{\partial t} A u x x u u u \\ & \equiv - + \nabla \nabla \nabla = \\ & \rho \rho \end{aligned} \quad (1)$$

represents modelling some processes for double nonlinear equation such as heat conductivity, liquid and gas filtrations, consists of the basis of diffusion $\rho x u u$

processes with double nonlinear coefficient $\nabla \nabla$ and $()$

64

$\rho x x x x =$ in volatile dencity media. (1) equation includes the $()$, $()$

equations of the following cases, slow $(k p m (2) 1 0 - + - >)$, fast diffusion

diffuzion porous $u = 0$ or $\nabla = u^0$ then, (1) equation
 $(k p m (2) 1 0 - + - <)$, media $(p l = = 2, 1)$. If in some
 p-Laplacian $(m k l = = 1, 1)$ and in filed were

will have the voidable property and it will changed into linear equations. In these cases differencils of the fuctions will have interrupts that's why (1) equation may not have solutions in classical maining. In these cases will searched and studied weak (common) solutions for (1) equation.

The first time B. Zeldovich and A. Kampaneyts having considered a problem about an instant source for nonlinear the heat conductivity equation (in (1))
 $_{21} p l x x = = = 2, 1, () () 1 \rho \rho$ have constructed the generalized solution

possessing property of final speed $u t x (,) 0, \equiv$
distribution of indignation (FSPD):

if $|| () x l t \geq$, here C that does not take (
 $0 () (0,), < \in \infty l t$ place in a linear case $p = 2$,
 $k = 1, m = 1$). $_{21} \rho \rho () () 1 x x = =$ and

Property FSPD for problem Cauchy in
that specific case when in (1)

$_{2} \rho () 1 x =$ studied Teddeev A. F and its
pupils [2004-2013]

$k l = = 1$,
which a method excellent, from here offered by us, have received conditions on
numerical parametres and when ${}_0 u x ()$ which takes place FSPD and
destruction for final time (SDFT). solution

Later in 2014 this problem has considered in in the specific values of
numerical parametres by G. Grillo and $k l p = = = 1, 2$ in
M. Muratori, the case p

L -norm and have established the estimations for generalised solution. On thesis
will be found solutions in type of Zeldovich-Barenblatt for following problems the
basis on self-similarling approach:

$$u t x T t a b T^{p k p m l s} (,) , 0, ((2)2) = + - >$$

$$[] ()$$

$$\xi$$

$$+ - + + -$$

$$_p (3)$$

$$- ()^1 1$$

$$a b k p m l$$

$$> = - + + - | | () 0, (2) 2 ,$$

$$()$$

$$p$$

$$()$$

$$x N n$$

$$s p n q p n N$$

$$\phi$$

$$= = + < <$$

$$\xi \quad [()]^p \quad , , , .$$

$$t p n$$

$$\mathbf{T} \quad -$$

$$1/$$

Teorem 1. If in (1) equation has performed these conditions
 $k p m l (2) 2 0 - + + -$ as well as
 $> , n N p n < > ,$

$$(0,) (0,),^N$$

$$u x z x x R \leq \in$$

for the solution of the problem (1) - (2) we have the estimate

65

$$u x z x (t,)Q.$$

$$(t,), \leq \text{in}$$

Teorem 2. If in (1) equation has performed these conditions
 $k p m l (2) 2 0 - + + -$ as well as
 $> , n N p n < > ,$

$$(0,) (0,),^N$$

$$u x z x x R \leq \in$$

was available then problems will have a property of (SDFT).

According to theorem 1 basis on the solution (3) has allowed to establish property of spatial localisation of the solution of a problem (1), (2) as well at influence of absorpition and convective transfer when speed depends on time has shown in dissertation work. In particular, it is proved, that a condition of spatial localisation is

$$k p m l v y dy t - + + - > <^{\infty} \nabla > \int$$

$$(2) 2 0, () , 0,$$

$$()$$

where $\quad \quad \quad$ convective transferring.

$v t ()$ –speed vector of

We consider the following self-similar problems

$$() | | ^{+ +} = | | ^{- - + -} () (4)$$

$$d df df df_{ff} \xi \alpha \xi \xi$$

$$s s m$$

$$k \quad p \quad - \quad 2$$

$$1 1 1 0 ,$$

$$- - -$$

$$d d d p d k p m$$

$$\xi \xi \xi \xi \alpha$$

$$1((2)1)$$

$fcfd d(0)0,()0, , =>=<\infty ff'(0)0,()0, =\infty =^{(5)}$ (4)-(5) are the compact supported solutions

$$\begin{matrix} p & - & 2 \\ dfdf & & \xi\xi \\ ffC & & \\ s m & & \\ k & & \\ 11 & 0(),(0,).\xi\xi \\ - - \leq \infty \\ d d & & (6) \end{matrix}$$

And belongs to

$$\begin{matrix} p \\ - \\ \infty 2 \\ - - () s m_s dfdf s f y f y dy \\ k l \\ + + = | | () - - + - \int \\ \alpha & \xi \xi \alpha \\ 111 \xi & () 0 \\ d d p k p m \\ 1((2)1)0 \\ (7) \end{matrix}$$

Satisfies integral equality which given above. The first time such kind of common solutions has studied by B.H.Gilding, L.A.Pelletier, they had proved the existence of compact supported solutions of (4)-(5) problem when $s l = 1$.

On thesis will be proved the following teorem for slowly diffusion prosesses:

Take the following function

$$\begin{matrix} p p f a a c \\ y_1 & - & 1 \\ () , , , . \xi \xi \gamma \gamma \\ = - = = = \\ y y & & 1 \\ () & & (8) \\ 1/ & & \\ p k p m l \\ - - + + - \\ 1 (2) 2 \\ 11 & + & \end{matrix}$$

Teorem 3. Let's $k p m l (2) 2 0 - + + - >$. Then the compactly supported () solutions of (4),(5) problem when was $(1) p p \eta \xi a \rightarrow \infty \rightarrow ^-$ will be in the

66

following asymptotical form

$$f c f o () () 1 (1) , \xi \xi = + _ { 1 1 } () .$$

here function

$$f () \xi - \text{the function and defined above}$$

$$\begin{aligned} & [] ^ { - + + - } | | f () - - [] ^ p _ { k p m l } \\ & ^ - p p \quad \quad \quad ^ 1 (2) 2 \\ & 1 (1) 1 . = \{ \} \{ \} \{ \} \{ \} \{ \} ^ { - + + - } | | \{ \} \{ \} ^ c _ { p k p } \\ & m l p \\ & (2) 2 \end{aligned}$$

() Consider the function

$$\begin{aligned} & p p f a \\ & \xi \xi \gamma \gamma ^ - \\ & () , , . = + = = \\ & () \quad \quad \quad ^ 2) 2 \\ & p k p m l - - + + - 1 (\end{aligned}$$

Teorem 4. Let $(2) 2 0 , , 0 ^ { k p m l p n s } _ { k p m l } ^ p$

$$\begin{aligned} & - + + - < > + < \\ & (2) 2 \\ & - + + - \end{aligned}$$

(fast diffusion). Then vanishes at infinity the solution of problem (7) has the asymptotic representation at (o)
 $\xi \rightarrow \infty$

$$f c f () () 1 (1) , \xi \xi = + _ { 2 2 }$$

where the constant

algebraic equations 2

is determined from the solution of

$$- + + - () - + + - - () -$$

$$_{k p m l} k p m l p p$$

$$(2) 2 1 1 1$$

$$^p p$$

$$- -$$

$$^2_{(1)2}$$

$$| | - + = | | () - - + + - - - + + - ()$$

$$(2) 2$$

$$()$$

$$\alpha$$

$$p p p p k p m l k p m l 1 (2) 2 1 (2) 2$$

$$c$$

$$0.$$

2_2

$$() ()$$

$$\alpha$$

In paragraph 2, the following problem is

considered ∂

$$^p u^{m k l} u u u \operatorname{div} v t u$$

$$- \quad 2$$

$$= \nabla \nabla \nabla - u x q x (0,) (), = \delta (9)$$

$$\bar{\quad}_1 (),$$

$$\partial t$$

$$() ()$$

The solution of this problem is given by

$$^N \quad \vee$$

$$-$$

1

$$_{p k p m l N} u t x t a b$$

$$+ - + + -$$

$$(2) 2$$

$$(,),$$

$$= - (10)$$

$$^{()} \vee \eta ()$$

$$^1_+$$

$$p p$$

$$^p - ()$$

$$- \quad 1 \quad b k p \quad m \quad 1 \quad ^1_p$$

$$\Upsilon \Upsilon$$

$$= =$$

$$, ,$$

1

1

$$p k p m l$$

$$- - + + -$$

$$(2) 1 .$$

$$()$$

$$p$$

The similar variable is $(\cdot)^{1/} / [(\cdot)]$

$$^p \eta \tau = -x \nu y \, dy^t \int \cdot$$

Theorem 5. Let the conditions $\alpha \quad k p m l (2) 2 0, - + + - >$
 N

$$- + \leq \quad \alpha \quad 0 \quad u x z x x R \leq \in \text{where}$$
$$p k p m l \quad 1 ((2) 2)$$

$$\eta$$
$$\bar{1}$$
$$(\cdot)^{\alpha \gamma}$$

$$z t x T t a b (\cdot) [\cdot],$$

$= + -_{11} b \cdot, \gamma \gamma$ - defined above numbers. Then the
valid

$\frac{1}{+}$
 $x t$ the estimates were
solution $u t x (\cdot, \cdot)$ of problem (9), $(\cdot)_{\phi}$
(10) and front

67

$$^t \quad p p p x t \nu y \, dy a b t \tau (\cdot) (\cdot) (/) [(\cdot)]^{-} \leq$$

$$\int \cdot \quad (1)/1/$$

$$(\cdot, \cdot) (\cdot, \cdot), \text{ in } \cdot, {}_T u t x z t \quad \phi 1 0 \quad -$$

$$x Q \leq \text{ If}$$

$$^t \quad \nu y \, dy t \nu t t = + \forall > \tau (\cdot) [(\cdot)]$$
$$(\cdot), 0$$

$$\int \text{and} \quad \frac{1/}{p} \text{ solutions.}$$
$$\nu t(\cdot), < \infty_1$$
$$\frac{1}{0}$$

then there is a spatial localization

At the end of the first chapter has given the calculation schedule of Kranic

$$\begin{array}{c} \left(\right) \left| \right|^{-+ - = \left| \right| \left(\right)} \\ p \qquad \qquad \qquad -2 \\ d\,df\,df\,df^m\,D\,Nf\,c\,nf\,f \\ - \\ 1\,0. \end{array}$$

() *d d d d*

$$\begin{matrix} \xi & \xi & \xi & \xi \\ 0 & & & \end{matrix}$$

Hence, in the particular case of the equation $p l = 2$, 1 wave propagation $d x t$ ()

$$\begin{aligned} & -\partial_- \\ & \quad {}^p u^{mkl}\operatorname{div} u u u \operatorname{div} v t u t u \\ & \qquad \qquad \qquad 2 \\ & = \nabla \nabla - + = \pm \\ & \qquad \qquad \qquad () (), 1. \\ & \frac{\partial}{\partial_1} \qquad \qquad \qquad ()^{()}_t \qquad \qquad \epsilon \gamma \epsilon_\beta \end{aligned}$$
$$k p m l - + + - > - < \infty \forall > c t v y d y t \Gamma$$

$$(2) 2 0, () () , 0,$$

69

localization of thermal disturbances can occur even in the absence of convective transport, and absorption, for example, in the case of the conditions t

and when the thermal conductivity κ depends explicitly on time.

It has been shown that the above properties hold also for systems with double nonlinearity of the equations describing the processes of reaction-diffusion, heat conductivity, filtration and other processes, and obtained the asymptotic behavior of self-similar solutions. In particular, for a system

$$\left\{ \begin{aligned} & \partial_t \partial_x \partial_x \partial_x \partial_x u = - \partial_x \partial_x \partial_x \partial_x \partial_x u \\ & \partial_t \partial_x \partial_x \partial_x \partial_x v = - \partial_x \partial_x \partial_x \partial_x \partial_x v \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} & \partial_t \partial_x \partial_x \partial_x \partial_x u = - \partial_x \partial_x \partial_x \partial_x \partial_x u \\ & \partial_t \partial_x \partial_x \partial_x \partial_x v = - \partial_x \partial_x \partial_x \partial_x \partial_x v \end{aligned}$$

under the joint influence of the volume of absorption and convective transfer found the condition of the spatial localization of solutions and shows the asymptotic behavior of the finite wave solutions.

Theorem 6. Suppose $\frac{1}{2}$

$\frac{1}{2} p m m > + - - 2 [1 1]$. Then the compact carrier solutions of system that given in above will has the following asymptotic when $\xi \rightarrow a_-$

$$\begin{aligned} & f a i b b c t x t v y d y \xi \xi \tau \tau = - = - = () () , 1, 2, () \max(0,), () , () \\ &) () , i \end{aligned}$$

Here

$$^{++} \int_i$$

$$\begin{aligned} & p p m p p m \\ & - - + - - + \\ & 1 (1) 1 (1) \end{aligned}$$

$$\begin{matrix} () () () () \\ n n \end{matrix} \quad \begin{matrix} 2 \\ 1 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 2 \\ 2 \end{matrix}$$

1 2 1 2

$$\begin{array}{ccccccc} & - & & & & & \\ & - & - & - & - & & \\ & & & 1 & 1 & & \\ & & & & & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array}$$

12

$$= = .$$

70

On paragraph 1 we study the following equation, which is the basis for many of the physical processes

– 2

$$\equiv - + \nabla \nabla \nabla - - = (14)$$

$$u u x x R$$

$$t \geq \epsilon$$

$$\beta > -0, \dots, n \text{ } k \text{ } p \text{ } \textit{mare numerical}$$

$$- - + + - \left[\begin{array}{c} \leq \\ > \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \\ \end{array} \right]$$

$$= \Lambda + \Lambda - - + y y v v$$

$$kkkkkk+++++111222$$

$$111$$

$$|$$

$$ijijkkijjkijjk,,1,,1,1+++++$$

$$h\,h$$

$$222$$

$$||$$

$$\cdot$$

$$12$$

$$_{12}t\,y$$

$$\beta_k+1$$

$$0.5$$

$$\mathbb{T}$$

$$|$$

$$+$$

$$\varepsilon \gamma$$

$$(\,)\,(\,)\,_{k\,i\,j}$$

$$\mathfrak{l}$$

$$\text{here}$$

$$1,$$

$$+$$

$$\lceil \wedge = +^{+--} \rfloor_{yxyyyyyy}$$

$$^n_{m\,p}$$

$$--$$

$$1$$

$$12$$

$$111kkkkkkkk+++$$

$$_{222}(\,)(\,)(\,)\,++++$$

$$11,1,,1,,1,,12$$

$$mijijijijijij2$$

$$h$$

$$_1$$

$$\lceil -++^{-}\rfloor_{xyyyyyyy}$$

$$^n_{m\,p}$$

$$--$$

$$12$$

$$11$$

$$kkkkkk$$

$$++$$

$$_{22}$$

$$,\,(\,)(\,)(\,)$$

$$---$$

$$ijijijijijij\\,,1,,1,,1,$$

$$\lceil \wedge = +^{+--} \rfloor_{yxyyyyyy}$$

$$^n_{m\,p}$$

$$--$$

$$1$$

$$12$$

$$kkkkkk(\,)(\,)(\,)_{2,1,1,,1,,1,12+++++}$$

$$mijijijijijij2$$

$$h$$

$$_2$$

$$1_{-++-}]xyyyyyy$$

$$\begin{array}{c} n \\ m p \\ \hline 12 \\ kkkkkk \end{array}$$

$$,()()()$$

$$\begin{array}{c} --- \\ ijijijijijij \\ ,,,1,,1,,1 \end{array}$$

$$ijn,1,2,...,1,1,2.\overset{\alpha}{\alpha}=-=$$

The initial and boundary conditions are taken as

$$\text{follows } \Gamma = \in \Gamma$$

$$\begin{array}{c} yuxx \\ 0 \\ () \end{array}, \quad \omega$$

$$\begin{array}{c} ijh \\ ,0 \end{array}$$

$$\{===yjjn$$

$$\begin{array}{c} kk \\ ++ \\ 11 \\ ij \\ \Phi \\ ,211 \end{array}, \text{ if } 0 \quad \text{and}$$

$$===lyin$$

$$\Gamma_{kk+++22}, \text{ if } i0 \quad \text{and}$$

$$\begin{array}{c} ij \\ \Phi \\ ,1 \end{array}$$

$$\begin{array}{c} kkkk\text{T} \\ 1 \\ \Phi\Phi\Phi\Phi\Phi^{++}=+-\wedge- \end{array}$$

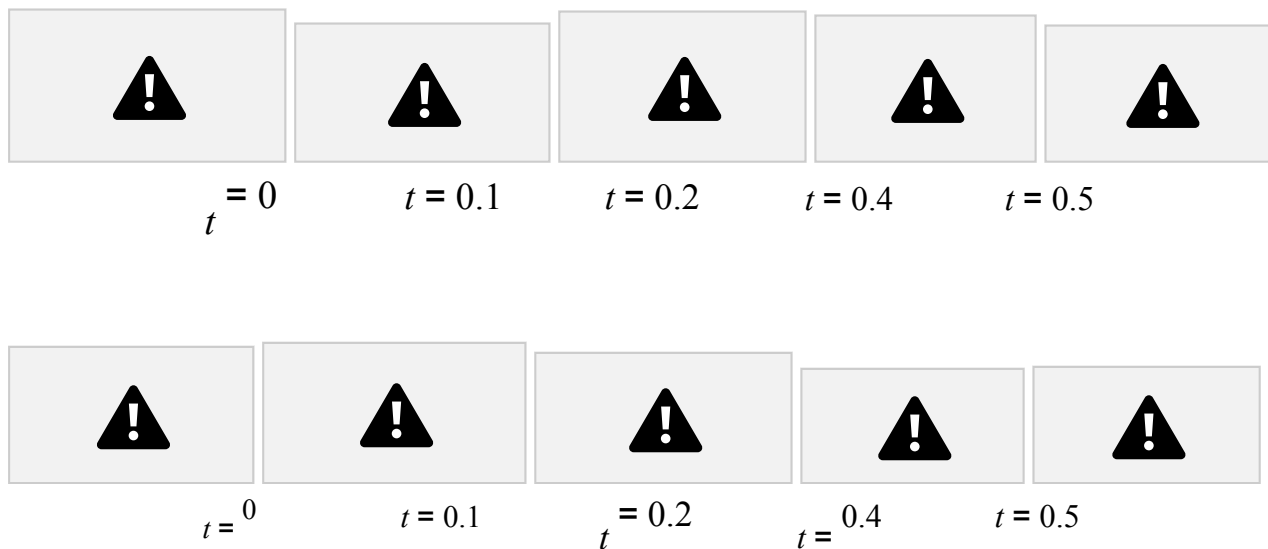
$$\begin{array}{c} 11 \\ ()() \end{array}$$

Here $\begin{array}{c} 2 \\ 24 \end{array}$

For accuracy iteration requires the following:

$$\max_{y \in \mathbb{R}^n} \left\{ \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right\} = \lambda_1(A)$$

Below are the results of calculations for $m p = -2, 2.5, 0.5, 1 \beta \varepsilon$ the and $m p = +2, 2.5, 0.8, 1 \beta \varepsilon$:



The fourth chapter of the dissertation titled «**Numerical and asymptotic study of reaction-diffusion systems with double nonlinearity**» conditions are obtained FSPD occurrence of the phenomenon and the spatial localization for degenerate parabolic systems of equations with two non-linearities in the presence of the source and the absorption and variable density in the two-component nonlinear media. On the basis of the self-analysis proved the theorem on global solvability type Fujita. Previously, the semi-linear case, this result was proved by the Escobedo-Herrero.

A method by which established the principal asymptotic term in the case of slow and fast diffusion and proved that the main term of the asymptotic coefficients are

obtained by solving a system of algebraic equations $\{(,) : ^0, \}$

We will consider violation

$^N Q t x t x R = > \in$ density of the

identified at the system of double nonlinear parabolic

equations: $x \operatorname{div} x u u u t x v$
 $= \nabla \nabla + =$

∂ u $() 0,$
 $n k p n m - -$

$$\beta_{11}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial t} \right)$$

$$(15)$$

$$x \operatorname{div} x v v v t x u$$

$$= \nabla \nabla + =$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{v}{n k p n m -} () 0,$$

2_1

$$\beta_{22}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{v}{n k p n m -}$$

$$N$$

$$(0, 0, 0, 0,)_{00} () () ()$$

$$u x u x v x v x x R = \geq = \geq \in ,$$

$$\text{here } n, k, \in R_{12} m m, 1, >_{12} \beta \beta, 1, \geq p 2 \nabla - grad ,$$

$$\geq \text{are given numbers, } 0 < (t) C(0, +) \gamma \in (.) (.)_x$$

$$\infty .$$

$$73$$

We introduce the following comparable functions:

$$^{12} u t x T t f v t x T t T, () (), , () (), 0, ^{\alpha \alpha} \xi \psi \xi_{++} = + = + \geq$$

$$() ()$$

where

$$\alpha_{+} = - \frac{\beta_i}{1}, \quad \frac{1}{t T t^\lambda} = + 1 (3), \quad 1, 2, \lambda \alpha_{iii} = \tau$$

$$- + - = m p i () () ,^i$$

$$\beta \beta_{-ii} = - \frac{3}{1} \frac{\lambda}{i} q q$$

$$_{21/(1)/(1)} () , (, 0, ^{pppp} f a a a \xi \xi \psi \xi \xi^{-} = - = - >$$

$$() ()$$

$$++$$

$$p p$$

$$- -$$

$$1 1$$

$$q q$$

$$= =$$

$$,,$$

$$+ - + - () \max(0,). b b +$$

=

$$\begin{matrix} & 1\ 2 \\ m\ p\ m\ p \\ & 3\ 3 \\ & 1\ 2 \end{matrix}$$

Teorem 8. (About global solvability of Fijita type) Suppose

$$\begin{matrix} 3 & \beta \\ n\ N < ,\ 3\ 0,\ m\ p_i + - >^3,\ 1,2, \\ i & \\ & i \\ & m\ p \\ i & \beta\ \beta \\ \beta\ \beta & + - + - + - < \\ 3 & \\ 1 & m_p N \\ + - + - < & \\ 1 & \gamma\ \tau\ m_p N \\ ()(),\ t\ t\ u & ()() \\ & t\ t\ v \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 111\ (2) \\ \gamma\ \tau \\ \beta\ \beta & - - +\ p\ n\ k & 222\ (2) \\ 12 & \beta\ \beta_{12} & - - +\ 1\ () & N \\ 1\ () & & & \\ & & p\ n\ k \\ & & \geq \in \end{matrix}$$

$$\text{and } (0, , 0, , .)_{00}()()()$$

$$u\ x\ u\ x\ v\ x\ v\ x\ x\ R_{++} \geq$$

Then for enough small $2_{++}()()()_{\mathcal{B}}\mathcal{Q}$,
 $u\ x\ v\ x_{00}()$, $()$ values the solution of
 (15) equation in (16)
 area Q will has the folling type
 estimation:

$$u\ t\ x\ A\ u\ t\ x\ v\ t\ x\ A\ v\ t\ x\ (, , , ,) \leq \leq_1$$

here $u\ t\ x\ v\ t\ x_{++} (, , ,) ()$ above,
 functions have defined $_{12}A\ A > > - 0, 0$ are
 constants.

Note that the estimate (16) follows the property FSPD.
 Teorem 9. Let's suppose in

$$(15) \text{ was } + - ^{-} > = \quad \vee () \, 1 \, t = , \, 3 \, 0, \, m \, p_i + - > ()$$

$$+ \quad \beta_{\beta}$$

$$p \, m_i$$

$$\begin{array}{ccc} & 3 & 1 \\ & & a \, a \\ & & {}_{q \, q} N - \\ \beta_i & , \, 1, 2, & \\ 3 & i & | | ^{+} < \\ m \, p & 1 & \beta \, \beta \\ & + - & \\ & 3 & () - \\ i & 1 & \beta \, \beta^{-} \\ () + \beta_{\beta} & , & {}_{2 \, 1 \, 2 \, 1} \\ & {}_{q \, q} N & 1 \\ & a \, a & a \, a \\ & p \, n \, k & {}_{q \, q} N - \\ & | | ^{+} < & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} & & {}_{1 \, 2 \, 1 \, 1} \\ () - - + p \, n \, k \, n \, N > + < , , & , & \\ 2 & & \beta \, \beta \\ 1 () & & \\ 1 & & () - \\ | | ^{+} < & & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} & () + \beta_{\beta} & {}_{1 \, 2} \\ & 1 & p \\ & {}_{q \, q} N & \\ 1 & & \\ a \, a & & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} | | ^{+} < & & {}^N \\ {}_{2 \, 1 \, 2 \, 1} & & (0, , 0, , .)_{00} () () () u \, x \, u \, x \, v \, x \, v \, x \, x \\ & & R_{++} \geq \geq \in \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} () - - + & & \\ \beta \, \beta_{12} & & \\ 1 () p \, n \, k & & \end{array}$$

Then for weak solutions of system (15) estimations are true:
in $u \, x \, v \, x_{00} () , ()$ the following Q area and for enoght small

$$) \leq \leq {}_{3 \, 4} ++ () () ()_{\mathbf{B}}$$

$$Q, (17)$$

$$u \, t \, x \, A \, u \, t \, x \, v \, t \, x \, A \, v \, t \, x (, , , , ,$$

defined functions, constants
here
 $u \, t \, x \, v \, t \, x_{++} (, , ,) ()$ are previously

$_{34}A A > 0, 0$ depending on the numerical parameters of the system (15). From Theorem 9 we will obtain the following values for critical exponents in Fijita type for system (15)

$$\beta_i + 1 = N, 1, 2$$

$$\beta_i - 1 = (3) p p m N$$

case

$_{iii}$
3

Escobedo-Ferrero in the particular $p m i$
 $+ - = . 3 0, 1, 2 m p i + - =$ this special case is called like

This result will give theorem of (resonans case). In this case system (15) doesn't represent the effects of FSPD and it will has another characteristics.

$3, 1, 2_i$

Theorem 10. Let

$\beta \beta$

$+ +$

$1 1$

$N N$

$< <$

$1 2$

,

$k n p m p n N i + < + - = < =$ and
 $, 3 0, , 1, 2, _i$

$- - + - - +$. Then for $\beta \beta \beta \beta$

$1 () 1 ()$

$p k n p k n$
 $1 2 1 2$

$u x v x_{00} (), ()$ - enough

small values in Q area the solution of system equations (15) will had the following estimations:

$$\beta \beta$$

$$+ +$$

$$1 1$$

$$1 2$$

$$_1 u t x T t f v t x T t f, () (), , () (),$$

$$- \leq + \leq +$$

$$\beta \beta \beta \beta \xi \xi$$

$$1 2 1 2$$

$$() ()$$

$$() () \exp^{/}, (())^p$$

$$f p \xi \psi \xi \xi = -$$

$$x$$

$$p$$

$$\phi$$

$$()$$

$$\xi \phi^{-+} ()$$

$$= =$$

$$x x$$

$$p k n p$$

$n k p p m i = = = + - = =$ Teorem 10

The fifth chapter of the dissertation titled «**The finite speed of propagation of disturbances and localization solutions mutual reaction-diffusion systems (cross diffusion)**» investigated cross parabolic systems with double nonlinearity, with variable density, convective transport following the qualitative properties of the solutions set: the existence of a global solution, the critical Fujita exponent type, edge behavior, the finite speed of propagation of disturbances (FSPD), the asymptotic behavior of solutions with compact support, the behavior of the free boundary and vanishing at infinity of solutions of the self system, depending on the value of numerical parameters. Solved the main problem - the choice of the initial approximation for the iterative process. It is shown that the rapid convergence of the iterative process in numerical experiments.

75

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\frac{\partial}{\partial t} \right) &= \nabla \nabla + + \operatorname{div} x^u \left(\right) \left(\right) \left(\right), \rho \\ &= \nabla \nabla + + \operatorname{div} u x v \left(\right) \left(\right) \left(\right) \end{aligned} \quad (18)$$

On this capter will be found the solutins of Zeldovichh-Bareblatt type for the system (18):

$$\begin{array}{rcl} & \text{---} & \\ & \text{---} & \\ & 12 & \\ \left(\begin{array}{c} \\ \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \\ \end{array} \right) & & \mathbf{T} \\ \left[\left(\begin{array}{c} \\ \end{array} \right) \right]^p & & t \\ Tt & & p \\ & & \left(\begin{array}{c} \\ \end{array} \right) + 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{c} p \\ 1 \\ 1\,1\,2\,1 \\ faaac() , () , 0 , () \max 0 , , {}^{\vee\vee}\xi\xi\psi\xi\xi\gamma + \\ = - - - - > = = \\ l_2 \\ ++ \\ ()()() \end{array}$$

The numbers

, ,

$$\begin{array}{c}
+ - + - \\
(1)(1) \\
12 \\
13221322 \\
11223nkpnmnkpnmnpkpN = - + - = - + - = + - (2)(1), (\\
2)(1), ((2) \text{ are the solution of the algebraic system} \\
\alpha_1 = 121212(1)(2)(- - = - - - \alpha \alpha \alpha \\
1(1)(2) - - - - N 1)(2)mpmp - \alpha, \\
mp p \\
\alpha \alpha \\
121
\end{array}$$

and constants are determined from the system solutions

$$\begin{array}{c}
11 \\
(), (),^{pkppkpmm}ABAB \\
YYYY----- \\
= = \\
111(2)1(2)11 \\
12 \\
ppp \\
-- \\
11 \\
YYY \\
= = = \\
p k p m l k p m l \\
- - + + - - + + - \\
12 \\
1(2)2(2)2 \\
12
\end{array}$$

Solution (19) has been FSPD property and it can be used at an establishment of global resolvability and nonsolvability not only problem Cauchy but also for other problems with nonlinear boundary conditions, too.

In chapter V also studied the asymptotic behavior of solutions of self-similar system

76

$$\begin{array}{c}
() ||| + + = | | | \{ d d f d f d f l f \\
p \\
- \\
2 \\
k \\
\xi \xi \psi \\
111 \\
d d d p d \\
- - - \\
N N m \\
1 \\
\xi
\end{array}$$

$$\frac{pq}{-} \quad 1$$

2

$${}_{12}qkplmm = - + - - - [(2) 1] (1)(1).$$

Teorem 11. Let solution of (20), (21)

${}_{12}\Psi\Psi > > 0, 0$. Then for the weak problems the following estimations are true: 1utxuTxT

$$tf(,)(,)(,)(,)^{\alpha}$$

$$\leq = +_{+} \quad \xi$$

$${}^2vtxvtxTt(,)(,)(,)(,)^{\alpha}\Psi\xi$$

$$\leq = +_{+} \quad \xi \quad \tau \quad = \quad 1/,$$

here $f(,)(,)\xi\Psi\xi$ functions has defined above .
 $[()]^p$
 t

From teorem 11 will be found that solutions will had FSPD.

Teorem 12. Let ${}_{12}\Psi\Psi > > 0, 0$. Then as $= - - - a$
 ${}^{/(1)}(\ln())^{pp}\eta\eta\xi a \rightarrow \infty$

weak solution of (20), (21) will have the following asymtotic f

$$AfoAo(,)(,)(1)(1), (,)(,)(1)(1), \xi\xi\Psi\xi\Psi\xi = + = +_1$$

$${}_2(,)(,)$$

here ie. ${}_{12}{}^2{}^2{}^1{}^1$
 $pp\Psi\Psi$
 $(,)(,)$

$0, 1, 2, A i_i > =$ are the solutions of the following algebraic equations: $1 \ 1^{12111} 2^{22} 11pp$
 $AAbbAAbb$
 $= = = =$

$$\begin{matrix} \sim \sim \sim \sim \\ p p m m \\ \sim \sim \sim \sim \end{matrix} \quad \begin{matrix} m m p p m m^p A b A A b b^- \\ 2 \quad p \quad 2 \end{matrix}$$

$${}_{112212} [\] , [\] . = =$$

$$----- (1)(1)/(2)(2)((1)(1)1/(2)1212$$

In the numerical solution of the problem can be approximated by the equation on the grid using the unimplicit scheme of variables directions (the

multidimensional case) in conjunction with the balance method. Iterative processes were built on the basis of the method of Picard, Newton, and a special method. The results of computational experiments shows that all of these iterative methods are effective for solving nonlinear problems and leads to nonlinear effects, if we use as an initial approximation of the solution self-similar solutions constructed by the method of nonlinear splitting and standard equations. Below are the results of calculations for different values of the parameters:

Parameter values	$t = 1$	$t = 20$	$t = 40$
$m_1 = 0.2,$ $m_2 = 0.2,$ $p = 3.8$ $\epsilon = 10^{-3},$ $k=1$ $\gamma_1 = 2.80,$ $\gamma_2 = 2.80$			
$m_1 = 1.4,$ $m_2 = 1.4,$ $p = 3$ $k=1,$ $\epsilon = 10^{-3},$ $\gamma_1 = 1.4290,$ $\gamma_2 = 1.4290$	$+ 0), \text{time2}(\text{FRAME} + 0) \text{ time1}(\text{FRAME} + 0)$	$+ 20), \text{time2}(\text{FRAME} + 20) \text{ time1}(\text{FRAME} + 20)$	$+ 40), \text{time2}(\text{FRAME} + 40) \text{ time1}(\text{FRAME} + 40)$

$m_1 = 0.4,$ $m_2 = 1.4,$ $p_3 = 3$ $k=1,$ $eps = 10^{-3}$ $\gamma_1 = > 2,581\ 0,$ $\gamma_2 = > 0,968\ 0$	time1(FRAME + 0),time2(FRAME + 0)	time1(FRAME + 20),time2(FRAME + 20)	time1(FRAME + 40),time2(FRAME + 40)
---	-----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

78

$m_1 = 0.2,$ $m_2 = 0.7,$ $p_3 = 3$ $k=1,$ $eps = 10^{-3}$ $\gamma_1 = > 4,737\ 0,$ $\gamma_2 = > 3,421\ 0$	time1(FRAME + 0),time2(FRAME + 0)	time1(FRAME + 20),time2(FRAME + 20)	time1(FRAME + 40),time2(FRAME + 40)
---	-----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

CONCLUSION

On the topic of the doctoral thesis «Mathematical modeling of reaction diffusion systems with double nonlinearity» presented the following conclusions: 1. In solving problems of nonlinear models of reaction-diffusion, filtering, heat conductivity, as in homogeneous and in heterogeneous environments, based on the theoretical study by the self-analysis and the comparison principle, the analysis of the use of computational algorithms and software complexes isolated original properties and defined the further development of research. 2. The proposed methods are used to study the properties of FSPD and localization solutions of nonlinear reaction-diffusion model with double nonlinearity for variable density environments by constraction solutions of type Zeldovich-Barenblatt.

3. It is shown that the property FSPD and localization are shown in moving nonlinear medium whose velocity depends on time.

4. For non-linear reaction-diffusion model in absorbing media or source found occurrence of localized wave structure.

5. Established property FSPD and spatial localization of a mathematical model of reaction-diffusion systems with double nonlinearity and with variable density.

6. It has been shown that there is a blow up property for the solutions of a system of self-reaction-diffusion equations with double nonlinearity. 7. Built asymptotic behavior of generalized solutions with compact support and vanishing at infinity of solutions of self-similar equations or systems with double nonlinearity.

8. It is proved the global solvability of such problems for reaction-diffusion systems with double nonlinearity with the source or absorption. 9. At the critical exponent for the preparation of reaction-diffusion systems with double nonlinearity with the source or absorption and convective transfer use a universal algorithm.

10. A solution of type Zeldovich-Barenblatt for nonlinear systems with cross

79

property FSPD and spatial localization solutions.

11. The developed programs allows you to carry out computer simulations to study on the basis of the qualitative properties of nonlinear mathematical models of reaction-diffusion systems.

12. The developed computational schemes, algorithms and programm for solving a system of parabolic equations with double nonlinearity provide high performance in the study of the theory and process of numerical solution of such problems.

