

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ**

**МЕХАНИКА ВА ИНШООТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ**

ИГАМБЕРДИЕВ КЕРИМБЕРДИ АБДУЛЛАЕВИЧ

**МАШИНАЛАР ГИДРОТИЗИМЛАРИ ТЕБРАНИШЛАРИНИ
СТАБИЛЛАШТИРИШ ЖАРАЁНЛАРИНИ МАТЕМАТИК
МОДЕЛЛАШТИРИШ**

05.01.07 – Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва дастурлар мажмуи

**ТЕХНИКА ФАНЛАР БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2019

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора
философии (PhD) по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of
philosophy (PhD) on technical sciences**

Игамбердиев Керимберди Абдуллаевич

Машиналар гидротизимлари тебранишларини стабиллаштириш
жараёнларини математик моделлаштириш.....3

Игамбердиев Керимберди Абдуллаевич

Математическое моделирование стабилизации колебательного поведения
гидросистем машин.....21

Igamberdiev Kerimberdi Abdullayevich

Mathematical modeling of stabilization of oscillatory behavior of hydraulic
systems of machines.....39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works43

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**МЕХАНИКА ВА ИНШООТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ**

ИГАМБЕРДИЕВ КЕРИМБЕРДИ АБДУЛЛАЕВИЧ

**МАШИНАЛАР ГИДРОТИЗИМЛАРИ ТЕБРАНИШЛАРИНИ
СТАБИЛЛАШТИРИШ ЖАРАЁНЛАРИНИ МАТЕМАТИК
МОДЕЛЛАШТИРИШ**

05.01.07 – Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва дастурлар мажмуи

**ТЕХНИКА ФАНЛАР БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2019

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.2.PhD/Т696 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tuit.uz) ва "Ziynet" Ахборот таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:	Аннакулова Гулсара Кучкаровна физика-математика фанлари номзоди, катта илмий ходим
Расмий оппонентлар:	Қабулов Анвар Василевич техника фанлари доктори, профессор Тухтаназаров Дилмурод Солижонович техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD), доцент
Етакчи ташкилот:	Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институти

Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.Т.07.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 йил «__» _____ соат ____ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси 108-уй. Тел./факс: (99871) 238-65-44, (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

Диссертация билан Тошкент ахборот технологиялари университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (_____ рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси 108-уй. Тел.: (99871) 238-65-44).

Диссертация автореферати 2019 йил «__» _____ куни тарқатилди.

(2019 йил «__» _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси)

Р.Х. Хамдамов

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

Ф.М. Нуралиев

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д., доцент

А.М. Полатов

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Дунёда замонавий шароитларда рақобатбардош техник тизимларни яратишга, шунингдек, жамиятда ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш, техник, хусусан, гидравлик тизимларни ривожлантириш ва такомиллаштиришга боғлиқ транспорт воситаларини ишончли бошқариш масалаларини ечишга имкон берадиган илғор ахборот технологияларининг қўлланишига алоҳида ўрин ажратилмоқда. Шу муносабат билан дунёнинг бир қатор мамлакатларида, жумладан АҚШ, Япония, Германия, Ҳиндистон, Жанубий Корея, Мексика, Испания, Бразилия, Франция ва Ўзбекистонда динамик жараёнларни ривожланган бошқариш усуллари ишлаб чиқиш учун динамик жараёнлар тадқиқотларини жадал ривожлантириш каби муаммоларни ечиш учун замонавий техник тизимлардан, хусусан, гидравлик тизимлардан фойдаланиш бўйича илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Дунёда ахборот ва коммуникация технологияларини қўллаш билан ишончли ишлаши таъминланадиган ва сифат кўрсаткичлари яхшиланадиган турли хил физик динамик жараёнларни бошқариш масалаларини ечиш соҳасида илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу йўналишдаги объектни бошқариш учун берилган иш режими доирасидаги фаолиятини таъминлаш муҳим масала ҳисобланади.

Республикамизда янги турдаги қишлоқ хўжалик техникаларини яратиш ва ўзлаштириш муаммоларини ечишга қаратилган чора-тадбирларни амалга оширишга катта эътибор берилмоқда. Ўзбекистон Республикасини 2017-2021 йилларда янада ривожлантириш стратегиясида «...саноатни юқори технологик ишлов бериш соҳаларининг жадал ривожлантиришга йўналтирилган сифат жиҳатдан янги даражага ўтказиш йўли билан кейинги замонавийлаштириш ва модернизация қилиш, ... иқтисодиётга ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш, ... қишлоқ хўжалигини модернизация қилиш ва жадал ривожлантириш»¹ масалалари белгиланган.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 июлдаги ПҚ-3117-сон “Қишлоқ хўжалигида машинасозлик соҳаси илмий-техникавий базасини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги, 2018 йил 4 сентябрдаги ПҚ-3929-сон “Қишлоқ хўжалиги машинасозлиги тармоғини бошқариш тизимини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги, 2013 йил 27 июндаги ПҚ-1989-сон “Ўзбекистон Республикаси Миллий ахборот коммуникация тизимини янада ривожлантириш тўғрисида”ги қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган

¹ 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармон.

вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Ушбу тадқиқот Республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг II. «Энергетика, энергия ва ресурсларни тежаш» ва IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот технологияларини ривожлантириш» устувор йўналишларига мувофиқ амалга оширилди.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Гидравлик тизимлар динамикаси ва бошқаруви, турғунлиги ва стабиллаштириш назарияларини шакллантириш ва ривожлантиришга P.J.Holmes, F.C.Moon, T.Namamoto, B.Yao, H. Li, H.Watson, G.Dostal, J.Wagner, Н.Ф.Метлюк, В.П.Автушко, Н.С.Гаминин, А.И.Боженев, А.М.Селиванов, Т.М.Башта, Н.А.Лакота, А.М.Ляпунов, В.Д.Фурасов, В.Н.Афанасьев, О.В.Лебедев, Г.Қ.Аннакулова Ҳ.Т.Тўраев, А.А.Шермухамедов, ва бошқа олимлар катта ҳисса қўшганлар.

Машиналарнинг гидравлик тизимларида тебраниш жараёнларини математик моделлаштириш масалалари В.Н.Прокофьев, Д.Н.Попов, Н.А.Лакота, Н.С.Гаминин, О.В.Лебедев, Б.Азимов, Р.Р.Эргашев, Э.Ўринбоев, Ф.Муродов, Г.Қ.Аннакулова ва бошқаларнинг ишларида кўриб чиқилган.

Бугунги кунда ғилдиракли машиналарнинг гидравлик тизимларида динамик тебраниш жараёнларини ўрганиш имконини берадиган кўплаб математик моделлар, сонли алгоритмлар ва дастурий маҳсулотлар ишлаб чиқилган. Шунга қарамай, ғилдиракли машиналар гидравлик тизимининг турғунлиги ва стабиллаштириш омилларини ўрганиш, баҳолаш ва таҳлил қилишга имкон берадиган математик ва компьютер моделларини ишлаб чиқиш муаммолари етарли ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси М.Т.Ўрозбоев номидаги Механика иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институтининг ФА-Ф8-Ф092 – «Мураккаб тебраниш режимларида ишлайдиган машинасозликда юритмалар динамик тизимларини тадқиқ қилишнинг илмий асосларини ишлаб чиқиш» лойиҳаси (2007-2011), Ф2-ФА-0-10310/Ф2-ФА-Ф050 «Машинасозликда юритма тизимларнинг динамик чизиксиз жараёнларини тадқиқ қилиш усулларини ишлаб чиқиш» (2012-2016), БВ-М-Ф4-001 «Мураккаб иссиқлик ва модда алмашинувига доир кўп ўлчовли масалаларнинг математик моделлари ва тақсимланган самарали ҳисоблаш алгоритмлари» (2017-2020) бўйича илмий-тадқиқот ишлари доирасида олиб борилди.

Тадқиқотнинг мақсади машиналар гидравлик тизимларининг тебраниши ҳаракатларини стабиллаштириш динамик жараёнларини ҳисоблашнинг математик моделлари ва сонли алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

чизиксиз юкламали гидравлик юритмани стабиллаштиришнинг математик моделини ишлаб чиқиш;

чизиксиз характеристикага эга бўлган гидравлик юритмани стабиллаштиришнинг математик моделини Ляпуновнинг иккинчи усули асосида ишлаб чиқиш;

ғилдиракли машина гидротақсимлагичи бошқарув каналида юзага келадиган гидравлик зарб жараёнини сифат жиҳатдан таҳлил қилиш.

ғилдиракли машиналар гидравлик қисмларини (амортизатор, гидротақсимлагич) стабиллаштириш математик моделларини ишлаб чиқиш;

Ляпунов усули, Брокетт стабиллаш муаммоси ва стохастиклик ҳақидаги Синай мезони асосида ғилдиракли машиналарнинг гидравлик тизимидаги тебранма ҳаракатларни сифат жиҳатдан тадқиқ қилишнинг умумлаштирилган услубини ишлаб чиқиш.

Тадқиқот объекти сифатида ғилдиракли машиналар гидравлик тизимларининг тебранма ҳаракатларини стабиллаштитиш жараёнлари олинган.

Тадқиқот предметини ғилдиракли машиналарининг чизиксиз динамик тизимлари назариясининг оддий дифференциал ва хусусий ҳосилали дифференциал тенгламаларини сифатли тадқиқ қилиш усул ва алгоритмлари ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида математик моделлаштириш, чизиксиз механика, суюқликлар ва газлар механикасининг асосий қоидалари, автоматик ростлаш ва бошқариш назарияси ва дифференциал тенгламаларни сифат жиҳатдан тадқиқ қилиш назарияси усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

гидравлик тизим гидроцилиндридаги демпферлаш ва ташқи юк қаршилиги чизиксиз бўлган ҳоллар ҳисобга олиниб, чизиксиз юкламали гидравлик юритмани стабиллаштиришнинг математик модели асосида сонли алгоритми ишлаб чиқилган;

кўчиш ва тезлик бўйича тескари боғланишига эга бўлган, чизиксиз характеристикали гидравлик тизимни стабиллаштиришнинг математик модели Ляпунов функциялари усули асосида ишлаб чиқилган ва ечиш алгоритми тузилган;

Рунге-Кутта усули асосида ғилдиракли машиналар гидравлик узелларидаги мураккаб тебраниш жараёнларини тадқиқ қилиш учун сонли ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган;

Брокетт стабиллаш муаммоси, стохастиклик ҳақидаги Синай мезони ва стабиллаш бўйича Ляпунов усули бирлаштирилиши орқали ғилдиракли транспорт воситаларининг гидравлик тизимлари тебранма ҳаракатларини умумлаштирилган сифат жиҳатдан тадқиқ қилишнинг янги усули ишлаб яратилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

ғилдиракли машиналар конструкцияларидаги мураккаб тебранишларни

ҳисоблаш учун алгоритм ва дастур ишлаб чиқилган;

гидротақсимлагичнинг бошқариш каналида (бошқарув золотнигининг ёпилиш қисмида) вужудга келадиган гидравлик зарб жараёнини ўрганиш йўли билан аниқландики, олинган босимларнинг ўзгариши, бошқа муаллифлар олган бирлик импульс берилишда қувурдаги босим тебранишларининг сўниши осциллограммалари экспериментал маълумотларига мос келиши кўрсатилган;

стабиллаштириш қонунини аниқлаш асосида ғилдиракли машиналар гидравлик тизимларидаги тебраниш жараёнларини самарали бошқариш бўйича тавсиялар таклиф этилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги математик моделларининг динамик жараёнларни тавсифлаш қонунлари асосида (энергиянинг сақланиши қонуни), қатъий шакиллантирилганлиги назарий ва илмий асосланган ҳисоблаш математикаси усулларида фойдаланилганлиги билан асосланади, ҳисобланган динамик характеристикалар сифат жиҳатдан кутиладиган физик жараёнларга мос келади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ғилдиракли машиналар гидравлик тизимларининг мураккаб тебранишлари масалаларини характеристикаларнинг чизиқсизлигини ҳисобга олиш орқали масалаларни математик моделлаштириш, сонли ва аналитик ечиш усуллари таклиф этилган, самарали ҳисоблаш алгоритмлари ишлаб чиқилган ва улар ёрдамида дастурий воситалар яратилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ғилдиракли машиналар гидравлик тизимларидаги тебраниш жараёнларининг ўтиш режимларини ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқиш, шунингдек, стохастик ва автотебранишларнинг вужудга келиш шартлари аниқланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ғилдиракли машиналар гидравлик тизимларидаги жараёнларни ўрганиш бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари асосида:

ғилдиракли машиналар конструкцияларидаги мураккаб тебранишларни ҳисоблаш тизими бўйича математик модель, алгоритм ва дастурий таъминот объектнинг оптимал амортизация жараёнини таъминлайдиган ғилдиракли машина осмасининг зарбда стабиллаштириш жараёнининг математик модели ва сонли алгоритми «Трактор» Махсус конструкторлик бюроси унитар корхонасига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникациялари ривожлантириш вазирлиги 2019 йил 24 сентябрдаги 33-8/6671-сон маълумотномаси). Натижада трактор гидротизимининг ишлаб чиқишда лойиҳалаш сифати ва самардорлигини ошириш, тажриба – конструкторлик машиналарининг завод синовларини ўтказиш ҳаражатларини камайтириш, ишлаб чиқариш меҳнат унумдорлигини ошириш ҳисобига бир йилда 7% самардорлик олиш имконини берган;

гидротаксимлагичнинг бошқарув канали, бошқарув (золотникнинг ёпилиши қисмида) гидравлик зарбнинг пайдо бўлиши жараёнини тадқиқ қилишнинг математик модели ва ҳисоблаш алгоритми «Хонқа Агросервис машина трактор парки ва интеграллашган сервис маркази» МЧЖ да татбиқ этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникациялари ривожлантириш вазирлиги 2019 йил 24 сентябрдаги 33-8/6671-сон маълумотномаси). Натижада гидравлик тақсимлагичларнинг ишончли ишлашини 6-7% ошириш имконини берган;

ғилдиракли машиналар конструкцияларидаги мураккаб тебранишлар ҳисоб тизими математик модели, алгоритми ва дастурий таъминоти «Қишлоқ хўжалиги инжиниринги» МЧЖда жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникациялари ривожлантириш вазирлиги 2019 йил 24 сентябрдаги 33-8/6671-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқотлар натижасида турли хил физик параметрларга эга маълумотлар базасини ташкил этиш билан стабиллаштириш жараёнини сифатли бошқаришга эришилган ва ушбу маълумотлар базаси ҳисоб ишларини 7-8% қисқартириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари, 2 та халқаро ва 7 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 25 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақола, 1 таси хорижий ва 6 таси республика журналларида нашр қилинган ҳамда 2 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномаси олинган.

Диссертациясининг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 112 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида Ўзбекистон Республика фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мувофиқ диссертация мавзуининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари белгилаб олинган, тадқиқот объекти ва предмети аниқланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён этилган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий этилиши рўйхати, нашр этилган ишлар ва диссертация ишининг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертация ишининг «**Машиналарнинг гидравлик тизимларидаги динамик жараёнларни математик моделлаштириш бўйича адабиётларнинг таҳлили**» деб номланувчи биринчи бобида гидравлик

юритмаларнинг динамикасини моделлаштиришнинг асосий қоидалари, шунингдек динамик масалаларнинг стабиллиги ва барқарорлиги масалаларининг қўйилиши келтирилган.

Биринчи бўлимда гидравлик тизимлар динамикасини таҳлил қилишнинг классик ва замонавий масалалари кўриб чиқилган.

Иккинчи бўлимда машиналар юритмалари тизимларини тадқиқ қилишнинг замонавий ҳолати ва ривожланиши таҳлил қилинган. Автомобил терморостлаш тизими ва гидравлик юритма компонентларининг турли математик моделлари кўриб чиқилган. Ғилдиракли машиналар гидравлик тизимларини тебранма (мунтазам, автотебранма, тартибсиз) ҳаракат стабиллаштириш бўйича ишлар таҳлили амалга оширилган.

Учинчи бўлимда гидравлик юритмалар динамикасини моделлаштиришнинг асосий қоидалари келтирилган. Юритмалар гидравлик тизимларининг динамикасини ўрганиш математик модели ўрганиладиган тизимнинг хоссаларини талаб қилинадиган аниқлик даражасида акс эттириши лозимлиги модел бўлишини кўзда тутилади.

Адабиётлар манбаалари ва ишлаб чиқариш соҳаларининг мавжуд муаммоларини таҳлил қилиш ишнинг тадқиқот вазифаларини шакллантириш имконини берди.

Диссертация ишининг иккинчи **«Ҳаракат тенгламалари ва машиналар юритмалари тизимларининг умумий хоссаларини тадқиқ бобида ишлаб чиқилган чизиксиз юкламали гидротизимни стабиллаштириш математик модели берилган Ляпуновнинг тизим стабиллигини таъминловчи функцияси қурилган.**

Биринчи бўлимда ечимнинг стабиллиги ва барқарорлиги масалаларини қўйилишига доир материаллар тўпланган.

Бошқариладиган тизим, бошқариладиган объект ва ҳаракат қўзғалиши қуйидаги тенглама орқали тавсифланади:

$$\dot{x} = F(x, t) + G(x, t)u, \quad (1)$$

бу ерда $x - n$ ўлчамли вектор; $F(x, t)$ – вектор-функция, $G(x, t) - (n \times m)$ ўлчовли матрица, $u - n$ ўлчамли бошқариш вектори, $m \leq n$.

Стабиллаштириш қонунини бевосита шакллантирадиган қурилма ростлагич дейилади.

Стабиллаштириш масаласи t_0 ва x_0 бўйича бир текис асимптотик барқарорлик (турғунлик) талабларини ўз ичига олади. Барча ҳолларда бундай турдаги масалаларни ечилишининг асосий усули бўлиб Ляпунов функциялар усули хизмат қилади. Бу усул доирасида қўйилган масаланинг ечилиши қуйидагича тарзда берилади:

Исталган бошқариш $u = u^*(x, t)$ қонуни учун $S_t = \{x, t \mid \|x\| \leq s^0 < r^0, t \geq 0\}$, соҳани қаноатлантирадиган

$$\left\langle \frac{\partial V}{\partial x}, F + Gu^* \right\rangle + \frac{\partial V}{\partial t} = -W(x, t), \quad (2)$$

шартнинг бажарилиши, агар $V(x, t)$ ва $W(x, t)$ мусбат аниқланган функциялар бўлса, стабиллаштириш қонуни ҳисобланади.

Агар Ляпунов функцияси (1) тенглама бўйича аниқланган бўлиб, (2) ифоданинг чап қисмига қўлланса, маълум амаллардан кейин топилган функция $W(x, t)$ манфий ишорага эга бўлиши керак, у ҳолда теоремага мувофиқ стабиллаштириш қонуни $\lambda(x, t) > 0$ шарт бажарилганда қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$u^* = -\frac{\lambda}{2} G^T \frac{\partial V}{\partial x}.$$

Иккинчи бўлимда чизиксиз юкламали гидравлик юритманинг динамикаси тадқиқ қилинган. Ўзгарувчан бир текис беришли насос, боғлаш қузури ва F актив юзали гидроцилиндрдан ташкил топган гидравлик юритмани кўриб чиқамиз.

Суюқлик сарфи ва юклама тенгламалари қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$uQ_x = Fv + \tau F^2 p + \mathcal{G} F^2 \dot{p}, \quad pF = P_0 + cpF + Cv + m\dot{v} + f, \quad (3)$$

Автотебранишларнинг вужудга келиши шarti диссертация ишида келтирилган ўлчамсиз янги ўзгарувчиларни киритиш орқали олинган.

(6) тенгламалар тизими қуйидаги кўринишга келтирилган:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -x_1 - 2\zeta x_2 - bx_1^2 - 2b \frac{\mathcal{G}}{\tau T} x_1 x_2. \end{cases} \quad (4)$$

(4) тенгламалар тизими асосида $\frac{dV}{dt}$ қуйидаги шаклда олинган:

$$\frac{dV}{dt} = -x_1^2 - x_2^2 - bx_1^3 - \left(1 - \frac{b}{\zeta}\right) x_1^2 x_2 - \frac{2b\mathcal{G}}{\zeta\tau T} x_1 x_2^2. \quad (5)$$

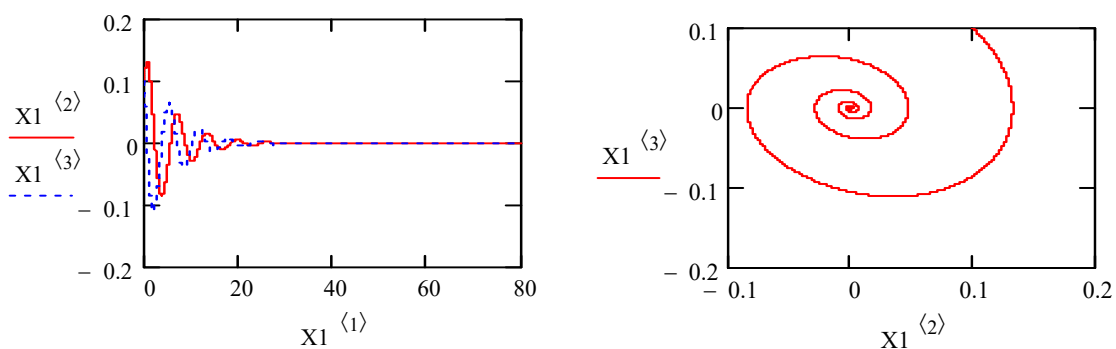
Учинчи бўлимда тизимни стабиллаш ҳақидаги масала кўриб чиқилган. Қаралаётган ҳолда қўзғалма ҳаракат u бошқариш ҳисобга олиниши билан (4) тенглама орқали тавсифланади:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -x_1 - 2\zeta x_2 - bx_1^2 - 2b \frac{\mathcal{G}}{\tau T} x_1 x_2 + u_2. \end{cases}$$

(5) ифодага мувофиқ, $V(x)$ мусбат аниқланган функция ҳисобланади, $W(x_1, x_2)$ эса (4) ифодага асосан қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$W(x_1, x_2) = -\frac{1}{2} \frac{\zeta+1}{\zeta} bx_1^2 x_2 - \frac{2b\mathcal{G}(\zeta+1)}{\tau T \zeta} x_1 x_2^2 + 2 \frac{\zeta^2+1}{\zeta} x_1 - \lambda \left[2 \frac{(\zeta^2+1)^2}{\zeta^2} x_1^2 + \frac{1}{8} \frac{(\zeta+1)^2}{\zeta^2} x_2^2 \right],$$

Агар $W(x_1, x_2)$ – мусбат аниқланган функция бўлса, у ҳолда (4) қўзғолмас ҳаракат асимтотик барқарор бўлади, бунда бошқариш қонуни қуйидаги шаклга эга бўлади: $u_1^* = 0$, $u_2^* = -\lambda \frac{\zeta^2+1}{\zeta} x_2$.



1-расм. Тебранишларни вақт бўйича ўзгариши ва тизимнинг фазавий кўринишлари: $\xi=0,0001$; $b=1$; $\theta=0,01$; $\tau=1$; $T=1$

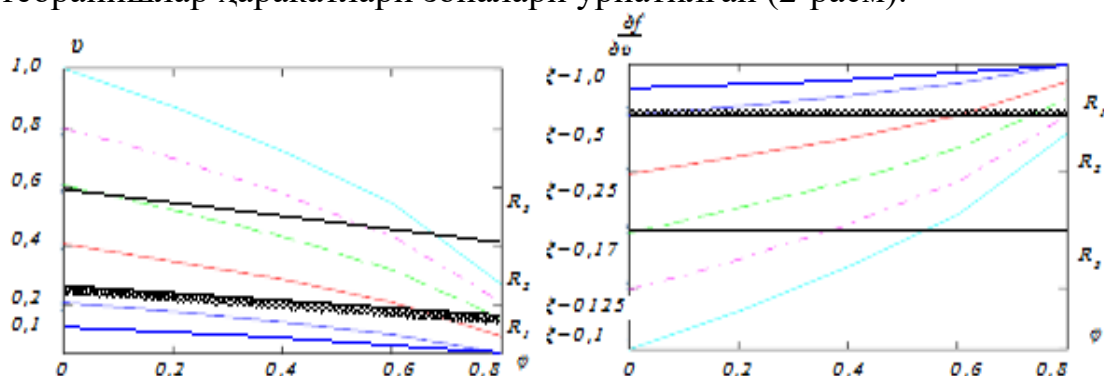
1- расмдан кўриниб турибдики, u_2^* стабиллаш қонунининг киритилиши тизимни автотебранишлар режимдан, сўниш режимига яъни тизимни стабиллашган ҳолатга ўтказди.

Тўртинчи бўлимда гидравлик двигатель билан кетма-кет уланган дроссели гидравлик юритманинг ростлаш хоссаларини аниқлаш ҳақидаги масала кўриб чиқилган.

Кириши қисмига $\alpha=0,5$ ва $\alpha=1$ чизиксиз характеристикага (47 ПГ 11 типдаги насос, ГЦ 75) гидравлик тизими ва (НШ 32 типдаги насос, ГЦ 80) бўлган КИ-4815М гидравлик стенди механик характеристикалари ҳисобланиб солиштирма таҳлил қилинди.

Натижалар кўрсатдики, дросселли гидравлик тизимларнинг тўртта олинган механик характеристикалари оиласидан, номинал юкламаларда, $\alpha=0,5$ бўлгандаги чизиксиз характеристикали тизим энг афзал тизим.

КИ-4815М гидравлик стенд учун барқарор ва нобарқарор ҳаракат турлари соҳаларининг R_1 , R_2 ва R_3 ҳисоблаш зоналари, шунингдек автотебранишлар ҳаракатлари зоналари ўрнатилган (2-расм).



2-расм. Стабиллаштиришда гидравлик юритманинг учта ўзига хос ҳаракат соҳалари

Диссертация ишининг учинчи “Гидравлик тизимлар ҳаракатларини стабиллаштиришни моделлаштириш” бобида ишлаб чиқилган чизиксиз характеристикали гидравлик тизимни стабиллаштиришнинг математик модели келтирилган, Ляпунов кўрсаткичлари асосида гидравлик тизимнинг тебранувчанлиги даражасини баҳолаш амалга оширилган.

Биринчи бўлимда гидравлик тизимнинг ўтиш жараёнлари олинган.

Бошқариш объектининг ҳолати қуйидаги дифференциал тенгламалар орқали тавсифланади:

$$m \frac{d^2 y_m}{dt^2} = p_u F_u - c_{св} (y_{ум} - y_m) - (P_{mp.u}) \quad (6)$$

гидроцилиндр поршени ҳаракат тенгламаси, бу ерда $y_{ум}, y_m$ – поршен ва масса кўчиши координаталари; P_{mp} – ишқаланиш кучи; F_u – гидроцилиндр поршени ишчи юзаси; $c_{св}, c_n$ – ўнг, чап пружиналар биқирлиги

$$m_n \frac{d^2 y_{ум}}{dt^2} = F_{u1} p_1 - F_{u2} p_2 - c_{св} (y_{ум} - y_m) - P_{mp.u},$$

гидроюритма чиқиш звеносининг ҳаракат тенгламаси, бу ерда $P_{mp} = k_{mp} \frac{dy_{ум}}{dt}$. гидроюритма чиқиш звеносига келтирилган масса ва чиқиш

звеносининг ҳаракат тенгламаси:

$$m \frac{d^2 y_m}{dt^2} + k_{mp} \frac{dy_{ум}}{dt} + c_{св} y_m + c_n y_m = c_{св} y_{ум}, \quad k_{mp} \frac{dy_{ум}}{dt} + c_{св} y_{ум} = -c_n y_m - F_u p_n$$

Қуйидаги алмаштиришларни орқали:

$$\delta_1 = \frac{k_m}{m}, \quad m_1 = \frac{c_{св}}{m}, \quad k_1 = \frac{c_{св} + c_n}{m}, \quad \alpha_1 = \frac{F_u p_n}{k_{ум}}, \quad \alpha = \frac{c_{св}}{k_{ум}}, \quad G_1 = \frac{c_n}{k_{ум}},$$

(6) тенгламани қуйидаги кўринишга келтирамиз:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -\delta_1 x_1 - m_1 x_2 - k_1 F(x_3), \\ \dot{x}_2 = G_2 x_1 - \alpha x_2 + G_1 x_3, \\ \dot{x}_3 = x_1, \end{cases} \quad (7)$$

бу ерда $m_1 = \frac{1}{m}, \delta_1 = \frac{\delta}{m}, k_1 = \frac{k}{m}; F(x) = x^2$.

(7) тизимнинг характеристик кўпҳади қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\lambda^3 + p\lambda^2 + q\lambda + r = 0, \quad (8)$$

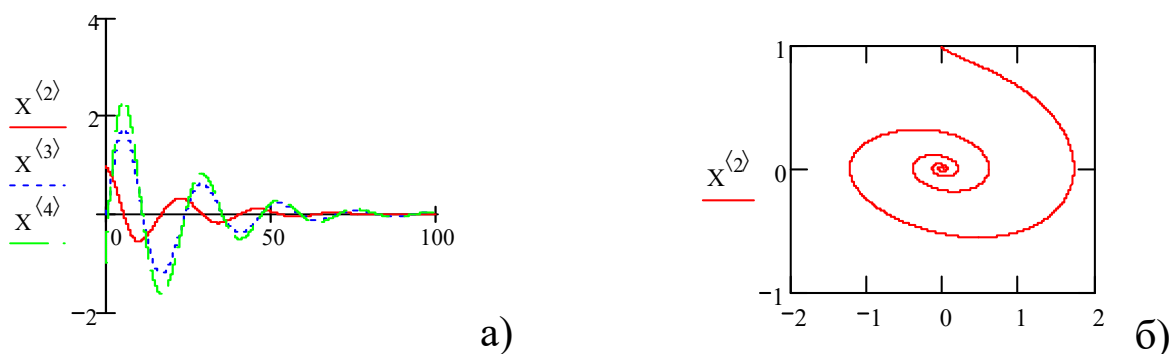
бу ерда $p = \alpha + \delta, \quad q = \alpha \delta_1 + m_1 G_2, \quad r = m_1 G_1$.

Андронов-Хопф бифуркация нуктасида характеристик кўпҳад иккита ўзаро уйғун фақат мавҳум илдизларга эга бўлиши керак. (8) кўпҳад λ^2 ва λ бўлганда коэффициентларнинг кўпайтмаси эркин ҳадга тенг бўлса, иккита фақат мавҳум илдизларга эга бўлади, яъни:

$$(\alpha + \delta_1)(\alpha \delta_1 + m_1 G_2) = m_1 G_1.$$

3-расмда $m=10; \delta=0.9; \alpha=1; G_1=0.75; G_2=0.75; k=1$ параметрлар қийматларида чизиксиз характеристикали гидравлик тизимнинг $x_1 x_2$ ва $x_1 x_3$ текисликларидаги ўтиш режимининг вақт бўйича ўзгариши ва фазавий диаграммаси тасвирланган.

Иккинчи бўлимда Ляпунов функцияси қурилган.



3- расм. Тизим тебраниш режимининг вақт бўйича ўзгариши

(7) тизим учун Ляпунов функциясини қуйидаги шаклда аниқлаймиз:

$$V(x_1, x_2, x_3) = \frac{1}{2}\gamma_1 x_1^2 + \frac{1}{2}\gamma_2 x_2^2 + \frac{1}{2}\gamma_3 x_3^2 + \gamma_{12} x_1 x_2 + \gamma_{13} x_1 x_3 + \gamma_{23} x_2 x_3$$

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_{12}, \gamma_{13}$ ва γ_{23} номаълумларни шундай аниқлаймизки. улар

$$\frac{dV_1}{dt} = -(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2)$$

кўринишдаги функция орқали манфий аниқланган функция бўлсин.

(7) тизим учун Ляпунов функцияси қуйидаги шаклда берилиши мумкин:

$$V(x_1, x_2, x_3) = \frac{1}{\delta} \left[\frac{\delta G_1 G_2 - \alpha(mG_1 + \delta)}{mG_1 - \delta} + 1 \right] x_1^2 + \frac{1}{\alpha} x_2^2 + \left(\frac{\delta G_1 - G_2}{G_1} \frac{\delta G_1 G_2 - \alpha(mG_1 + \delta)}{mG_1 - \delta} + \right. \\ \left. + \frac{G_2}{G_1} \right) x_3^2 + \frac{\delta G_1 G_2 - \alpha(mG_1 + \delta)}{mG_1 - \delta} x_1 x_3 + \frac{1}{G_1} \left[\frac{\delta G_1 G_2 - \alpha(mG_1 + \delta)}{mG_1 - \delta} - 1 \right] x_2 x_3, \quad (9)$$

функциянинг ҳосиласи эса қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\frac{dV}{dt} = -x_1^2 - x_2^2 - x_3^2 - \left[\frac{m}{\delta} \frac{\delta G_1 G_2 - \alpha(mG_1 + \delta)}{mG_1 - \delta} - \left(\frac{m}{\delta} + \frac{G_2}{\alpha} \right) \right] x_1 x_2 - \\ - \frac{k}{\delta} \left(\frac{\delta G_1 G_2 - \alpha(mG_1 + \delta)}{mG_1 - \delta} + 1 \right) x_1 x_3. \quad (10)$$

(10) ифодадан кўришиб турибдики, у манфий аниқланган функция ҳисобланади ва (7) тизимнинг мувозанати ҳолати барқарорлигини тасдиқлайди.

Учинчи бўлимда (7) тизимни стабиллаштириш ҳақидаги масала кўриб чиқилган.

Σ кўзғалма ҳаракат қаралаётган ҳолда қуйидаги тенгламалар орқали ёзилади:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -\delta_1 x_1 - m_1 x_2 - k_1 u, \\ \dot{x}_2 = G_2 x_1 - \alpha x_2 + G_1 x_3, \\ \dot{x}_3 = x_1, \end{cases}$$

$W(x_1, x_2, x_3)$ мусбат аниқланган функцияни қуйидаги кўринишда топамиз:

$$W(x_1, x_2, x_3) = - \left[\delta + \frac{\lambda}{2} (\gamma_1 + \gamma_{13}) \right] (\gamma_1 + \gamma_{13}) x_1^2 - \left(\alpha + \frac{\lambda}{2} \right) (\gamma_2 + \gamma_{23}) x_2^2 - \frac{\lambda}{2} (\gamma_2 + \gamma_{13} + \gamma_{23})^2 x_3^2 + \\ + \left[G_2 (\gamma_2 + \gamma_{23}) + m (\gamma_1 + \gamma_{13}) \right] x_1 x_1 + (\gamma_3 + \gamma_{13} + \gamma_{23}) x_1 x_3 + G_1 (\gamma_2 + \gamma_{23}) x_2 x_3.$$

Бу ҳолда стабиллаштириш қонуни қуйидагича берилади:

$$u^* = - \frac{\lambda k_1 \gamma_*}{2} x_3$$

$$\text{бу ерда } \gamma_* = \frac{G_2 - 1}{G_2} + \left[(\delta_1 + 1) - \frac{G_2 - 1}{G_1} \right] \frac{\delta_1 G_1 G_2 - \alpha (m_1 G_1 + \delta_1)}{m G_1 - \delta_1}.$$

Тўртинчи бўлимда Ляпунов кўрсаткичлари асосида гидравлик тизимнинг тебранувчанлиги даражаси баҳоланган олинган.

иссертация ишининг тўртинчи «Ғилдиракли машиналарнинг гидравлик туғунларидаги тебраниш жараёнларини моделлаштириш» бобида ишлаб чиқилган математик моделлар, ғилдиракли машинани осилиши тебранишларини стабиллаштиришда Брокетт муаммосини қўллаш усуллари берилган, гидравлик тақсимлагичнинг бошқариш каналида вужудга келадиган гидравлик зарба тадқиқ қилинган.

Биринчи бўлимда бошқариладиган тизимларнинг ҳаракати динамик жараёнларини тавсифлаш қонунлари асосида зарба автомобилнинг осилишини стабиллаш жараёнининг математик модели ишлаб чиқилган ва тадқиқ қилинган. Гидравлик амортизатор чизиксиз характеристикага эга бўлганда унинг кузовнинг тебранишларига таъсири кўрсатилган. Кузов олд қисмининг ҳаракатланиши тенгламаси қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$M \ddot{z} + kz = \mu \dot{z} + \chi \dot{z}^2 \quad (11)$$

бу ерда M – олд ғилдиракларга тушадиган рессор ости оғирлиги; Z – ғилдираклар ўқи остида ётадиган кузов олд қисмининг вертикал кўчиши; λ ва χ – чизиксиз демпфер коэффициентлари; $h \dot{z}$ – кўзғатувчи куч; k – олд ғилдираклар осмаси эластик элементининг бикирлиги.

Қуйидаги белгилашларни киритамиз:

$$x = z, \quad y = \dot{z}, \quad \tilde{k} = \frac{k}{M}, \quad \tilde{\mu} = \frac{\mu}{M}, \quad \tilde{\chi} = \frac{\chi}{M}$$

(11) тенгламани қуйидаги кўринишга келтирамыз:

$$\begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = kx + \mu y + y \chi_1(y), \end{cases} \quad (12)$$

бу ерда қуйидаги белгилаш қабул қилинган:

$$\chi_1 = \chi_1(y) = \chi y \quad (13)$$

(12) тенгламалар тизимидан (13) белгилашни ҳисобга олган ҳолда стационар режимнинг координаталарини аниқлаймиз:

$$x_{01} = x_{02} = 0, \quad y_{01} = 0, \quad y_{02} = \mu \chi^{-1}.$$

(12) тенгламалар тизимига бошланғич тезликка Δy_0 аддитив қўшимча кўринишида бошқаришни киритамиз

$$\Delta y_0 = \alpha(y_0 - y), \quad \alpha \geq 0.$$

Барқарорлик (турғунлик) соҳасини баҳолаш теоремасига асосан ростлагичнинг (α коэффициентнинг) стационар режимнинг барқарорлиги захирасига таъсирини баҳолаймиз. Қуйидаги нисбатга ўтиш билан

$$\delta = x - x_0, \quad \sigma = y - y_0, \quad (14)$$

бу ерда $y_0 = y_{02}$, кўзгалма ҳаракат тенгламасини қуйидаги кўринишда оламиз:

$$\dot{x}_i = A(\sigma_i)x_i + a(\sigma_i)b(\sigma_i), \quad (15)$$

бу ерда

$$x = \begin{pmatrix} \delta \\ \sigma \end{pmatrix}, \quad A(\sigma) = \begin{pmatrix} 0 & 1 - \alpha \\ k & \mu - \alpha - \chi_1 \end{pmatrix}, \quad a = \begin{pmatrix} \mu^{-1} \\ 1 \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} 1 \\ -y_* \end{pmatrix}, \quad y_* = y_{02}$$

(15) учун Ляпунов функциясини квадратик форма шаклида оламиз:

$$v = x_1^2 + 2\gamma x_1 x_2 + \beta^2 x_2^2.$$

Ляпунов функциясининг ҳосиласини (14) ҳисобга олинган ҳолда қуйидаги формада оламиз:

$$\dot{v} = 2 \{ \gamma_{11} x_1^2 + \gamma_{12} x_1 x_2 + \gamma_{22} x_2^2 + \gamma_1 x_1 + \gamma_2 x_2 \},$$

бу ерда коэффициентлар

$$\gamma_{11} = \gamma k, \quad \gamma_1 = y_* [1 + \gamma(\mu - \chi_1)], \quad \gamma_2 = y_* [\gamma + \beta^2(\mu - \chi_1)],$$

$$\gamma_{22} = (1 - \alpha)\gamma + \beta^2(\mu - \alpha - \chi_1), \quad \gamma_{12} = k\beta^2 + 1 - \alpha + \gamma(\mu - \alpha - \chi_1).$$

Стационар нуқтада функциянинг минимумга эришиш шарти қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\gamma_{12}^2 - 4\gamma_{11}\gamma_{22} < 0, \quad 2\gamma_{11} > 0, \quad (16)$$

$$\Omega_0 = \{x : v < \mu_0^2\}. \quad (17)$$

Шундай қилиб, агар (16) шартлар бажарилса, у ҳолда v функциянинг $\dot{v} = 0$ соҳадаги μ минимуми (16) баҳолашни беради:

$$v = \mu_1 \leq \mu_0, \quad \mu_1 = \min \dot{v}.$$

Иккинчи бўлимда Брокетт муаммоси ғилдиракли машина кузовининг тебранишларини стабиллаштириш масаласига қўлланилган.

Кўплаб ҳолларда ростлаш тизимлари қуйидаги кўринишдаги дифференциал тенгламалар тизими орқали тавсифланади:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + BK(t)Cx, \quad x \in R^n,$$

бу ерда $K(t)$ -стабиллаштирувчи матрица, A, B, C – матрицалар.

$$M\ddot{z} + kz = (h - \lambda)\dot{z} + \chi\dot{z}^2,$$

(12) тенгламалар тизимини қуйидаги шаклда қайта ёзамиз:

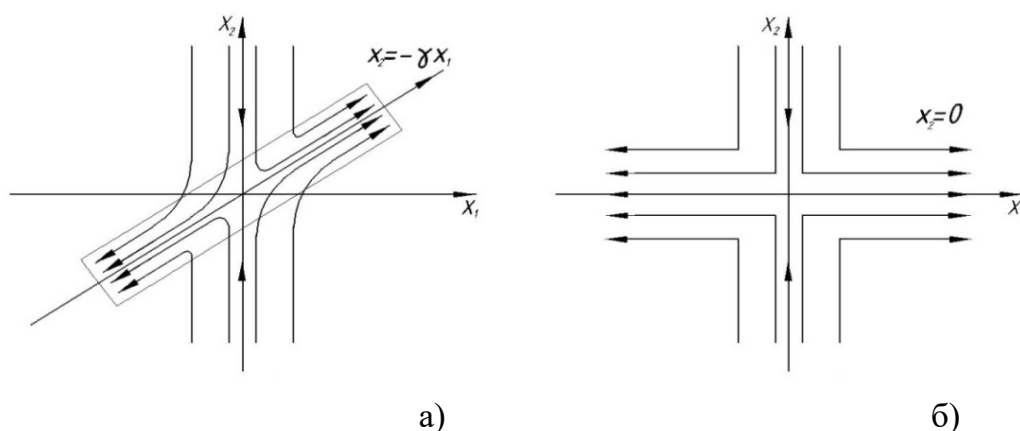
$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -\mu x_2 - kx_1 - k_0(x_2 + \gamma x_1). \end{cases} \quad (18)$$

бу ерда $\lambda = k_0$, $x_2 = k_0\gamma x_1$ кабул қилинган.

$$K(t) = k_0 \text{ ўзгармас қиймат ёрдамида стабиллаштириш масаласи} \quad (19)$$

$$\mu + k_0 > 0, \quad k + \gamma > 0.$$

шартлар бажарилса, мусбат ечимга эга бўлади.



4-расм. Тизимнинг ҳаракатланиши траекторияларининг фазовий кўринишлари а) $\gamma \neq 0$ б) $\gamma = 0$

4-расмда $\gamma \neq 0$ ва $\gamma = 0$ бўлганда тизимнинг ҳаракатланиши траекторияларининг фазовий кўринишлари келтирилган. Расмлардан тизимнинг ҳаракатланиши траекторияларининг нотурғунлиги кўриниб турибди, лекин $K(t) = k_2$ ортганда тизим асимптотик барқарор бўлиб қолади.

(18) тенгсизликни қаноатлантирадиган k_0 сон мавжуд бўлиши учун $\gamma \leq 0$, $\mu\gamma > k$ нисбатлар бажарилиши зарур ва етарли бўлади.

Учинчи бўлимда Синай мезони бўйича тизимнинг стохастик хусусиятларининг пайдо бўлиши тадқиқ қилинган.

Синай стохастиклик мезони қуйидагича:

$$A(x)L^+(x) \subset L^+(\hat{T}x),$$

$$A^{-1}(x)L^-(x) \subset L^-(\hat{T}^{-1}x),$$

агар шартлар бажарилса, тизим ҳаракати стохастик бўлади.

\hat{T} акслантириш x_1, x_2 ўзгарувчилар бўйича (17)га мос равишда қуйидаги кўринишга эга бўлсин:

$$\hat{T}(x_1, x_2) = (\{x_2, (\mu + k_0)x_1 + (k + \gamma k_0)x_2\}), \quad (20)$$

бу ерда $\mu + k_0 > 0, k + \gamma k_0 > 0$ шарт бажарилади. У ҳолда (20) тизимнинг A матрицаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ \mu + k_0 & k + \gamma k_0 \end{pmatrix}$$

Бу берилишда $a = (a_1, a_2)$ бўлсин. У ҳолда $Aa = (\lambda a_1, \lambda^{-1} a_2)$, бўлади, L^+, L^- конуслар орасидаги чегара учун тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$|A(\bar{a})|^2 = |\bar{a}|^2$$

ёки

$$(\lambda \bar{a}_1)^2 + (\bar{a}_2 / \lambda)^2 = \bar{a}_1^2 + \bar{a}_2^2,$$

унинг ечими куйидагича бўлади:

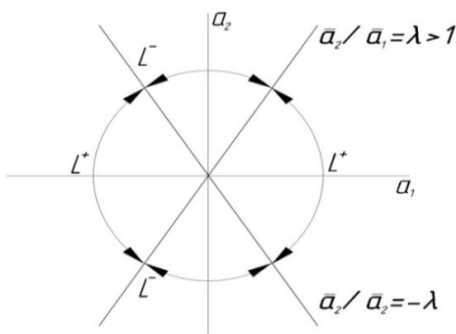
$$\bar{a}_2 / \bar{a}_1 = \pm \lambda.$$

ва x_1, x_2 ўзгарувчиларга боғлиқ бўлмайди. μ, k_0 ва γ сонлар A матрицанинг λ_1 ва λ_2 хос сонлари ҳақиқий ва турлича бўлсин.

Бу ҳолда $\lambda_1 = \lambda > 1, \lambda_2 = \frac{1}{\lambda} < 1$ бўлади. (20) матрица учун λ куйидаги қийматларга эга бўлади:

$$\lambda_1 = \frac{k + \gamma k_0 + \sqrt{(k + \gamma k_0)^2 + 4(\mu + k_0)}}{2}, \lambda_2 = \frac{k + \gamma k_0 - \sqrt{(k + \gamma k_0)^2 + 4(\mu + k_0)}}{2}.$$

Шундай қилиб, (19) шартлардан биринчиси \hat{T} акслантириш L^+ чўзиладиган векторларнинг бутун конусини кейинги вақт momentiда чўзиладиган векторлар ётадиган конуснинг ичига ўтказишини билдиради. (19) шартлардаги иккинчи шарт сиқиладиган векторлар учун ўхшаш тарзда кўринишга эга ва сиқиладиган векторлар чўзиладиган векторлар конусига тушмаслигини билдиради.



5-расм. Икки ўлчамли акслантириш учун сиқиладиган ва чўзиладиган векторлар конуслари

Бу чўзиладиган конус $|\bar{a}_2 / \bar{a}_1| < \lambda$ бўлган векторлардан, сиқиладиган конус эса $|\bar{a}_2 / \bar{a}_1| > \lambda$ бўлган векторлардан ташкил топишини билдиради (5-расм), бу 4- бобнинг 2- бўлимида олинган фазавий кўриниш билан (4 б- расм) тўлиқ тасдиқланади.

Тўртинчи бўлимда гидротаксимлагичнинг бошқариш каналидаги гидравлик зарб тадқиқ қилинган. Қаралаётган ҳол учун ишчи суюқликнинг ҳаракатланиш дифференциал тенгнамаси куйидаги кўринишга эга бўлади:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + 2aw \right), \quad -\frac{\partial p}{\partial t} = \rho c^2 \frac{\partial w}{\partial x}, \quad (21)$$

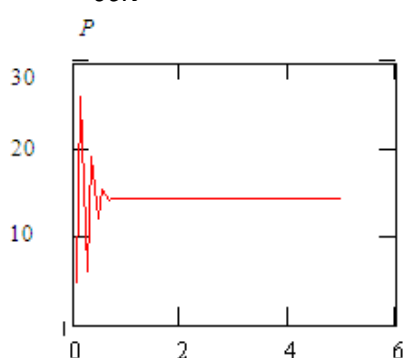
бу тизимнинг ечими $t = 0: w = 0, p = 0; x = 0: p = 0; x = l: w = A = const$, бўлганда олинган

$$w(x,t) = A - \frac{4A}{\pi} e^{-at} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\cos \xi_n t + \frac{a}{\xi_n} \xi_n t \right) (2n-1)^{-1} \sin \left[\frac{2n-1}{2} \cdot \frac{\pi(l-x)}{l} \right].$$

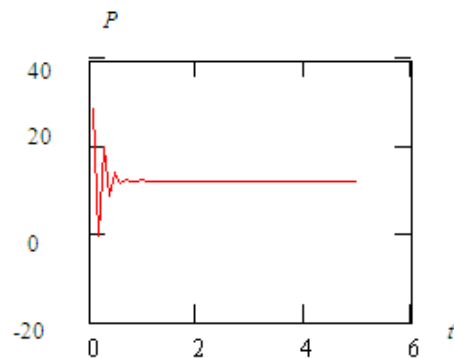
$$(p)_{x=l} = (p)_{x=0} - \left(2a\rho l A + \frac{4\rho c A}{\pi} e^{-at} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(\xi_n t - 2\theta_n)}{(2n-1)\cos\theta_n} \right),$$

бу ерда $\operatorname{tg}\theta_n = \frac{a}{\xi_n}$, $a = \frac{32\nu}{2d^2} = 6,67 \frac{1}{\text{сек}}$; $d = 1,2 \text{ см}$; $c = 1380,59 \frac{\text{М}}{\text{сек}}$; $\rho = 0,8 \div 0,95 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

$$A = 150 \div 800 \frac{\text{см}}{\text{сек}}.$$



а)



б)

6- расм Бошқариш золотнигини тўсишни бошқариш каналида босимни ўзгаришлари

$$a = 6,67; \rho = 0,9; A = 800; l = 12; c = 380.59$$

$$a = 6,67; \rho = 0,9; A = 800; l = 13; c = 380.59$$

6- расмда параметрларнинг турли қийматларида бошқариш золотнигининг ёпиш қисмида пайдо бўладиган босим ўзгаришлари келтирилган.

Расмлардан кўриниб турибдики, $t_{\text{г}}$ гидравлик зарбаларни сўндириш 0,1 дан 0,5 секундгача вақтда бўлиб ўтади.

ХУЛОСА

«Машиналар гидротизимлари тебранишларини стабиллаштириш жараёнларини математик моделлаштириш» мавзусидаги диссертация бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Динамик жараёнларни тавсифлаш қонунлари асосида чизиксиз юкламага (манфий қаршилиқ типидagi чизиксиз демпферлаш) эга гидравлик юритмаларни стабиллаштириш математик модели ишлаб чиқилди.

Ляпуновнинг 2-услуи асосида тизимнинг асимтотик турғунлигини таъминловчи, Ляпунов функциясини куриш орқали тизимни стабиллаштирувчи бошқарув қонуниятлари белгиланди.

Чизиксиз характеристикали ($\alpha=0,5$, $\alpha=1$) дросселга эга [47ПТ11 типидagi насос, Гц-75] ва [НШ 32 насос, Гц80] гидравлик тизимлар механик характеристикаларининг солиштирма таҳлили, номинал юкланиш ҳолатида олинган механик характеристикалар ичида чизиксиз характеристикали

($\alpha=0,5$) гидравлик тизим афзаллигини кўрсатди. Олинган бошқарув қонуниятлари гидравлик юритма стабиллигини таъминлаш имконини беради.

2. Кўчиш ва тезлик бўйича тесқари боғланишли гидравлик механизмни стабиллаштириш математик модели ишлаб чиқилди. Тизим асимптотик турғунлигини таъминловчи Ляпунов функцияси қурилди. Мажбурлаш орқали стабилликни таъминловчи бошқарув қонуниятлари белгиланди. Ишлаб чиқилган алгоритм ва дастурдан ғилдиракли машиналар гидравлик тизимлари узелларида мураккаб тебраниш жараёнларини тадқиқ қилиш учун инфор­мацион таъминот сифатида фойдаланиш мумкин.

3. Ғилдиракли машина осмасини стабиллаштириш математик модели ишлаб чиқилди. Ляпунов функцияси услубидан фойдаланиб, гидравлик амартизаторнинг турғунлик захираси баҳоланди ва соҳалари диаграммалари тизим параметрларининг турли қийматлари учун қурилди. Улардан гидравлик тизим стационар режими турғунлиги захирасига ростловчи механизмнинг таъсирини тадқиқ қилишда фойдаланиш мумкин.

4. Ляпуновнинг стабилизация бўйича иккинчи услуби, Брокетт стабилизация муаммоси ва Синай стохастиклик мезонини бирлаштирган ҳолда ғилдиракли машиналар гидравлик тизимлари тебранувчан ҳаракатларни сифат жиҳатдан тадқиқ қилишнинг умумлашган услуби таклиф этилди.

5. Гидротаксимлагич бошқарув каналида юзага келадиган гидравлик зарб жараёни математик модели ишлаб чиқилди. Фурьенинг ўзгарувчиларни ажратиш усулидан фойдаланиб, бошқарув каналида бошқарув золотнигининг ёпилиш қисмида юзага келадиган гидравлик зарб тадқиқ қилиниб, зарб даври $t_{уд}=0,1\div 0,5$ секундни ташкил этиши (бу гидравлик тизимларнинг бошқа қисмларида зарб кечиши вақтига мос келади), диаграммалардаги камаювчи участка тақсимлагичда юзага келадиган ишчи босимнинг реал қийматларига мос келиши (яъни $P_{раб}=10\div 25$ МПа) аниқлади.

Натижалар таҳлили зарб даврида босимнинг ўзгаришлари, бошқа муаллифлар томонидан олинган бирлик босим импульси берилганда қувурдаги босим сўнувчи тебранишлари (осциллограммалари) экспериментал натижаларга мос келади. Яратилган модел тизимда зарб жараёнини пайдо бўлишининг олдини олиш имконини берди.

6. Тизимлар ҳисобий динамик характеристикалари қутилаётган физик жараёнларга сифат жиҳатдан мос келади, бу эса математик моделларнинг адекватлиги тўғрисида хулоса қилиш имконини берди.

7. Ишлаб чиқилган математик моделлар, алгоритмлар ва дастурлар “Хонқа Агросервис машина трактор парки ва интеграллашган сервис маркази” МЧЖ, “Тошкент қишлоқ хўжалиги техникалари заводи” АЖ ининг “Тошкент” махсус конструкторлик бюроси унитар корхонаси ва “Қишлоқ хўжалиги машинасозлиги конструкторлик-технологик маркази” корхоналарида жорий этилди. Натижада талаб этилган сифатли ўтиш жараёнларини таъминловчи рационал параметрларни танлаш имконияти яратилиб, гидравлик юритмалар ишончли ишлашини 6-7 % ошириш имконини берди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.Т.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ

ИГАМБЕРДИЕВ КЕРИМБЕРДИ АБДУЛЛАЕВИЧ

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАБИЛИЗАЦИИ
КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ГИДРОСИСТЕМ МАШИН**

05.01.07 – Математическое моделирование. Численные методы и комплексы программ

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2019

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2018.2.PhD/T696.

Диссертация выполнена в Институт механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т.Уразбаева АН РУз.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:

Аннакулова Гулсара Кучкаровна
кандидат физика-математических наук, с.н.с.

Официальные оппоненты:

Кабулов Анвар Васильевич
доктор технических наук, профессор

Тухтаназаров Дилмурод Салижонович
доктор философии по техническим наукам, доцент

Ведущая организация:

Ташкентский институт текстильной и лёгкой промышленности

Защита диссертации состоится «__» _____ 2020 г. в ____ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер №____). Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2019 года.
(реестр протокола рассылки №__ от «__» _____ 2019 года).

Р.Х.Хамдамов
Председатель научного совета по присуждению учёных степеней, д.т.н., профессор

Ф.М.Нуралиев
Ученый секретарь научного совета по присуждению учёных степеней, д.т.н., доцент

А.М.Полатов
Председатель научного семинара при научном совете по присуждению учёных степеней, д.ф.-м.н., профессор.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое место уделяется созданию конкурентоспособных в современных условиях технических систем, а также применению передовых информационных технологий, позволяющих решать задачи повышения эффективности общественного производства, управлять надежными транспортными средствами, связанные с развитием и совершенствованием технических, в частности гидравлических, систем. В этой связи в ряде стран мира, в том числе в США, Японии, Германии, Индии, Южной Корее, Мексике, Испании, Бразилии, Франции и Узбекистане, ведутся научные исследования по использованию современных технических систем, в частности гидравлических систем, в соответствии интенсивному развитию машин и механизмов и разработки совершенных способов управления ими в динамических решениях.

В мире ведутся научно-исследовательские работы в области решения задач управления различными физическими динамическими процессами с обеспечением надежной работы и с улучшенными показателями качества с применением информационно-коммуникационных технологий. В этом направлении важной задачей является обеспечение заданного режима функционирования для управления объектом.

В нашей Республике большое внимание уделяется проблемам создания и освоения новых видов сельскохозяйственной техники. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годы обозначены задачи, в частности: «дальнейшая модернизация и диверсификация промышленности путем перевода ее на качественно новый уровень, ... направленные на опережающее развитие высокотехнологичных обрабатывающих отраслей, ... внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику, ... модернизация и интенсивное развитие сельского хозяйства».

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит выполнению задач, указанных в следующих законодательных актах: Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-3117 от 7 июля 2017 года «О мерах по дальнейшему развитию научно-технической базы в сфере¹ сельскохозяйственного машиностроения», Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-3929 от 4 сентября 2018 года. «О мерах по совершенствованию системы управления отраслью сельскохозяйственного машиностроения», Постановление правительства Республики Узбекистан №ПП-1989 от 27 июня 2013 года «О мерах по дальнейшему развитию Национальной информационно-коммуникационной системы Республики

¹Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

Узбекистан» и в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики II - «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение» и IV - «Развитие информатизации и информационных технологий».

Степень изученности проблемы. В формировании и развитии теорий динамики и регулирования гидравлических систем, устойчивости и стабилизации большой вклад внесли Р. J. Holmes, F. C. Moon, T. Hamamoto, B. Yao, H. Li, H. Watson, G. Dostal, J. Wagner, Н. Ф. Метлюк, В. П. Автушко, Н. С. Гамынин, А. И. Баженов, А. М. Селиванов, Т. М. Башта, Н. А. Лакота, А. М. Ляпунов, В. Д. Фурасов, В. Н. Афанасьев, О. В. Лебедев, Х. Т. Тураев, А. А. Шермухамедов, Г. К. Аннакулова и другие ученые.

Задачи математического моделирования колебательных процессов в гидравлических системах машин рассмотрены в работах В. Н. Прокофьева, Д. Н. Попова, Н. А. Лакоты, Н. С. Гаминина, О. В. Лебедева, Б. Азимова, Р. Р. Эргашева, Э. Уринбоева, Ф. Муродова, Г. К. Аннакуловой и других ученых.

На сегодняшний день разработано большое число математических моделей, численных алгоритмов и программных продуктов, позволяющих исследовать динамические колебательные процессы в гидравлических системах колесных машин. Несмотря на это, проблемы разработки математических и компьютерных моделей, позволяющих изучать, оценивать и анализировать факторы устойчивости и стабилизации гидравлических систем колесных машин, изучены недостаточно.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательских работ Института механики и сейсмостойкости сооружений имени М. Т. Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан по проектам ФА-Ф8-Ф092 – «Разработка научных основ исследования динамических систем приводов в машиностроении, работающих в сложных колебательных режимах» (2007-2011 годы.), Ф2-ФА-0-10310/Ф2-ФА-Ф050 «Разработка методов исследования динамических нелинейных процессов систем приводов в машиностроении» (2012-2016 годы.), БВ-М-001 «Математические модели и эффективные распределенные вычислительные алгоритмы для решения многомерных задач сложного теплообмена» (2017-2020 годы.).

Целью исследования является разработка математической модели и численных алгоритмов расчета динамических процессов стабилизации колебательного движения гидравлических систем машин.

Задачи исследования:

разработка математическую модель стабилизации гидравлического привода с нелинейной нагрузкой;

на основе метода Ляпунова разработать математическую модель стабилизации гидравлического привода с нелинейной характеристикой;
разработка математические модели стабилизации гидравлических узлов (амортизатора, гидрораспределителя) колесных машин;

качественный анализ процесса гидравлического удара, возникающего в канале управления гидрораспределителя колесной машины;

на основе метода Ляпунова, проблемы Брокетта и критерия Синая о стохастизации разработать способ обобщенного качественного исследования колебательного движения гидравлических систем колесных машин.

Объект исследования - является процесс стабилизации колебательных движений гидравлических систем колесных машин.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы качественного исследования обыкновенных дифференциальных и дифференциальных уравнений в частных производных теории нелинейных динамических систем колесных машин.

Методы исследования основаны на применении основных положений математического моделирования, нелинейной механики, механики жидкости и газа, теории автоматического регулирования и управления, теории качественного исследования дифференциальных уравнений.

Научная новизна исследования состоит в следующем:

на основе математической модели гидропривода с нелинейной нагрузкой разработан численный алгоритм стабилизации гидравлической системы с учётом демпфирования гидроцилиндра и нелинейностей сопротивления внешней нагрузки;

на основе метода функции Ляпунова разработаны математическая модель и алгоритм решения стабилизации гидравлической системы с нелинейной характеристикой с обратной связью по перемещению и скорости;

на основе метода Рунге-Кутта разработан численный алгоритм для исследования сложных колебательных процессов в гидравлических узлах колесных машин;

предложен новый способ обобщенного качественного исследования колебательного движения гидравлических систем колесных машин путем объединения проблемы стабилизации Брокетта, критерия Синая о стохастизации и метода Ляпунова по стабилизации.

Практические результаты исследования:

разработаны алгоритм и программа расчета сложных колебаний в конструкциях колесных машин;

путем изучения процесса гидравлического удара, возникающего в канале управления (у перекрытия управляющего золотника) гидрораспределителя, выявлено, что полученные изменения давления совпадают с экспериментальными данными (осциллограммы) затухания колебаний давления в трубопроводе при подаче единичного импульса давления, полученными другими авторами;

на основе определения законов стабилизации предложены рекомендации по эффективному управлению процессами колебаний в гидравлических системах колесных машин.

Достоверность полученных результатов. Достоверность результатов исследования обосновывается строгим формулированием математических моделей на основе законов описания динамических процессов (закона сохранения энергии), использованием теоретически и практически обоснованных способов вычислительной математики, качественным соответствием расчетных динамических характеристик объекта ожидаемым физическим процессам.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов заключается в том, что предложены методы математического моделирования задач сложных колебаний гидравлических систем колесных машин с учетом нелинейных характеристик, на основе предложенных численных и аналитических методов решения задач разработаны эффективные вычислительные алгоритмы и программные средства.

Практическая значимость результатов заключается в разработке методов расчета переходных режимов колебательного процесса в гидравлических системах колесных машин, а также в выявлении условий возникновения стохастических колебаний и автоколебаний и способов их стабилизации в зависимости от внешних возмущений и параметров системы.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов исследований, проведенных по изучению процессов гидравлических систем колесных машин, разработаны:

математическая модель, алгоритм и программное обеспечение по расчету сложных колебаний в конструкциях колесных машин, математическая модель и численный алгоритм процесса стабилизации подвески колесной машины при ударе, обеспечивающие оптимальный процесс амортизации объекта, внедрены в объектах МКБ «Трактор» (Справка № 33-8/6671 от 24.09.2019 года. Министерства развития информационных технологий и коммуникаций Узбекистана). Использование научных результатов позволило повысить эффективность и качество проектирования при разработке гидравлической системы трактора, уменьшить расходы при заводском испытании опытно-конструкторских машин, повысить годовую эффективность за счет повышения трудовой производительности на 7%;

математическая модель и алгоритм расчета исследования процесса возникновения гидравлического удара в канале управления у перекрытия управляющего золотника внедрены в ООО «Ханка Агросервис МТП и ИСМ». В результате появилась возможность повышения надежной работы гидравлических систем на 6-7 %. (Справка № 33-8/6671 от 24.09.2019 года. Министерства развития информационных технологий и коммуникаций Узбекистана);

математическая модель, алгоритм и программное обеспечение по системе

расчета сложных колебаний в конструкциях колесных машин внедрены в объекте ООО «Конструкторско-технологический центр сельскохозяйственного машиностроения» (Справка № 33-8/6671 от 24.09.2019 года. Министерства развития информационных технологий и коммуникаций Узбекистана). В результате научного исследования достигнуто качественное управление процессом стабилизации путем организации базы данных с различными физическими параметрами, которая позволила сократить время расчетных работ на 7-8%.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на 3 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 25 научных работ, из них 7 научных статей, в том числе 1 в зарубежном журнале и 6 в республиканских научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, также получено 2 свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация содержит 112 страниц и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан, сформулированы цели и задачи, указаны объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены перечень внедрений результатов исследования в практику, сведения об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Обзор литературных источников по математическому моделированию динамических процессов в гидравлических системах машин»** приводятся основные положения моделирования динамики гидравлических приводов, а также постановка задач стабилизации и устойчивости динамических систем.

В первом параграфе обсуждаются классические и современные задачи исследования динамики гидравлических систем.

Во втором параграфе анализируются современное состояние и развитие исследований систем приводов машин. Рассмотрены различные математические модели автомобильной системы терморегулирования и компонентов гидравлического привода. Проведен анализ работ по стабилизации колебательного (регулярного, автоколебательного,

хаотического) поведения гидравлических систем колесных машин.

В третьем параграфе приводятся основные положения моделирования динамики гидравлических следящих приводов. Изучение динамики гидравлических систем приводов предполагает наличие модели, которая с требуемой степенью точности отображает свойства изучаемой системы.

Анализ литературных источников и насущных проблем отраслей производства позволил сформировать задачи исследования работы.

Во второй главе диссертации «**Исследование уравнений движения и общих свойств систем приводов машин**» представлена разработанная математическая модель стабилизации гидросистемы с нелинейной нагрузкой. Построена функция Ляпунова, обеспечивающая стабилизацию системы.

В первом параграфе изучены материалы, дана математическая постановка задач стабилизации и устойчивости решения.

Управляемая система, управляемый объект и возмущенное движение описываются уравнением

$$\dot{x} = F(x, t) + G(x, t)u; \quad (1)$$

здесь x – n -мерный вектор, $F(x, t)$ – вектор-функция, $G(x, t)$ – $(n \times m)$ -матрица, u – m -мерный вектор управления, $m \leq n$.

Устройство, непосредственно формирующее закон стабилизации, будем называть регулятором. Задача стабилизации содержит требование асимптотической устойчивости, равномерной по t_0 и x_0 . Во всех случаях основным методом решения задач подобного типа служит метод функций Ляпунова. В рамках этого метода поставленная задача решается следующим образом: для любого закона управления

$$u = u^*(x, t)$$

обеспечивающего в области

$$S_t = \{x, t \mid \|x\| \leq s^0 < r^0, t \geq 0\}$$

выполнение условия

$$\left\langle \frac{\partial V}{\partial x}, F + Gu^* \right\rangle + \frac{\partial V}{\partial t} = -W(x, t), \quad (2)$$

является законом стабилизации, если $V(x, t)$ и $W(x, t)$ – определено положительные функции.

Если к левой части выражения (2) применим функцию Ляпунова, определенную по уравнению (1), функция, найденная после выполнения определенных действий, должна иметь отрицательный знак, т.е. $W(x, t)$, тогда согласно теореме закон стабилизации принимает вид

$$u^* = -\frac{\lambda}{2} G^T \frac{\partial V}{\partial x}$$

при выполнении условия $\lambda(x) > 0$.

Во втором параграфе исследована динамика гидропривода с нелинейной нагрузкой. Рассмотрен гидропривод, состоящий из насоса

переменной равномерной подачи, соединительного трубопровода и гидроцилиндра с активной площадью F .

Уравнения расхода и нагрузок записываются в виде

$$uQ_x = Fv + \tau F^2 p + \vartheta F^2 \dot{p}; \quad pF = P_0 + cpF + Cv + m\dot{v} + f. \quad (3)$$

Условия возникновения автоколебаний получены путем введения новых безразмерных переменных, которые приведены в диссертации.

Система уравнений (3) сводится к виду

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -x_1 - 2\zeta x_2 - bx_1^2 - 2b \frac{\vartheta}{\tau T} x_1 x_2. \end{cases} \quad (4)$$

Функция Ляпунова, выбранная для этой задачи, получена в виде

$$V(x_1, x_2) = \frac{1}{2} \left[2 \frac{\zeta^2 + 1}{\zeta} x_1^2 + x_1 x_2 + \frac{1}{3} x_2^2 \right].$$

На основе уравнений (4) $\frac{dV}{dt}$ получена в форме

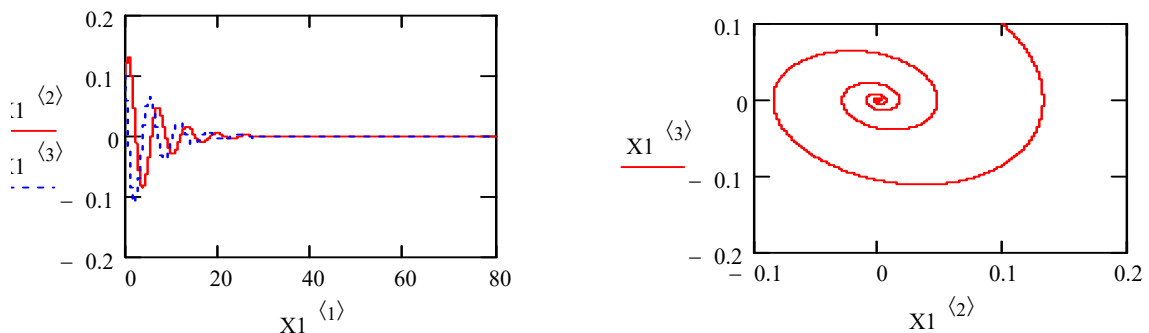
$$\frac{dV}{dt} = -x_1^2 - x_2^2 - bx_1^3 - \left(1 - \frac{b}{\zeta}\right) x_1^2 x_2 - \frac{2b\vartheta}{\zeta\tau T} x_1 x_2^2. \quad (5)$$

В третьем параграфе рассмотрена задача о стабилизации системы. Возмущенное движение в рассматриваемом случае описывается уравнениями (4) с учетом управления u :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -x_1 - 2\zeta x_2 - bx_1^2 - 2b \frac{\vartheta}{\tau T} x_1 x_2 + u_2. \end{cases}$$

Согласно соотношению (5), $V(x)$ является определено положительной функцией, а $W(x_1, x_2)$, определенная согласно выражению (4), имеет вид

$$W(x_1, x_2) = \frac{\zeta + 1}{\zeta} bx_1^2 x_2 - \frac{2b\vartheta(\zeta + 1)}{\tau T \zeta} x_1 x_2^2 - 2 \frac{\zeta^2 + 1}{\zeta} x_1 - \lambda \left[2 \frac{(\zeta^2 + 1)^2}{\zeta^2} x_1^2 + \frac{1}{8} \frac{(\zeta + 1)^2}{\zeta^2} x_2^2 \right].$$



$$\zeta = 0,0001; \quad b = 1; \quad \theta = 0,01; \quad \tau = 1; \quad T = 1$$

Рис. 1. Временная реализация колебаний и фазовые портреты системы

Если $W(x_1, x_2)$ – определено положительная функция, то невозмущенное движение (4) асимптотически устойчиво, тогда закон управления имеет следующую форму:

$$u_1^* = 0, u_2^* = -\lambda \frac{\zeta^2 + 1}{\zeta} x_2.$$

Согласно рис. 1 а и б, введение закона стабилизации u_2^* переводит систему из режима автоколебаний в режим затухания, т.е. к стабилизации системы.

В четвертом параграфе рассмотрена задача об определении регулировочных свойств гидропривода с дросселем, включенным последовательно с гидродвигателем.

Проведен сравнительный анализ механических характеристик гидравлической системы с дросселем, включенным на входе системы (насос типа 47 ПГ 11 и ГЦ 75) с гидравлическим стендом КИ-4815 М (насос НШ 32, ГЦ МС 80) с нелинейной характеристикой дросселя $\alpha = 0.5$ и $\alpha = 1$.

Результаты показали, что из четырех полученных семейств механических характеристик гидросистем с дросселем наиболее предпочтительными по жесткости при номинальных нагрузках являются системы с нелинейной характеристикой при $\alpha = 0.5$.

Для гидравлического стенда КИ-4815М установлены расчетные зоны R_1, R_2 и R_3 областей устойчивых и неустойчивых видов движения, а также зона автоколебательных движений (рис.2).

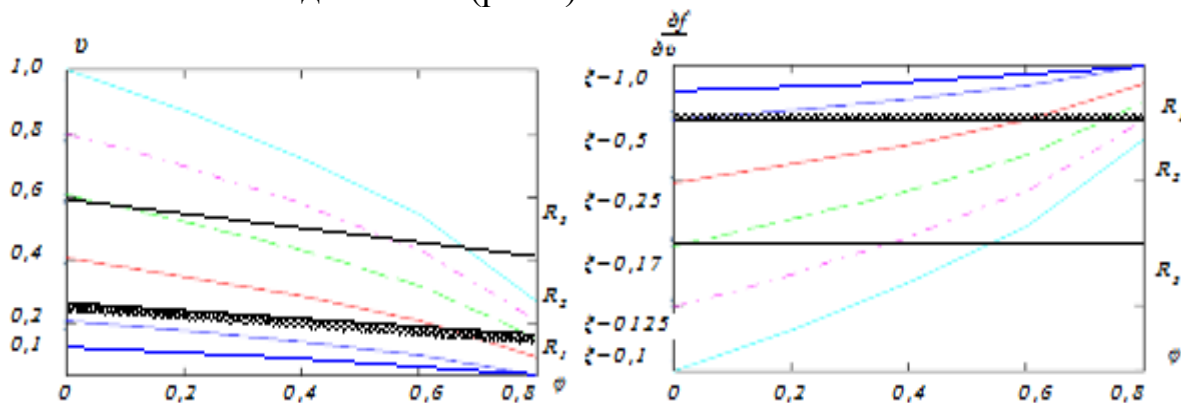


Рис. 2. Три характерные области движения гидропривода при стабилизации

В третьей главе диссертации «Моделирование стабилизации движений гидравлических систем третьего порядка» приведена разработанная математическая модель стабилизации гидросистемы с нелинейной характеристикой и произведена оценка степени колебательности гидравлической системы на основе показателей Ляпунова.

В первом параграфе получены переходные процессы гидравлической системы. Состояние объекта управления описывается дифференциальными уравнениями

$$m \frac{d^2 y_m}{dt^2} = c_{св} (y_{ум} - y_m) - c_n y_m - P_{mp}, \quad (6)$$

где $y_{ум}, y_m$ - перемещения штока гидроцилиндра и массы m ; P_{mp} - приведенная к выходному звену сила трения, уравнения движения приведенной к выходному звену гидропривода массы и выходного звена гидропривода, которые принимают вид

$$m \frac{d^2 y_m}{dt^2} + k_{mp} \frac{dy_m}{dt} + c_{св} y_m - c_n y_m - P_{mp} = c_{св} y_{ум}, \quad k_{mp} \frac{dy_m}{dt} + c_{св} y_{ум} = -c_{св} y_m - F_u P_n,$$

с учетом обозначений

$$\delta_1 = \frac{k_m}{m}, \quad m_1 = \frac{c_{св}}{m}, \quad k_1 = \frac{c_{св} + c_n}{m}, \quad \alpha_1 = \frac{F_u P_n}{k u_m}, \quad \alpha_1 = \frac{c_{cd}}{k_{ум}}, \quad G_1 = \frac{c_n}{k_{ум}},$$

система уравнений (6) сведена к виду

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -\delta_1 x_1 - m_1 x_2 - k_1 F(x_3), \\ \dot{x}_2 = G_2 x_1 - \alpha x_2 + G_1 x_3, \\ \dot{x}_3 = x_1, \end{cases} \quad (7)$$

где $m_1 = \frac{1}{m}$, $\delta_1 = \frac{\delta}{m}$, $k_1 = \frac{k}{m}$; $F(x) = x^2$.

Характеристический многочлен системы (7) имеет вид

$$\lambda^3 + p\lambda^2 + q\lambda + r = 0, \quad (8)$$

где $p = \alpha + \delta$, $q = \alpha \delta_1 + m_1 G_2$, $r = m_1 G_1$.

В точке бифуркации Андронова-Хопфа характеристический многочлен должен иметь два взаимно сопряженных чисто мнимых корня. Многочлен (8) имеет два чисто мнимых корня в том случае, когда произведение коэффициентов при λ^2 и λ равно свободному члену:

$$(\alpha + \delta_1)(\alpha \delta_1 + m_1 G_2) = m_1 G_1.$$

Отсюда следует бифуркационное значение параметра

$$G_{01} = \frac{\alpha (\alpha + \delta_1) (\alpha \delta_1 + m_1 G_2)}{\delta_1 + \alpha m_1}.$$

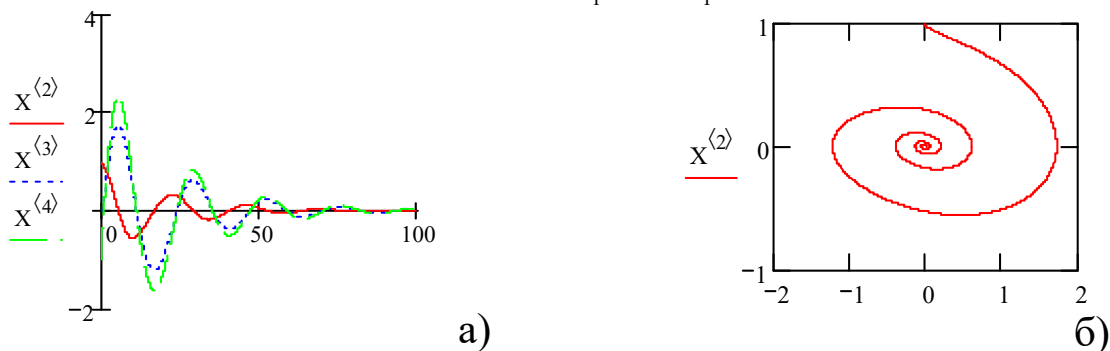


Рис. 3. Временная реализация колебательного режима системы

На рис. 4 представлены временная реализация переходного режима и фазовая диаграмма в плоскостях x_1x_2 и x_1x_3 гидравлической системы с нелинейной характеристикой при следующих значениях параметров: $m=10$; $\delta=0.9$; $\alpha=1$; $G_1=0.75$; $G_2=0.75$; $k=1$.

Во втором параграфе построена функция Ляпунова.

Функцию Ляпунова для системы (14) определяем в форме

$$V_1(x_1, x_2, x_3) = \frac{1}{2}\gamma_1 x_1^2 + \frac{1}{2}\gamma_2 x_2^2 + \frac{1}{2}\gamma_3 x_3^2 + \gamma_{12} x_1 x_2 + \gamma_{13} x_1 x_3 + \gamma_{23} x_2 x_3.$$

Неизвестные $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_{12}, \gamma_{13}$ и γ_{23} находим таким образом, чтобы производная $\frac{dV}{dt}$ была отрицательно определенной функцией вида

$$\frac{dV_1}{dt} = -(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2).$$

Функция Ляпунова для системы (7) имеет вид

$$V(x_1, x_2, x_3) = \frac{1}{\delta} \left[\frac{\delta G_1 G_2 - \alpha(mG_1 + \delta)}{mG_1 - \delta} + 1 \right] x_1^2 + \frac{1}{\alpha} x_2^2 + \left(\frac{\delta G_1 - G_2}{G_1} \frac{\delta G_1 G_2 - \alpha(mG_1 + \delta)}{mG_1 - \delta} + \frac{G_2}{G_1} \right) x_3^2 + \frac{\delta G_1 G_2 - \alpha(mG_1 + \delta)}{mG_1 - \delta} x_1 x_3 + \frac{1}{G_1} \left[\frac{\delta G_1 G_2 - \alpha(mG_1 + \delta)}{mG_1 - \delta} - 1 \right] x_2 x_3, \quad (9)$$

а производная функции (9) следующая:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} = & -x_1^2 - x_2^2 - x_3^2 - \left[\frac{m}{\delta} \frac{\delta G_1 G_2 - \alpha(mG_1 + \delta)}{mG_1 - \delta} - \left(\frac{m}{\delta} + \frac{G_2}{\alpha} \right) \right] x_1 x_2 - \\ & - \frac{k}{\delta} \left(\frac{\delta G_1 G_2 - \alpha(mG_1 + \delta)}{mG_1 - \delta} + 1 \right) x_1 x_3^2. \end{aligned} \quad (10)$$

Как видно из выражения (10), она является отрицательно определенной функцией, что подтверждает устойчивость положения равновесия системы (7).

В третьем параграфе рассмотрена задача о стабилизации системы (7).

Возмущенное движение Σ в рассматриваемом случае описывается уравнениями

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -\delta_1 x_1 - m_1 x_2 - k_1 x_3^2 - k_1 u, \\ \dot{x}_2 = G_2 x_1 - \alpha x_2 + G_1 x_3, \\ \dot{x}_3 = x_1. \end{cases}$$

Найдём положительно определенную функцию $W(x_1, x_2, x_3)$ в форме

$$\begin{aligned} W(x_1, x_2, x_3) = & - \left[\delta + \frac{\lambda}{2}(\gamma_1 + \gamma_{13}) \right] (\gamma_1 + \gamma_{13}) x_1^2 - \left(\alpha + \frac{\lambda}{2} \right) (\gamma_2 + \gamma_{23}) x_2^2 - \frac{\lambda}{2} (\gamma_2 + \gamma_{13} + \gamma_{23})^2 x_3^2 + \\ & + \left[G_2(\gamma_2 + \gamma_{23}) + m(\gamma_1 + \gamma_{13}) \right] x_1 x_2 + (\gamma_3 + \gamma_{13} + \gamma_{23}) x_1 x_3 + G_1(\gamma_2 + \gamma_{23}) x_2 x_3. \end{aligned}$$

В этом случае закон стабилизации представляется следующим образом:

$$u^* = -\frac{\lambda k_1 \gamma^*}{2} x_3,$$

$$\text{где } \gamma^* = \frac{G_2 - 1}{G_2} + \left[(\delta_1 + 1) - \frac{G_2 - 1}{G_1} \right] \frac{\delta_1 G_1 G_2 - \alpha (m_1 G_1 + \delta_1)}{m G_1 - \delta_1}.$$

В четвертом параграфе получена оценка степени колебательности гидравлической системы на основе показателей Ляпунова.

В четвертой главе «**Моделирование колебательных процессов в гидравлических узлах машин**» представлены разработанные математические модели, способы применения проблемы Брокетта при стабилизации колебаний подвески колесной машины, исследован гидравлический удар, возникающий в управляющем канале гидрораспределителя:

$$M\ddot{z} + kz = \mu\dot{z} + \chi\dot{z}^2, \quad (11)$$

где M – часть поддрессоренной массы, приходящаяся на передние колеса; z – вертикальное перемещение передней части кузова, лежащей под осью колес; λ и χ – коэффициенты нелинейного демпфера; $h\dot{z}$ – возбуждающая сила; k – жесткость упругого элемента подвески передних колес.

Вводим обозначения:

$$x = z, \quad y = \dot{z}, \quad \tilde{k} = \frac{k}{M}, \quad \tilde{\mu} = \frac{\mu}{M}, \quad \tilde{\chi} = \frac{\chi}{M}.$$

Уравнение (11) преобразуем к виду

$$\begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = kx + \mu y + y\chi_1(y), \end{cases} \quad (12)$$

где принято обозначение

$$\chi_1 = \chi_1(y) = \chi y.$$

Из системы уравнений (12) с учетом (13) определяем координаты стационарного режима

$$x_{01} = x_{02} = 0, \quad y_{01} = 0, \quad y_{02} = \mu\chi^{-1}. \quad (13)$$

В систему (12) вводим управление в виде аддитивной добавки Δy_0 к начальной скорости:

$$\Delta y_0 = \alpha(y_0 - y), \quad \alpha \geq 0.$$

На основе теоремы об оценке области устойчивости оцениваем влияние регулятора (коэффициента α) на запас устойчивости (область притяжения) стационарного режима. Переходя к отношениям

$$\delta = x - x_0, \quad \sigma = y - y_0, \quad (14)$$

где $y_0 = y_{02}$, получаем уравнение возмущенного движения в виде, где

$$\dot{x}_i = A(\sigma_i)x_i + a(\sigma_i)b(\sigma_i), \quad (15)$$

$$x = \begin{vmatrix} \delta \\ \sigma \end{vmatrix}, \quad A(\sigma) = \begin{vmatrix} 0 & 1 - \alpha \\ k & \mu - \alpha - \chi_1 \end{vmatrix}, \quad a = \begin{vmatrix} \mu^{-1} \\ 1 \end{vmatrix}, \quad b = \begin{vmatrix} 1 \\ -y_* \end{vmatrix}, \quad y_* = y_{02}.$$

Функцию Ляпунова для системы (12) выбираем в виде квадратичной формы

$$v = x_1^2 + 2\gamma x_1 x_2 + \beta^2 x_2^2.$$

Производную функцию Ляпунова, согласно соотношению с учетом (14), получаем в виде

$$\dot{v} = 2 \left\{ \gamma_{11} x_1^2 + \gamma_{12} x_1 x_2 + \gamma_{22} x_2^2 + \gamma_1 x_1 + \gamma_2 x_2 \right\},$$

где

$$\gamma_{11} = \gamma k, \quad \gamma_1 = y_* [1 + \gamma (\mu - \chi_1)], \quad \gamma_2 = y_* [\gamma + \beta^2 (\mu - \chi_1)],$$

$$\gamma_{22} = (1 - \alpha) \gamma + \beta^2 (\mu - \alpha - \chi_1), \quad \gamma_{12} = k \beta^2 + 1 - \alpha + \gamma (\mu - \alpha - \chi_1).$$

Условия достижения минимума в стационарной точке имеют следующий вид:

$$\gamma_{12}^2 - 4\gamma_{11}\gamma_{22} < 0, \quad 2\gamma_{11} > 0, \quad (16)$$

$$\Omega_0 = \left\{ x : v < \mu_0^2 \right\}. \quad (17)$$

Таким образом, если выполняются условия (16), то минимум μ_0 функции v в области $\dot{v} = 0$ дает оценку (17):

$$v = \mu_1 \leq \mu_0, \quad \mu_1 = \min \dot{v}.$$

Во втором параграфе проблема Брокетта применена к задаче о стабилизации колебаний кузова колесной машины.

В большинстве случаев системы регулирования описываются системами дифференциальных уравнений вида

$$\frac{dx}{dt} = Ax + BK(t)Cx, \quad x \in R^n,$$

где $K(t)$ является стабилизирующей матрицей, A, B, C – матрицы;

$$M\ddot{z} + kz = (h - \lambda)\dot{z} + \chi \dot{z}^2.$$

Систему (12) переписываем в форме

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -\mu x_2 - kx_1 - k_0(x_2 + \gamma x_1), \end{cases} \quad (18)$$

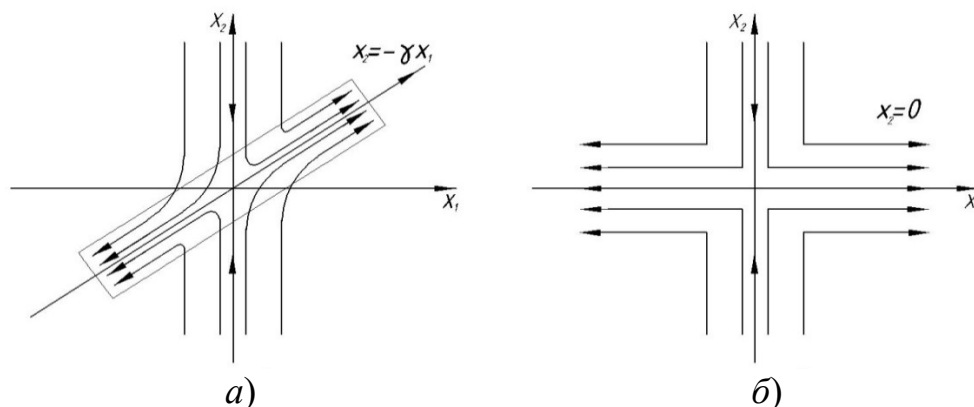


Рис. 4. Фазовый портрет траекторий движения системы при а - $\gamma \neq 0$; б - $\gamma = 0$

где $\lambda = k_0$, $x_2 = k_0 \gamma x_1$.

Задача стабилизации с помощью постоянной величины $K(t) = k_0$ имеет положительное решение в случае, когда выполнены условия

$$\mu + k_0 > 0, k + \gamma k_0 > 0. \quad (19)$$

Для существования числа k_0 , удовлетворяющего неравенствам (18), необходимо и достаточно выполнение соотношений $\mu \gamma < k$, $\gamma \leq 0$.

Проведен анализ системы (18) с большим параметром $K(t) = k_1$.

На рис. 4 *a* и *б* представлены фазовые портреты траекторий движений системы при $\gamma \neq 0$ и $\gamma = 0$. На рисунках видна неустойчивость траекторий системы, но при увеличении $K(t) = k_2$ система становится асимптотически устойчивой.

В третьем параграфе исследовано появление стохастических свойств системы по критерию Синая.

Критерий стохастичности Синая гласит: если выполняются условия

$$\begin{aligned} A(x)L^+(x) &\subset L^+(\hat{T}x), \\ A^{-1}(x)L^-(x) &\subset L^-(\hat{T}^{-1}x), \end{aligned}$$

то движение системы является стохастическим.

Допустим, отображение \hat{T} по переменным x_1, x_2 , согласно (17), имеет вид

$$\hat{T}(x_1, x_2) = \left\{ x_2, (\mu + k_0)x_1 + (k + \gamma k_0)x_2 \right\}, \quad (20)$$

где выполняются условия $\mu + k_0 > 0, k + \gamma k_0 > 0$. В этом случае матрица A системы (20) принимает следующий вид:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ \mu + k_0 & k + \gamma k_0 \end{pmatrix}.$$

Предположения в этом представлении следующие: $a = (a_1, a_2)$. Тогда $Aa = (\lambda a_1, \lambda^{-1} a_2)$, а уравнение для границы между конусами L^+, L^- имеет вид

$$|A(\bar{a})|^2 = |\bar{a}|^2$$

или

$$(\lambda \bar{a}_1)^2 + (\bar{a}_2 / \lambda)^2 = \bar{a}_1^2 + \bar{a}_2^2,$$

а его решением является

$$\bar{a}_2 / \bar{a}_1 = \pm \lambda,$$

которое не зависит от переменных x_1, x_2 .

Предположим, что числа μ, k_0 и γ таковы, что собственные значения λ_1, λ_2 матрицы A действительны и различны.

В этом случае $\lambda_1 = \lambda > 1$, $\lambda_2 = \frac{1}{\lambda} < 1$. Для матрицы (20) λ имеют значения

$$\lambda_1 = \frac{k + \gamma k_0 + \sqrt{(k + \gamma k_0)^2 + 4(\mu + k_0)}}{2}, \quad \lambda_2 = \frac{k + \gamma k_0 - \sqrt{(k + \gamma k_0)^2 + 4(\mu + k_0)}}{2}.$$

Таким образом, первое из условий (19) означает, что отображение \hat{T} переводит весь конус растягивающихся векторов L^+ внутрь конуса, в котором лежат растягивающиеся векторы в более поздний момент времени. Второе условие в (19) выглядит аналогичным образом для сжимающихся векторов и означает, что сжимающиеся векторы не попадают в конус растягивающихся векторов.

Это означает, что растягивающийся конус состоит из векторов, для которых $|\bar{a}_2 / \bar{a}_1| < \lambda$, а сжимающийся конус состоит из векторов, для которых $|\bar{a}_2 / \bar{a}_1| > \lambda$ (рис. 5), что полностью подтверждается фазовым портретом, полученным в параграфе 2 главы 4 (рис. 4 б).

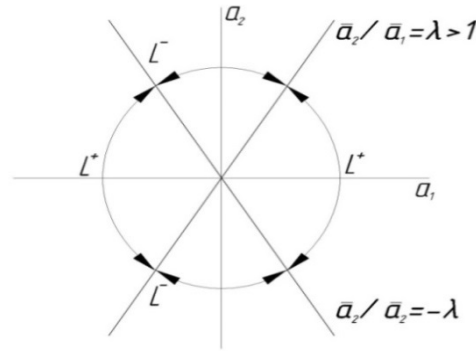


Рис. 5. Конусы сжимающихся и растягивающихся векторов для двухмерного растяжения

В четвертом параграфе исследован гидравлический удар в управляющем канале гидрораспределителя. Дифференциальные уравнения движения рабочей жидкости для рассматриваемого случая имеют вид

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + 2aw \right), \quad -\frac{\partial p}{\partial t} = \rho c^2 \frac{\partial w}{\partial x}.$$

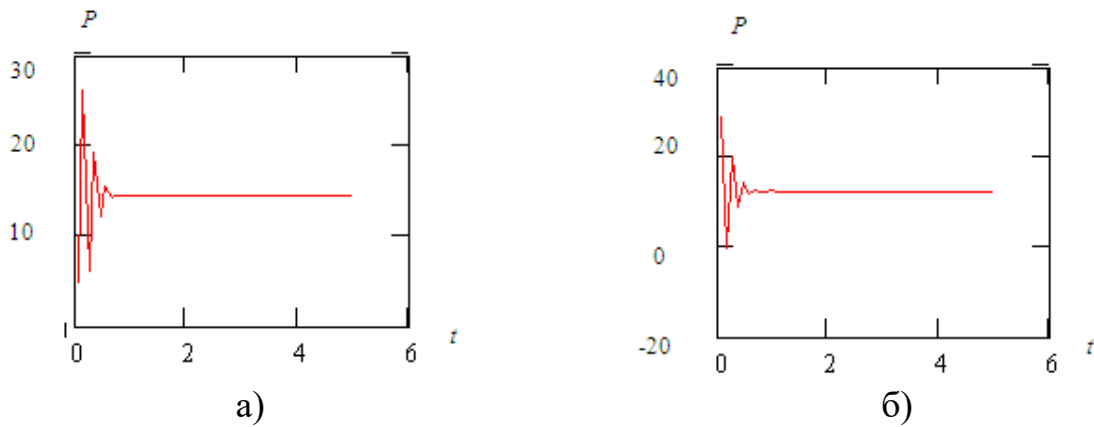
Решение данной системы при условиях $t = 0: w = 0, \rho = 0;$
 $x = 0: p = 0; x = l: w = A = const$ следующее:

$$w(x, t) = A - \frac{4A}{\pi} e^{-at} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\cos \xi_n t + \frac{a}{\xi_n} \xi_n t \right) (2n-1)^{-1} \sin \left[\frac{2n-1}{2} \frac{\pi(l-x)}{l} \right],$$

$$(p)_{x=l} = (p)_{x=0} - \left(2a\rho l A + \frac{4\rho c A}{\pi} e^{-at} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(\xi_n t - 2\theta_n)}{(2n-1) \cos \theta_n} \right),$$

где $tg \theta_n = \frac{a}{\xi_n}$.

$$a = \frac{32\nu}{2d^2} = 6,67 \frac{1}{сек}; \quad d = 1,2 см; \quad c = 1380,59 \frac{м}{сек}; \quad \rho = 0,8 \div 0,95 \frac{кг}{м^3}; \quad A = 150 \div 800 \frac{см}{сек}.$$



а) $a = 6,67; \rho = 0,9; A = 800; l = 12; c = 380,59;$
 б) $a = 6,67; \rho = 0,9; A = 800; l = 13; c = 380,59$

Рис. 6. Изменение давления в канале управления управляющего золотника

На рис. 6 а, б представлены внезапные изменения давления в канале управления у перекрытия управляющего золотника при различных значениях параметров. Согласно рисункам, гашение гидравлических ударов $t_{гд}$ протекает за время от 0,1 до 0,5 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертационной работе на тему «Математическое моделирование стабилизации колебательного поведения гидросистем машин» получены следующие научные и практические результаты:

1. На основе законов описания динамических процессов разработана математическая модель стабилизации гидравлического привода с нелинейной нагрузкой (нелинейное демпфирование типа отрицательного сопротивления). Получена функция Ляпунова, обеспечивающая асимптотическую устойчивость системы. Полученные законы управления позволяют обеспечить стабилизацию и оптимальную по принуждению стабилизацию.

Сравнительный анализ полученных механических характеристик гидравлических систем (насосы типа 47 ПГ 11 и ГЦ 75, а также НШ 32, ГЦ 80) с нелинейной характеристикой дросселя $\alpha = 0,5$ и $\alpha = 1$ показал, что из полученных семейств механических характеристик гидросистем более предпочтительными при номинальных нагрузках являются характеристики систем с нелинейной характеристикой (т.е. $\alpha = 0,5$).

2. Разработана математическая модель стабилизации гидравлического сервомеханизма с обратными связями по перемещению и по скорости. Получена функция Ляпунова, обеспечивающая асимптотическую устойчивость системы. Установлен закон управления, обеспечивающий стабилизацию системы по принуждению. Разработанные алгоритм и

программы могут быть использованы как информационное обеспечение исследования сложных колебательных процессов в гидравлических узлах колесных машин.

3. С использованием метода функций Ляпунова оценена область притяжения (запас устойчивости) гидравлического амортизатора. Построены диаграммы оценки области притяжения (устойчивости) колебательного движения системы с демпфированием при различных значениях параметров. Их можно реализовать при исследовании влияния механизма регулятора на запас устойчивости стационарного режима гидравлической системы.

4. Предложен метод обобщенного качественного исследования колебательного движения (переходных режимов) гидравлических систем колесных машин при объединении проблемы стабилизации Брокетта, критерия Синая о стохастизации и второго метода Ляпунова по стабилизации.

5. Разработана математическая модель процесса гидравлического удара, возникающего в канале управления гидрораспределителя. С использованием метода разделения переменных Фурье исследован гидравлический удар, возникающий в канале управления у перекрытия управляющего золотника при соответствующих значениях параметров системы. Получены численные диаграммы изменения ударных давлений. Установлено, что t_{y0} составляет от 0,1 до 0,5 с (что подтверждается значениями времени протекания в других узлах гидросистемы), а падающий участок диаграмм соответствует реальным значениям рабочих давлений, имеющих место в распределителе, т.е. ($p_{раб} = 10 \div 25 \text{ МПа}$).

Анализ результатов показал, что полученные изменения давлений при ударе совпадают с экспериментальными данными осциллограммы затухания колебаний давления в трубопроводе при подаче единичного импульса давления, полученными другими авторами. Созданная модель позволяет предотвратить процесс возникновения удара в системе.

6. Расчетные динамические характеристики систем качественно соответствуют ожидаемым физическим процессам, что позволяет сделать выводы об адекватности математических моделей.

7. Разработанные математические модели, алгоритмы и программы внедрены в объектах: ООО «Ханка Агросервис МТП и ИСМ», СКБ «Трактор» и «Конструкторско-технологический центр сельскохозяйственного машиностроения» при АО «Ташкентского завода сельскохозяйственной техники». Внедрение позволяет выбрать рациональные параметры, обеспечивающие требуемые характеристики качества переходных процессов, а также повышение надежной работы гидравлических систем на 6-7 %.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.27.06.2017.T.07.01 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

INSTITUTE OF MECHANICS AND SEISMIC RESISTANCE

IGAMBERDIEV KERIMBERDI ABDULLAEVICH

**MATHEMATICAL MODELING OF STABILIZATION OF OSCILLATORY
BEHAVIOR OF HYDRAULIC SYSTEMS OF MACHINES**

05.01.07 – Mathematical modeling. Numerical methods and software complexes

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2019

The theme of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2018.2.PhD/T696.

The dissertation has been prepared at the Institute of Mechanics and Seismic Resistance.
The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, English, Russian (resume)) on the website (www.tuit.uz) and the “Ziyonet” Information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor: **Annaqulova Gulsora Quchqorovna**
Candidate of Physical and Mathematical Sciences

Official opponents: **Kabulov Anvar Vosilovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Tuxtanzarov Dilmurad Solijsnovich
Doctor of Philosophy on Technical Sciences, Docent

Leading organization: **Tashkent institute of textile and light industry**

The defense will take place “_____” _____ 2020 at _____ the meeting of Scientific council No. DSc.27.06.2017.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. _____). (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52).

Abstract of dissertation sent out on “_____” _____ 2019 y.
(mailing report No. ___ on “_____” _____ 2019 y.).

R. Kh. Khamdamov
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

F.M. Nuraliev
Scientific secretary of scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences., Docent

A.M. Polatov
Chairman of the academic seminar under
the scientific council awarding scientific, professor
degrees, Doctor of Physical
and Mathematical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work is the development of mathematical models and numerical algorithms for calculating the dynamic processes of oscillatory motion stabilization in hydraulic systems of machines.

The object of research work is the process of stabilization of the oscillatory motion of hydraulic systems of wheeled vehicles.

The scientific novelty of the research work is as follows:

information support for mathematical modeling of the processes of stabilization of oscillatory motion in wheeled vehicles units was improved;

a mathematical model of a hydraulic drive with nonlinear damping was developed, which allows to obtain a control law that provides stabilization of the system;

based on the Lyapunov function method, a three-dimensional mathematical model of a hydraulic drive with a nonlinear characteristic was developed;

applying the Brockett stabilization problem and the Sinai criterion, the conditions of asymptotic stabilization and the conditions for the occurrence of stochastic properties in a hydraulic shock absorber are established;

a method for a generalized qualitative study of the oscillatory motion (transient modes) of hydraulic systems of wheeled vehicles was proposed by combining the Brockett stabilization problem, the Sinai stochasticity criterion and the Lyapunov second stabilization method.

Implementation of obtained results. Based on the results of studies on processes of hydraulic systems of wheeled vehicles the following was developed:

a mathematical model, algorithm and software for the calculation system of complex vibrations in the units of wheeled vehicles were implemented in the facilities of the LLC «Design and Technological Center for Agricultural Engineering» (certificate №33-8/6671 of the Ministry for Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan dated 24.09.2019). As a result of scientific research, high-quality control of the stabilization process is achieved by organizing a database with various physical parameters;

a mathematical model and a numerical algorithm for the stabilization process of the wheeled vehicle suspension upon impact, which ensures the optimal shock-absorption of the object, are implemented in the facilities of the «Tractor» MKB (certificate №33-8/6671 of the Ministry for Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan dated 24.09.2019). The results of scientific research allow us to design shock absorbers that protect the object from unacceptably high overloads resulting from the impact;

the developed mathematical model and numerical algorithm to calculate impact pressures in the hydro-distributor are implemented. Results were implemented to increase the reliability and service life of tractors prepared for repeated repair at LLC Hanka. Agro service MTP and ISM (certificate №33-8/6671 of the Ministry for Development of Information Technologies and

Communications of the Republic of Uzbekistan dated 24.09.2019). As a result, it became possible to select rational parameters that provide the required quality characteristics of transient processes, and to increase by 6-7% the reliable operation of hydraulic systems.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion and a list of references. The dissertation volume is 112 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙЎХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I-часть; I-part)

1. Хусанов И.Н., Абдуллаева М.Г. Аннакулова Г.К. Исследование переходных режимов динамических систем методом возмущений Пуанкаре // Вестник ТУИТ, 2013. № 3. – С. 77-84. № 131.-С.70-78, (05.00.00; №31).

2. Annakulova K.G., Abdullaeva M.G. Asymptotic definition of the periods of relaxation oscillation of strongly nonlinear systems with feedback // European Science Review 2016. № 3 – 4 – P. 254-260. (05.00.00; №3).

3. Аннакулова Г.К., Абдуллаева М.Г., Игамбердиев К.А. Построение функций Ляпунова для сильно нелинейных автоколебательных систем // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2016. № 2. – С.71-74 (05.00.00; №23).

4. Аннакулова Г.К., Игамбердиев К.А., Астанов Б.Ж. Управление процессом амортизации подвески автомобиля при ударе // Вестник ТУИТ, 2016, № 1(37). – С. 97-102 (05.00.00; №31).

5. Аннакулова Г.К., Абдуллаева М.Г., Игамбердиев К.А. Шумоподобные автоколебания и хаотическое поведение динамических систем // Проблема вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2017. № 3(9). – С.17-21 (05.00.00; №23).

6. Аннакулова Г.К., Игамбердиев К.А. Работа двухкаскадного гидравлического сервомеханизма в скользящем режиме // Проблема вычислительной и прикладной математики.– Ташкент, 2018. № 1(13). – С. 11-15 (05.00.00; №23).

7. Игамбердиев К.А. Математическое моделирование стабилизации гидропривода с нелинейной нагрузкой // Проблема вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2019. № 3. – С. 11-15, (05.00.00; №23).

II бўлим (II-часть; II-part)

8. Лебедев О.В., Игамбердиев К.А., Аннакулова Г.К. Проблема устойчивости и анализ нелинейных систем управления гидросистемой машины // Вестник ТУИТ, Ташкент. 2008, – С. 58-61.

9. Лебедев О.В., Аннакулова Г.К., Игамбердиев К.А. Анализ гидросистемы трактора с нелинейной характеристикой // Вестник Таджикского технического университета. Душанбе, 2010. № 1(9), – С.65-69.

10. Пономарева О.М., Аннакулова Г.К., Мирзаева З.Д., Игамбердиев К.А. Оценка запаса устойчивости гидравлического амортизатора // Вестник ТАДИ, Ташкент, 2010. № 3, – С. 5-9.

11. Аннакулова Г.К., Игамбердиев К.А. Оценка неравновесного состояния гидросистемы с нелинейной характеристикой // Вестник ТУИТ, 2011. №1, – С.57-60.

12. Мирзаева З.Дж., Игамбердиев К.А., Аннакулова Г.К., Иноятходжаев Дж. Влияние демпфера с нелинейной характеристикой на критическую скорость автомобиля // Вестник ТУИТ, 2012. №1. – С.70-73.

13. Хусанов И.Н., Абдуллаева М.Г. Аннакулова Г.К. Анализ деформационной устойчивости движений реологически сложных сред // Вопросы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2013. № 129. – С.51-60.

14. Аннакулова Г.К., Игамбердиев К.А., Абдуллаева М., Саттаров Б.Б. Исследование функций Ляпунова сильно нелинейной динамической системы // Сборник докладов XI Всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Россия, Казань – 2015 – С. 172-175.

15. Annakulova K.G., Igamberdiev K.A., Abdullaeva M.G. Quality assessment of the regulation of hydraulic system of wheel vehicle in terms of stability and oscillation of the system // Austrian Journal of Technical and Natural Science 2017. №2. P. 16-19.

16. Аннакулова Г.К., Абдуллаева М.Г., Игамбердиев К.А. Стабилизация динамической системы Дуффинга-Ван-Дер Поля // ТУИТ, Доклады Республиканской научно-технической конференции Ташкент, 5-6 сентября 2017 С. 101-106.

17. Лебедев О.В., Пономарева О.М., Аннакулова Г.К., Игамбердиев К.А. Оценка равновесного и неравновесного состояний нелинейной гидросистемы // «Ахборот – коммуникация технологиялари илмий – техник» конференцияси. ТАТУ, Тошкент, (4–5 март) 2008. – С. 23-27

18. Лебедев О.В., Аннакулова Г.К. Применение метода функций Ляпунова при решении задач устойчивости гидросистем машин // VIII Межвузовская научно-техническая конференция по проблемам наземных транспортных систем (29-31 мая) 2008. ТашИИТ, – С. 123-126.

19. Аннакулова Г.К., Игамбердиев К.А. Методика расчета динамических характеристик перепускного клапана распределителя // Материалы конференции «Современные проблемы моделирования механических и технологических процессов основанных на высоких технологиях». Бухара 26-28 ноября 2013 года, - С.156-158.

20. Аннакулова Г.К., Игамбердиев К.А., Абдуллаева М., Саттаров Б.Б. Исследование функций Ляпунова сильно нелинейной динамической системы // Сборник докладов XI Всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Россия, Казань – 2015 – С. 172-175.

21. Аннакулова Г.К., Игамбердиев К.А., Астанов Б.Ж., Саттаров Б.Б. Исследование гидравлического удара в управляющем канале гидрораспределителя // Сборник докладов XI Всероссийского съезда по

фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Россия, Казань-2015 – С. 172-175.

22. Аннакулова Г.К., Игамбердиев К.А. Применение проблемы Брокетта при стабилизации колебаний кузова колесной машины // ТУИТ, Материалы республиканской научно-практической конференции «Актуальные проблемы математического моделирования, алгоритмизации и программирования». Ташкент, 17-18 сентября 2018 года, – С.4-8.

23. Игамбердиев К.А. Исследование стохастизации систем с двумя степенями свободы // Международная научно-практическая конференция «Инновационные идеи, разработки и современные проблемы их применения в производстве, а также в обучении» Андижан 15 апреля 2019 года, – С. 314-316.

24. Игамбердиев К.А. Исследование гидросистемы колесных машин с нелинейной характеристикой // Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные научные исследования обучении» Пенза 15 ноября 2019 года, – С. 85-88.

25. Аннакулова Г.К., Насретдинова Ш., Абдуллаева М.Г., Мирзаева З.Дж., Игамбердиев К.А. Система расчета сложных колебаний в конструкциях колесных машин // Патент РУз об официальной регистрации программ для ЭВМ № DGU 02365 от 05.07.2011г.

Автореферат “Ҳисоблаш ва амалий математика муаммолари” илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Босишга рухсат этилди: 25.12.2019. Бичими 60x84^{1/16}. Рақамли босма усули. Times гарнитураси. Шартли босма табағи: 3. Адади 100 нусха. Буюртма № 61.

Гувоҳнома № 10-3719

“Тошкент кимё технология институти” босмаҳонасида чоп этилган.
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.