

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

АХМЕДОВ АЗАМАТ ХАИТОВИЧ

**ПРЕЦИЗИОН ВИБРОМЕХАНИКА ПРИНЦИПЛАРИГА АСОСЛАНГАН
БОШҚАРИЛАДИГАН МЕХАНИЗМЛАРНИНГ ЯНГИ АВЛОДИНИ ИШЛАБ
ЧИҚИШДА МАХСУС ҚОТИШМАЛАР (ОҚ ЧЎЯН ВА АЛЮМИНИЙ-ЛИТИЙ)
ҚЎЛЛАШНИНГ НАЗАРИЙ ВА МУҲАНДИСЛИК ЕЧИМЛАРИ**

05.02.02 – Механизмлар ва машиналар назарияси. Машинашунослик ва машина деталлари

05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик. Металларга термик ва босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металлар металлургияси. Камёб, нодир ва радиоактив элементлар технологияси (қуймачилик ва металларга ишлов бериш йўналиши)

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата докторской(DSc) диссертации

Contents of the abstract of doctor's (DSc) dissertation

Ахмедов Азамат Хаитович

Прецизион вибромеханика принципларига асосланган бошқариладиган механизмларнинг янги авлодини ишлаб чиқишда махсус қотишмалар (оқ чўян ва алюминий-литий) қўллашнинг назарий ва муҳандислик ечимлари3

Ахмедов Азамат Хаитович

Теоретические и инженерные решения по применению специальных сплавов (белый чугун и алюминий-литий) при разработке нового поколения управляемых механизмов на основе принципов прецизионной вибромеханики31

Akhmedov Azamat Khaitovich

Theoretical and engineering solutions for the use of special alloys (white cast iron and aluminum-lithium) in the development of a new generation of controlled mechanisms based on the principles of precision vibration mechanics57

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works61

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

АХМЕДОВ АЗАМАТ ХАИТОВИЧ

**ПРЕЦИЗИОН ВИБРОМЕХАНИКА ПРИНЦИПЛАРИГА АСОСЛАНГАН
БОШҚАРИЛАДИГАН МЕХАНИЗМЛАРНИНГ ЯНГИ АВЛОДИНИ ИШЛАБ
ЧИҚИШДА МАХСУС ҚОТИШМАЛАР (ОҚ ЧЎЯН ВА АЛЮМИНИЙ-ЛИТИЙ)
ҚЎЛЛАШНИНГ НАЗАРИЙ ВА МУҲАНДИСЛИК ЕЧИМЛАРИ**

05.02.02 – Механизмлар ва машиналар назарияси. Машинашунослик ва машина деталлари

05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик. Металларга термик ва босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металлар металлургияси. Камёб, нодир ва радиоактив элементлар технологияси (қуймачилик ва металларга ишлов бериш йўналиши)

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2023

Техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2022.1.DSc/T502 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ва «Ziyonet» ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчилар:

Каримов Камолхон Аббосович
техника фанлари доктори, профессор

Тураходжаев Нодир Джахонгирович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Алимухамедов Шавкат Пирмухамедович
техника фанлари доктори, профессор

Нурмуродов Салоҳиддин Дусмуродович
техника фанлари доктори, профессор

Мамасаидов Мухамеджан Ташалиевич
Қирғиз Республикаси Миллий Фанлар Академиясининг академиги, Хизмат кўрсатган фан арбоби, техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Наманган муҳандислик-қурилиш институти

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.03/30.12.2019.T.03.04 рақамли Илмий кенгашнинг 2023 йил 12 июнь соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2-уй. Тел./факс:(99871) 227-10-32; e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (329 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2-уй. Тел.: (99871)227-10-32).

Диссертация автореферати 2023 йил 30 май куни тарқатилди.
(2023 йил 29 майдаги 165 - рақамли реестр баённомаси).

А.А. Мухитдинов

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш раиси,
техника фанлари доктори, профессор

Ш.Б. Ташбулатов

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш котиби
техника фанлари бўйича фалсафа доктори, PhD, доцент

А.А. Ризаев

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги
Илмий семинар раиси,
техника фанлари доктори, профессор

КИРИШ (докторлик (DSc) диссертациясининг аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Ҳозирги кунда жаҳон миқёсида фундаментал ва умуммуҳандислик фанларининг назарий ва татбиқий илмий ишланмаларига асосланган умумий машинасозлик, машинасозлик материалшунослиги соҳаларини ривожлантириш ва такомиллаштиришда рақобатбардош ва импорт ўрнини босадиган технологиялар, машиналар ва механизмларни янги такомиллашган қурилмаларини яратишда юқори мустаҳкамликка эга янги қотишмаларни қўллаш устида фундаментал тадқиқотлар олиб бориш долзарб илмий, назарий ва амалий масалаларни ҳал этиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Шу билан бирга прецизион вибромеханика принципларига асосланган параметрлари ва боғланишлари бошқариладиган механизмларнинг назарий асосларини ривожлантириш ва такомиллаштириш асосида уларнинг юқори мустаҳкамликка эга янги авлод қурилмаларини яратиш назарий ва муҳандислик нуқтаи назаридан долзарб вазифалардан ҳисобланади. Бу борада ривожланган мамлакатлар, жумладан АҚШ, Германия, Англия, Япония, Хитой, Жанубий Корея, Россия ва бошқа мамлакатларнинг илмий-тадқиқот марказларида, ишлаб чиқариш саноатида қўлланиладиган умрбоқий техника ва инновацион технологияларни яратиш мақсадида бошқариладиган фрикцион ва вибрацион механизмларнинг назарий асосларини, янги авлод қурилмаларини ишлаб чиқиш ва қўллашда юқори сифатли эксплуатацион хоссалари орттирилган янги истиқболли металл қотишмаларидан фойдаланишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда замонавий машинасозлик, машинасозлик материалшунослиги ривожланишининг фундаментал асослари бўлган механизмлар ва машиналар назарияси ҳамда материалшунослик бўйича тадқиқотларни фаоллаштиришга, юқори иқтисодий самарадорликка эга автоматлашган системаларни кенг жорий этишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Механизмлар ва машиналар назарияси бўйича халқаро ташкилот (IFToMM) ўзининг XIII Халқаро Конгрессида биринчи марта (Мексика, Гуанохуато, 2009 йил) ва Ижроия қўмитасининг сўнгги кенгаш мажлисларида (2009-2023 йиллар) жаҳон олимлари тадқиқотларини таҳлил қилиб, механизмлар ва машиналар назариясининг долзарб илмий йўналишлари орасида бошқариладиган механизмлар бўйича илмий тадқиқотларни фаоллаштиришга алоҳида эътибор қаратди. Ушбу талаблардан келиб чиққан ҳолда механизмлар ва машиналар назарияси, замонавий машинасозлик, машинасозликда материалшунослик, қўймачилик ихтисосликлари доирасида прецизион вибромеханика принципларига асосланган механизмларнинг такомиллашган янги авлод қурилмаларини ишлаб чиқиш учун янги ва юқори сифатли махсус қотишмаларни қўллаш, чуқур назарий ва амалий фундаментал тадқиқотлар олиб бориш ҳамда бунинг асосида уларнинг математик моделларини ишлаб чиқиш мақсадга мувофиқ ҳисобланади.

Республикамизда механизмлар ва машиналар назарияси, машинасозлик материалшунослиги соҳаларининг тадқиқот доираларида қишлоқ хўжалиги,

озик-овқат, тоғ-кон, металлургия ва геология саноатларида, машиналарнинг вибрацион ҳаракатлари, асбобсозлик ва аниқ машинасозликда кенг қўлланиладиган параметрлари ва боғланишлари бошқариладиган механизмлар ва механик системаларни яратишда ҳамда инновацион технологияларни амалга оширишда янги мустаҳкам металл қотишмаларини қўллаш асосида механизмларнинг сифатини ошириш имконини берувчи муҳандислик ечимларини ишлаб чиқиш, янги назарий ҳисоблаш усулларини яратиш бўйича қатор тадбирлар амалга оширилмоқда. 2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида, жумладан «... иқтисодий инновацияларни кенг жорий қилиш, саноат корхоналари ва илм-фан муассасаларининг кооперация алоқаларини ривожлантириш, ... иқтисодий тармоқларида яратилган технологияларни саноат даражасида тажриба-синов ишларини ташкил этиш, ... саноат тармоқларида меҳнат унумдорлигини ошириш дастурларини кенг жорий қилиш»¹ бўйича вазифалар белгиланган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, жумладан енгил ва оғир саноатнинг барча ишлаб чиқариш технологик жараёнларида кенг қўлланиладиган параметрлари ва боғланишлари бошқариладиган механизмларнинг такомиллашган янги авлод қурилмаларини татбиқ этишда юқори таркибдаги сифатли оқ чўян ва алюминий-литий қотишмаларини қўллаш, технологик жараёнларни такомиллаштириш асосида мавжуд хомашё базасидан оқилона фойдаланиш ҳисобига иқтисодий самарадорликни таъминлайдиган рационал ечимларни ишлаб чиқиш, тоғ-кон, металлургия, геология саноати технологик жараёнларида қўлланиладиган бошқариладиган вибрацион механизмларнинг назарий асосларини, янги рационал қурилмаларини яратиш ва ишлаб чиқиш муҳим ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422-сон «Иқтисодий тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2020 йил 10 январдаги ПҚ-4565-сонли «2020 - 2022 йилларда Ўзбекистон Республикасининг ижтимоий ва ишлаб чиқариш инфратузилмасини ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон «2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2022 йил 6 июлдаги ПҚ-307-сонли «2022-2026 йилларда Ўзбекистон Республикасининг инновацион ривожланиш стратегиясини амалга ошириш бўйича ташкилий чора-тадбирлар тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятларга тегишли бошқа меъерий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сонли «2022-2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги Фармони.

республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи². Прецизион вибромеханика принципларига асосланган бошқариладиган механизмларнинг янги авлод қурилмаларини яратиш, ушбу қурилмаларни ишлаб чиқишда махсус қотишмалар, оқ чўян ва алюминий-литий қотишмаларини қўллаш, фриксион ва вибрацион механизмларнинг бошқариладиган қурилмаларини функционал имкониятлари кенгайтирилган авлодини ишлаб чиқиш бўйича жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари олимлари томонидан, жумладан, Калифорния университети (АҚШ), The University of Sheffield (Англия), University of Applied Sciences in Mittweida (Германия), China University of Jinan (ученые Min Zuo, Maximilian Sokoluk, Chezheng Cao), China University of Petroleum-Beijing (Хитой), Харбин университети олимлари профессор Ruizhi Vu, Jean Ducrocq, Цзунъян Чжан, Канадалик олимлар Т.А. Utigard, R.Roy и К. Friesen, Англия ва Италиялик олимлар Annalisa Pola, Marialaura Tocci, Plato Kapranos, Покистон университети (Покистон) олими Р. Набибуллаҳ, Kaunas University of Technology ва Гедиминас номли Вильнюс техника университети ва Каунас технология университети (Литва) олимлари академиклар К. Рагульскис, Ю. Бансявичюс, Ю. Остапявичюс, Россия Фанлар Академиясининг Машинашунослик институти директори мархум академик К. Фролов бошчилигидаги олимлари, Н.Э. Бауман номидаги Москва давлат техника университети, Санкт-Петербург политехника университети (Россия), Рига техника университети (Латвия), ЎЗР ФА М.Т. Ўрозбоев номидаги Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти, “Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университети, Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети, Навоий давлат кончилик ва технологиялар университети, Тошкент давлат транспорт университети, Наманган муҳандислик-қурилиш институти (Ўзбекистон) олимлари томонидан салмоқли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилган ва олиб борилмоқда.

Вибрацион механик системаларнинг функционал имкониятларини кенгайтириш ва қурилмаларини яратишда енгил ва мустаҳкам композит материалларни қўллаш бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида, оғир ва енгил саноатда юқори фойдали иш коэффициентига эга бўлган машиналар ва қурилмалар яратилган. Жумладан, (Калифорния университети (АҚШ), University of Applied Sciences in Mittweida, Германия ва China University of Petroleum-Beijing, Хитой). Фриксион механизмларнинг боғланишларини юқори частотали вибрация ёрдамида бошқариш усулларини ишлаб чиқилиши натижасида сирпанишдаги материал ейилишбардошлиги оширилган ва ишлаш жараёнида табиий юзага келадиган нуқсонларни

² Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи [https://link.springer.com/](https://link.springer.com;);
<https://www.combridge.org/>; <https://www.tandfonline.com/>; <http://eng.cczu.edu.cn/>;
[https://www.dissercat.com/catalog/mekhanika/](https://www.dissercat.com/catalog/mekhanika;); <https://www.journals.elsevier.com/>; <https://www.usm.edu/>;
<https://www.sciencedirect.org> ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

бартираф этиш усуллари ишлаб чиқилган (China University of Jinan, олимлар Zuo, Maximilian Sokoluk, Chezheng Cao, The University of Sheffield, Англия). Ташқи физик майдонлар ва суюқликнинг магнитореологик эффектларидан фойдаланиб ўтказилган тадқиқотлар натижасида, фрикцион ва вибрацион боғланишлари бошқариладиган прецизион механизмларнинг янги авлоди таклиф этилган (Kaunas University of Technology, Литва). Уч ўлчовли қурилмаларнинг автоматлашган тизимларида, ҳаракатни узатиш, параметр ва боғланишларни бошқаришда гироскопик системаларни татбиқ этиш ва стабиллаш масалалари тадқиқ этилган, натижада медицина ва оғир артеллерияда қўлланилувчи юқори мустаҳкам структурали ишчи детал, асбоб-ускуна ва куроллар ишлаб чиқилган (Н.Э.Бауман номидаги Москва давлат техника университети ва Санкт-Петербург политехника университети, Россия). Машинасозлик материалшунослигида қўймакорлик усулида техник ва технологик жараёнларни модернизация қилиш ва ҳосил қилинадиган янги қотишма ва материалларни эксплуатацион хоссаларини ошириш бўйича тадқиқотлар самарасида газ эритиш агрегатларидан олинган алюминий қотишмаларининг механик хусусиятлари яхшиланган. Жумладан, Беларусь Республикаси Миллий техника университети олимлари С.П.Задруцкий, Г.А.Румянцев, Б.М.Немененок, И.А.Горбель, С.Л.Ровин, академик С.П.Королёв номидаги Самара Миллий тадқиқот университети олимлари С.В.Воронин ва П.С.Лобода, Пенза давлат техника университети олими В.А.Грачев.

Kennek Copper Corporation (АҚШ) тадқиқотчилари V.Donaldson, S.N.Sharma ва N.J.Temelis пиррометаллургик усул ёрдамида шлакдан мис ажратиб олишнинг икки босқичли циклик усулини ишлаб чиқишган. Bayer AG компанияси (Германия) тадқиқотчилари R.Baatz, G.Beylshteyn, D.Grenner, V.Keller ва D.Steinбах диклоробутан изомери реакцияси натижасида ҳосил бўлган мис катализатори бўлган оқова сувларни тозалаш технологиясини ишлаб чиққанлар. Швецариялик олимлар R.Thiel, K.Zinsstagh ва G.Faschinger органик компонентларни карбонлаштириш йўли билан секин совутиш орқали мис ва бошқа рангли металлларни энергиясиз ажратиб олиш усулини ишлаб чиқишган ("Lonza Ltd." фирмаси тадқиқотчилари).

Механизмлар ва машиналар назарияси, машинасозликда материалшунослик ҳамда қўймачилик технологиялари йўналишларидаги тадқиқотларни узвий алоқадорлигини таъминлаш ва долзарб илмий, назарий-амалий аҳамиятга молик тадқиқотларни такомиллаштириш, саноатнинг турли соҳаларида кенг қўлланиладиган праметрлари ва боғланишлари бошқариладиган механизмларнинг янги авлодини яратишда махсус қотишмаларни (оқ чўян, алюминий-литий) қўллаш долзарб масалалардан ҳисобланади. Айниқса, адабиётлар ва шу соҳадаги олимларнинг илмий ишларининг аналитик таҳлиллари шуни кўрсатадики, машинасозлик материалшунослиги ва қўймачилик технологиялари йўналишлари бўйича олиб борилган тадқиқотларда технологик жараёнларни математик моделлаштириш масалалари 12-15% ни ташкил этмоқда. Зероки, иқтисодий жиҳатдан катта маблағлар талаб этиладиган экспериментал ишларни ўтказмасдан уларни

математик моделларини яратиш, уларнинг аналитик ечимларини топиш ва сонли ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқиш айна вақтда назарий ва татбиқий нуқтаи назардан долзарб масалалардан ҳисобланади.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Дунё олимлари томонидан прецизион вибромеханика принципларига асосланган бошқариладиган механизмлар ва механик системаларнинг тузилиши, кинематикаси ва динамикасини ривожлантириш борасида классик машина ва механизмлар назарияси, машинашуносликда материалшунослик ва қўймачилик йўналишларида бир қатор самарали тадқиқотлар олиб борилган ва муайян натижаларга эришилган.

Жаҳоннинг етакчи ва кўплаб илмий марказлари, олий таълим муассасаларида кенг қамровли илмий тадқиқотлар олиб борилган. Механизмлар ва машиналар назариясининг кўплаб йўналишлари бўйича дунёнинг етакчи олимлари, жумладан Германия ва АҚШ тадқиқотчилари M.Bergstrasser, P.Muller, M.Redwood, Z.Levai, M.French ва бошқалар томонидан фрикцион ва вибрацион механизмларнинг самарадорлигини ортириш борасида илмий тадқиқотлар олиб борилган. Тадқиқотлар натижасида вибрацион механизмларни динамик ва кинематик моделлаштириш усуллари, ишчи органларнинг ҳаракат дифференциал тенгламалари ишлаб чиқилган. Япония, Хитой ва Ҳиндистон олимлари Y.Yokoуama, S.Okabe, O.Kiyoshi, W.Zhang, H.Shi, R.Khurmi, J.Gupta ва бошқалар томонидан параметрлари бошқариладиган механизмларнинг ҳисоблаш усуллари шакллантирилган, вибрацион механизмлар устида назарий ва экспериментал тадқиқотлар олиб борилган. Тадқиқотларда ишчи органларнинг эластиклик хусусиятлари инобатга олинган математик моделлари ишлаб чиқилган.

Бошқариладиган механизм қурилмаларида қўлланиладиган алюминий қотишмаларини мустаҳкамлиги ва қаттиқлигини оширишда АҚШ ва Хитойлик олимлар Maximilian Sokoluk, Min Zuo, Chezheng Cao, Jie Yuanлар томонидан қатор ишлар амалга оширилган. Хусусан, алюминий қотишмаларининг хоссаларини яхшилаш борасида қўшимча сифатида TiC (20 мкм) нанозарраларидан фойдаланиб, алюминий қотишмаларини юқори мустаҳкамлигига ва иссиқлик кенгайишининг паст коэффиценти орқали механик хоссаларини ортишига эришилган. Бунда қаттиқлик 110HV дан 180HV га ортган.

Россиялик олимлар С.В.Воронин ва П.С.Лобода ғовак структурали юқори механик хусусиятга эга алюминий қотишмаларини ишлаб чиқариш усулларини тақлиф этишган.

Англия олимлари Г.Бессемер ва С.Томас ва франциялик тадқиқотчи П.Мартен томонидан машинасозликда кенг қўлланиладиган пўлат ва чўян олишнинг янги усуллари ва қурилмалари ишлаб чиқилган.

Литва олимлари К.М.Рагульскис ва Р.Ю.Бансявичюс прецизион вибромеханика усуллари ёрдамида бошқариладиган янги механик системаларни яратиш устида тадқиқотлар олиб боришган. Тадқиқотларда юқори частотали эластик тўлқинларни йўналтириш орқали механизмларнинг

фрикцион характеристикаларини, ҳаракат йўналишларини ўзгартиришга эришилган. Шунингдек, турли позицион ҳаракатларни олиш имконини берувчи фрикцион характеристикалари бошқариладиган прецизион механизмларнинг янги қурилмаларини таклиф этишган.

МДХ мамлакатлари олимларидан И.И.Артоболевский, К.В.Фролов, А.П.Бессонов, И.И.Блехман, И.И.Вульфсон, В.Л.Вейц, О.Д.Алимов, М.Т.Мамасайдов, У.А.Джолдасбеков, С.Н.Кожевников, М.В.Хвингия, А.Ф.Крайнев, Н.И.Колчин, М.З.Коловский, И.В.Крагельский, В.В.Андронов, И.Ф.Мальцев, Р.Ф.Нагаев, Я.Г.Пановко, Б.А.Пронин ва бошқалар томонидан машина ва механизмларнинг классик ва замонавий назариясига асос солиниб, турли механизмларнинг янги қурилмаларини яратиш учун уларни структуравий, кинематик ва динамик анализ ва синтез қилиш усуллари ишлаб чиқилган.

Параметрлари бошқариладиган ва ўзгарувчан механизм ва механик системалар соҳасидаги дастлабки назарий тадқиқотлар ўтган асрнинг 70-йилларига бориб тақалади. Ушбу биринчи ва кейинги тадқиқотлар К.В.Фролов, К.М.Рагульскис, Р.Ю.Бансявичюс, И.И.Блехман, В.Л.Вейц, Р.Ф.Нагаев, Х.Х.Усманходжаев, Р.И.Каримов, Ш.П.Алимухамедов, К.А.Каримов, А.Х.Умурзаков ва бошқалар номи билан боғлиқ. Ушбу тадқиқотларда юқори частотали эластик тебранишларни ҳосил қилиш орқали ишқаланиш характеристикаларини ўзгартириш имкониятларидан фойдаланиб, параметрларни бошқариш, ташқи физик майдонлар ва nodoиравий ғилдиракларни қўллаш орқали эришилган. Ўзбекистон олимларидан Қ.С.Санакулов, А.А.Юсупходжаев, А.С.Хасанов, Н.Д.Тураходжаевлар томонидан ишлаб чиқилган қотишмаларни прецизион механизмларда қўллаш технологияси татбиқ этилган.

Илмий натижалардан, ҳозирги вақтга қадар чет эл ва юртимиз олимлари тадқиқотларида технологик жараёнларни инобатга олган ҳолда, олий ва қуйи кинематик жуфтлардаги геометрик, кинематик ва динамик параметрлари ва боғланишлари бошқариладиган механизмлар ишчи звеноларининг назарий асосларини яратиш борасида кенг қамровли тадқиқотлар олиб борилмаган. Бундан ташқари жаҳон амалиётида бошқариладиган механизмлар ва механик системалар бўйича илмий ишлар, назарий тадқиқотлар натижасида технологик машиналарда қўлланиладиган конкрет механизм қурилмалари ишлаб чиқилмаган. Бошқариладиган механизмларнинг янги авлод қурилмаларини ишлаб чиқишда бу қурилмаларнинг юқори мустаҳкамлигини таъминлайдиган машиносозлик материалшунослиги доирасидаги илмий ва назарий тадқиқотлар, юқори мустаҳкамликка эга алюминий-литий қотишмаларини қўллаш, шунингдек, замонавий машинасозликда механизмлар ва машиналар назарияси, машинасозликда материалшунослик ва қуймачилик соҳаларини узвийлигини таъминлайдиган назарий тадқиқотлар, математик моделлаштириш масалаларига етарлича эътибор қаратилмаган. Прецизион вибромеханика принципларига асосланган параметрлари ва боғланишлари бошқариладиган янги авлод қурилмаларини ишлаб чиқишда юқори мустаҳкамликка эга қотишмаларини қўллашда, юқори мустаҳкам

қўйма деталларни ҳосил қилиш технологик жараёнларини, тажриба тадқиқотларини ўтказишда замонавий ЭҲМнинг ривожланган дастурлари ёрдамида математик моделлар ишлаб чиқиш, унинг аналитик ечимларини аниқлаш борасидаги тадқиқотлар механизмлар ва машиналар назарияси ҳамда машинасозлик материалшунослиги соҳаларининг узвий алоқадорликдаги ривожини таъминлашда муҳим ҳисобланади.

Ушбу муаммолар ечимини топиш мақсадида прецизион вибромеханика принципларига асосланган параметрлари ва боғланишлари бошқариладиган механизмларнинг ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқиш, назарий асосларини такомиллаштириш, бунинг асосида юқори техник ва технологик талабларга жавоб берадиган, бошқариладиган янги авлод қурилмаларини ишлаб чиқишда юқори мустаҳкамликка эга алюминий-литий қотишмаларини қўллаш борасида назарий ва амалий тадқиқотлар ўтказиш, машинасозлик материалшунослигида юқори мустаҳкамликка эга янги ва енгил алюминий қотишмаларини, механизм қурилмаларининг алюминий деталларини олиш технологик жараёнларини сифатли баҳолаш имконини берадиган эффектив математик моделларни яратиш, рационал таклифлар ишлаб чиқиш ва бунинг асосида мавжуд хом-ашё базасини тежаш ва инновацион илмий асосланган ишланмаларни амалиётга кенг жорий этиш натижасида маълум иқтисодий самарадорликка эришиш долзарб ва муҳим вазифа ҳисобланади.

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

Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режасининг №Ф-2-29 “Параметрлари ва боғланишлари бошқариладиган механизмларнинг янги авлод конструкцияларини ишлаб чиқиш мақсадида уларнинг назарий асосларини яратиш” (2012-2016 йй.), №А-ОТ-2021-34 “Юқори сифатли енгил алюминий-литий қотишмаларини олиш технологиясини ишлаб чиқиш” (2021-2022 йй.) мавзуларидаги Ўзбекистон-Хитой ҳамда №MRB-2021-521 “Алюминий ва тантал оксидлари асосида янги мустаҳкам наноструктурали материалларни яратиш” (2022-2023 йй.) мавзусидаги Ўзбекистон-Белорусь қўшма амалий лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади прецизион вибромеханика принциплари асосида бошқариладиган фрикцион ва вибрацион механизмларнинг янги қурилмаларини ишлаб чиқишда махсус қотишмаларни қўллашнинг назарий ва муҳандислик ечимларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

бошқариладиган фрикцион ва вибрацион механизмларнинг мавжуд қурилмалари ва назарий тадқиқотларини таҳлил этиш. Механизмларнинг назарий асослари ва қурилмаларини ишлаб чиқишда прецизион вибромеханика усулларида фойдаланиш имкониятларини асослаш. Фрикцион ва вибрацион механизмларнинг параметрлари ва боғланишларини бошқаришнинг умумий классификацияларини такомиллаштириш;

фрикцион ва юқори частотали вибрациялар орқали бошқариладиган турли механизм қурилмаларининг математик моделларини тузиш ва

аналитик ечимларини аниқлаш;

ташқи физик майдонлар ёрдамида бошқариладиган механизмлар ва механик системаларни назарий асосларини ишлаб чиқиш;

машинасозликда қўлланиладиган прецизион механизмларнинг ҳаракатини математик моделлаштириш масалаларини асослаш. Оқ чўян, алюминий, мис ва махсус қотишмаларни олиш технологиясининг математик моделларини ва аналитик ечимларини яратиш;

бошқариладиган механизмларнинг янги авлод қурилмаларини яратишда қуймакорлик усулида қотишмалар олишга оид тажрибавий тадқиқотларнинг математик моделларини ишлаб чиқиш;

Тадқиқотнинг объекти сифатида параметрлари ва етакланувчи бўғинлари бошқариладиган олий ва қуйи кинематик жуфтга эга фриксион ва вибрацион механизмлар олинган.

Тадқиқот предмети прецизион вибромеханика принципларига асосланган бошқариладиган механизмларнинг назарий асосларини такомиллаштирилиши ва унинг асосида фриксион ва вибрацион механизмларнинг янги авлод қурилмаларини ишлаб чиқишда махсус қотишмаларни қўллаш ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида прецизион вибромеханика усулларида, механизмлар ва машиналар назариясининг классик ва замонавий усулларида, қуйма усулида механизмлар олиш жараёнида ультратовуш тебранишларини қўллаш, тебранишлар назарияси, математик моделлаштириш, чизикли ва чизикли бўлмаган дифференциал тенгламалар, шунингдек ЭҲМнинг сонли усулларида фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

механизмлар ва машиналар назариясида бошқариладиган фриксион ва вибрацион механизмларнинг параметрлари ва боғланишларини бошқаришнинг такомиллашган классификацияси уларнинг ишлаш муҳитидаги таъсир этувчи кучлар катталигига боғлиқ равишда ишлаб чиқилган;

прецизион вибромеханика усуллари ёрдамида бошқариладиган фриксион ва вибрацион механизм қурилмалари ҳаракати математик моделлари кутилаётган чиқиш параметрлари асосида ишлаб чиқилган ва аналитик ечимлари олинган;

ташқи физик майдонлар ёрдамида олинган қуйма маҳсулотлардан тайёрланган механизмлар ва механик системаларни ишлаб чиқиш иссиқлик алмашинув кўрсаткичлари ёрдамида назарий асосланган;

электрореологик ва магнитореологик эффектлар (ноньютон суюқликлари) асосида механизмларнинг бошқариладиган ҳаракатларини ҳосил қилиш кўрсаткичлари назарий асосланган;

реверс механизмнинг ҳамда бошқариладиган вибромайдалагич ишчи органининг ҳаракатини аниқлаш ва ҳисоблаш математик модел асосида ишлаб чиқилган;

қуйма усулда олинган машинасозлик деталларининг мустаҳкамлигини ошириш технологияси детал материалининг

мустаҳкамлиги ва ейилишбардошлиги орасидаги боғлиқлик асосида математик моделлаштирилган;

машинасозликда деталларни қуймакорлик усулида олишнинг математик модели қуйма таркибидаги элементларнинг унинг механик хоссаларига таъсир этиш даражаси асосида ишлаб чиқилган;

бошқариладиган механизмларнинг янги авлод қурилмаларини яратишда қуймакорлик усулида олинган деталларнинг механик хоссаларига боғлиқлиги асосида математик модели ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

Параметрлари ва боғланишлари бошқариладиган фрикцион ва вибрацион механизмларнинг янги авлод қурилмалари ишлаб чиқилган ва асосланган;

бошқариладиган оптик сканерловчи, айланма ҳаракатни илгариланма ҳаракатга ўтказувчи, ғилдираклари синхрон айланувчи, одимловчи ва ўзини ўзи тўхтатувчи фрикцион механизмларнинг янги қурилмалари ишлаб чиқилган;

тоғ рудалари ва турли табиий қотишмаларни бойитишга тайёрлаш учун уларни майдалайдиган бошқариладиган горизонтал вибромайдалагич қурилмаси ишлаб чиқилган;

қуймакорлик усулида махсус қотишмалар (оқ чўян ва алюминий-литий) ҳосил қилишда технологик жараёнлар ва тажриба тадқиқотларини математик баҳолаш усуллари ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги прецизион вибромеханика принциплари асосида масалаларни математик жиҳатдан асосли ва коррект қўйилиши, тебранишлар назариясининг замонавий усуллари ҳамда ЭХМдаги дастурлар, чизиксиз дифференциал тенгламаларни сифат жиҳатидан тадқиқ этиш усуллари ривожлантирилиши, ишлаб чиқилган янги горизонтал вибромайдалагич қурилмаси синовининг ижобий натижалари, махсус қотишмаларни ҳосил қилишда тажриба тадқиқотлари натижаларини шу тадқиқотларни бажармасдан аниқлаш имкониятининг ҳосил қилиниши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти олий ва қуйи кинематик жуфтликка эга бошқариладиган механизмларнинг назарий асосларини ишлаб чиқишни такомиллаштирилиши, назарий натижалардан бошқариладиган механизмлар ишчи органлари мураккаб ҳаракати тенгламалари ечимларини аниқланиши, қуймакорлик усулида махсус қотишмаларни ҳосил қилишни илмий асослаш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти прецизион вибромеханика усуллари кенг қўллаб, назарий ишланмалар асосида параметрлари ва боғланишлари бошқариладиган механизмларнинг янги авлодини ишлаб чиқишга, шунингдек тоғ-кон рудалари ва турли табиий қотишмаларни бойитишга тайёрлаш учун уларни майдалайдиган янги горизонтал вибромайдалагич қурилмасини ишлаб чиқишга эришиш, қуймакорлик усулида олинадиган қора ва рангли металл қотишмаларни олиш технологик

жараёнларида тажриба тадқиқотларини такомиллашган математик моделларини ишлаб чиқиши натижасида иқтисодий ва меҳнат сарфини камайтирилиши билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Прецизион вибромеханика принципларига асосланган параметрлари ва боғланишлари бошқариладиган механизмлар қурилмаларини ишлаб чиқишда оқ чўян ва алюминий қўймаларини қўллаш, механизмлар ишчи органлари деталларидаги ишқаланиб ейилишини ва бошқа камчиликларини бартараф этиш, технологик жараёнларни такомиллаштириш асосида хомашё базасини тежаш ҳамда иқтисодий самарадорликка эришиш бўйича олинган натижалар асосида:

горизонтал ва вертикал вибромайдалагич ва шарикли майдалагич механизмларининг боғланишлари ва параметрларини бошқаришнинг такомиллаштирилган технологияси “Навоий машинасозлик заводи”га жорий қилинган (“НКМК” АЖнинг 28 декабрь 2022 йилдаги 23.01-01-07/880-сон маълумотномаси). Натижада тоғ-кон саноатида қўлланиладиган майдаловчи машиналарнинг иш унумдорлиги 12-14% га ортган.

дробилкалар ишчи органларининг мураккаб фазовий ҳаракатлари математик моделари учун сигнатурали ораликларни интеграллаш усули “Навоий машинасозлик заводи”га жорий қилинган (“НКМК” АЖнинг 28 декабрь 2022 йилдаги 23.01-01-07/880-сон маълумотномаси). Натижада ушбу бошқариладиган механизмларнинг янги қурилмалари учун техник-иқтисодий ва сифат кўрсаткичларини математик моделлаштириш асосида баҳолаш имкони 25-30% га ортган.

вибрацион механизмлар бўғинлари кинематик жуфтларининг фрикцион характеристикаларига юқори частотали вибрацияни таъсир этиш технологияси “Навоий машинасозлик заводи”га жорий қилинган (“НКМК” АЖнинг 28 декабрь 2022 йилдаги 23.01-01-07/880-сон маълумотномаси). Натижада тоғ-кон, геология саноатида қўлланиладиган вибрацион механизм юритмаларини иш жараёнида энергия сарфи 10-15% га камайган.

яратилган математик модель асосида параметрлари бошқариладиган машиналар ишчи органлари оқ чўян деталларини ишқаланиб ейилишини камайтириш технологияси “Навоий машинасозлик заводи”га жорий қилинган (“НКМК” АЖнинг 28 декабрь 2022 йилдаги 23.01-01-07/880-сон маълумотномаси). Натижада бошқариладиган машина ишчи органларининг ейилишбардошлиги 12-14% га ошган.

машина деталларини қўйма усулида олишда оқ чўян таркибидаги нометалл қўшимчаларни ўзгаришини баҳолайдиган, суюқлантирилган ваннага шихтани юклаш даврида ҳароратнинг ортиши билан қотишма таркибидаги қўшимчаларнинг ўзгаришини характерлайдиган математик моделлар “Навоий машинасозлик заводи”га жорий қилинган (“НКМК” АЖнинг 28 декабрь 2022 йилдаги 23.01-01-07/880-сон маълумотномаси). Натижада бошқариладиган механизмларни ишлаб чиқишда технологик жараёнларга сарфланадиган энергия 14-16% га камайган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертациянинг тадқиқот

натижалари 24 та, жумладан 21 та халқаро ва 3 та Республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 48 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация комиссиясининг фан доктори (DSc) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 17 та мақола, жумладан, 8 та Республика, 9 та хорижий журналларда (8 таси Scopus базасида индексланган журналларда), 3 та монография, 2 та ўқув қўлланма нашр этилган ҳамда Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг 4 та дастурий маҳсулотга гувоҳномалари олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, 5 та боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 200 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзуси бўйича ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурияти асосланган, Ўзбекистон Республикаси фан ва технологияси тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқот мақсади ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқот объекти ва предметлари аниқланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён этилган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий қилинганлиги, ишнинг апробация натижалари, эълон қилинган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **«Фрикцион ва вибрацион механизмларнинг параметрлари ва боғланишларини бошқаришнинг умумий классификацияларини ишлаб чиқиш. Назарий ва татбиқий изланишларни асослаш»** деб номланган биринчи бобида фрикцион ва вибрацион механизмлар бўйича жаҳон миқёсидаги адабиётлар шарҳи, илмий ва назарий муаммолар таҳлили, техник ишланмалар келтирилиб, мавжуд аналитик тадқиқотлар умумлаштирилган.

Технологик машиналарда қўлланиладиган параметрлари ва боғланишлари бошқариладиган механизмлар тадқиқотларининг аналитик усулларини ишлаб чиқиш ва унинг асосида уларнинг янги авлод қурилмаларини яратишда прецизион вибромеханика усулларини татбиқ этиш имкониятлари асосланган.

Бошқариладиган фрикцион ва вибрацион механизмларни бошқариш усулларининг янги такомиллаштирилган классификациялари тавсия этилган. Ишқаланиш кучини ўзгартириб, ишқаланувчи сиртлар юзасида юқори частотали эластик тебранишларни ҳосил қилиб, куч майдони ва ташқи физик майдонлар ёрдамида механизмларни бошқариш усуллари мантиқий давом эттирилиб, такомиллаштирилган. Ишқаланиш кучини бошқариш ва

Ўзгартириш натижасида фрикцион механизмлар кинематик жуфтларининг параметрларини бошқариш ҳамда юқори частотали эластик тўлқинларни (хусусан, “югурувчи”, “турғун” тўлқинлар) кинематик жуфтларнинг фрикцион характеристикаларига таъсири ҳақидаги масалаларнинг қўйилиши ва ечилиши асосланган.

Диссертациянинг «**Прецизион вибромеханика принципларига асосланган бошқариладиган фрикцион ва вибрацион механизмларнинг математик моделларини ва аналитик ечимларини ишлаб чиқиш**» деб номланган иккинчи бобда технологик талаблардан келиб чиққан ҳолда ишлаб чиқаришнинг реал секторларига, хусусан, тоғ-кон саноати, металлургия, умумий ва аниқ машинасозлик, озиқ-овқат ва қишлоқ хўжалик саноати, робототехника, мудофаа саноати, соғлиқни сақлаш саноати технологик жараёнларида кенг қўлланиладиган функционал имкониятлари кенгайтирилган янги авлод бошқариладиган механизмларни ривожлантириш концепциясини ишлаб чиқишда истиқболли ва самарали йўналиш сифатида прецизион вибромеханика тамойилларига асосланган тадқиқотлар олиб борилган.

Прецизион вибромеханика принципларига асосланган енгил ва оғир саноат, озиқ-овқат, тоғ-кон металлургияси, машинасозлик материалшунослигида кенг қўлланиладиган бошқариладиган фрикцион ва вибрацион механизмларни ишлаб чиқиш ва уларнинг математик моделларини яратиш ҳамда аналитик ечимларини ишлаб чиқиш масалалари кўриб чиқилган. Бунда тебранма ҳаракатлар сифатли тадқиқ этилиб, қаттиқ жисмнинг текисликдаги бошқариладиган ҳаракати, фрикцион туташган етакловчи ва етакланувчи ғилдиракнинг ташқи даврий куч билан бошқариладиган ҳаракати, реверсив механизмнинг ўзгарувчан ҳаракати, горизонтал вибромайдалагич ишчи органининг бошқариладиган ҳаракатлари математик моделлари ишлаб чиқилган ва аналитик ечимлари аниқланган. Чизиксиз ҳаракат дифференциал тенгламаларини интеграллаш учун янги усуллар қўлланилиб, ЭХМ ёрдамида бу ҳаракатларни сифатли тадқиқ этадиган дастурий маҳсулотлар ишлаб чиқилган ва уларга патентлар олинган.

Фрикцион механизмнинг чизиксиз хусусий ҳосилали сигнатурали ҳаракат дифференциал тенгламаларини интеграллаш учун фанда илк бора “вақтинчалик оралиқлар усули” ишлаб чиқилган ва асослаб берилган.

Келтирилган мулоҳазаларни амалий қўллаш масалалари дастлаб тоғ-кон, геология саноатида қўлланиладиган, фойдали қазилма, қотишма ва рудаларни бойитишга тайёрлаш учун уларни майдалайдиган бошқариладиган горизонтал вибромайдалагич қурилмаси ишчи органи ҳаракатининг математик модели тузилган ва унинг аналитик ечимларини аниқлаб, олинган ечимларни таҳлил этилган. Олинган назарий илмий тадқиқот натижалари рационал горизонтал вибромайдалагич қурилмасини тавсия этиш ва ишлаб чиқиш, уни амалиётга жорий этиб, маълум иқтисодий самара олиш билан яқунланган.

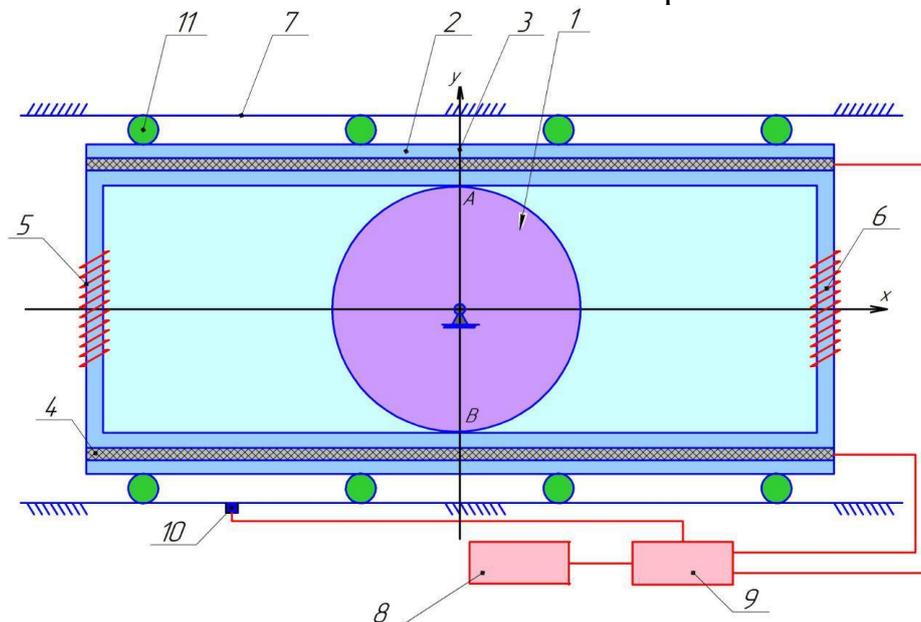
Бошқариладиган фрикцион ва вибрацион механизмлар ишчи органларининг ҳаракати математик моделларини ва аналитик ечимлари асосида фойдали руда ва қотишмаларни майдалайдиган рационал горизонтал

вибромайдалагич қурилмаси амалиётга жорий қилинди. Натижада вибромайдалагичда майдаланадиган тоғ рудалари ва турли табиий қотишмаларнинг ишлаб чиқаришдаги унумдорлиги 16-17 %га ортган. Тоғ рудалари ва турли табиий қотишмаларни майдалашда юритманинг умумий фойдали иш коэффициентини 10-15 %га, майдалаш жараёнининг сифати 15-18 %га, горизонтал вибромайдалагичларнинг тезлаштирилган ресурс ва тажриба синовларини ўтказиш усули асосида майдаланишдаги унумдорлик 20-25 %га ортган.

Тебранувчан столнинг икки координатали тебраниши тезлик ва тезланиш модулига боғлиқ ҳолда тез ортиб бориши аниқланди.

Ташқи физик майдон ҳисобланадиган электрореологик ва магнитореологик эффектларни қўллаган ҳолда бошқариладиган механизм қурилмалари бўғинларининг сирт емирилишларини камайтириш ва юритма валининг реверссиз ҳаракатида қўзғалувчи бўғиннинг реверсли ҳаракатини олиш имкони мавжудлиги исботланди.

Умумий кўриниши 1-расмда тасвирланган, янги ишлаб чиқилган фрикцион механизмда олдинги аналог механизмлардаги камчиликлар бартараф этилган ва механизмнинг ишончилиги ортган.



1-расм. Айланма ҳаракатни илгариланма ҳаракатга ўтказувчи фрикцион механизм схемаси

Қўзғалувчан элементнинг тебранма ҳаракат дифференциал тенгламаси тузилиб, уни интеграллаш 3 та асосий ҳол учун кўриб чиқилди.

Валнинг қўзғалувчан элемент билан контакт нукталари орасидаги ишқаланиш кучларини мавжуд Кулон қонунига кўра, $F_{мпх} = -fN \text{sign} \dot{x} = -fG \text{sign} \dot{x}$, деб олиб, ўзгармас c бикрликка эга пружиналарнинг қўзғалувчан элементга таъсирини ҳам инобатга олсак, ҳаракат дифференциал тенгламаси куйидаги кўринишга эга бўлади:

$$m\ddot{x} + cx - m_1\omega^2 R \cos \omega t = -fG \text{sign} \dot{x}. \quad (1)$$

$\dot{x} = 0$ га тенг бўладиган онларда ишқаланиш кучининг қиймати тинчликдаги ишқаланиш кучининг қиймати $f_1 N$ дан ортиб кетмаслиги ($f < f_1$) лозим. f_1 - тинч ҳолатдаги ишқаланиш коэффиценти. Бу эса қўзғалувчан элементнинг реверсли ҳаракатида тезлик ишорасини ўзгартириш онларини кузатиб, аниқлаб туриш кераклигини билдиради. Вақтнинг қандайдир $[t_n, t_{n+1}]$ чекли оралиғида $\dot{x} < 0$ бўлиб, (1) тенглама

$$m\ddot{x} + cx - m_1\omega^2 R \cos \omega t - fG = 0 \quad (2)$$

кўринишни эгаллайди. Шу $[t_l, t_{l+1}]$ чекли вақт оралиғидаги умумий ечим

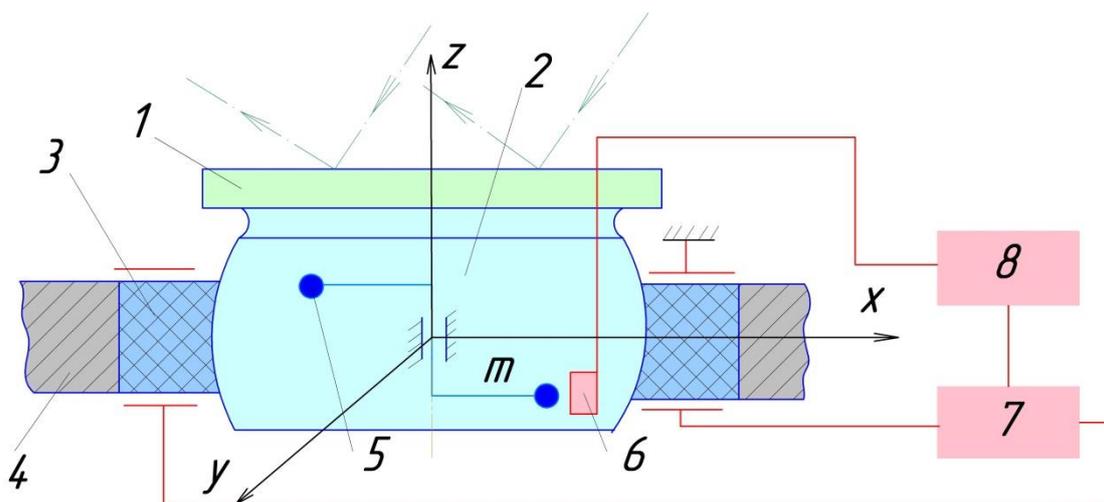
$$x(t) = c_1 \cos kt + c_2 \sin kt + \frac{m_1\omega^2 R}{m(k^2 - \omega^2)} \cos \omega t - \frac{fg}{k^2} \quad (3)$$

кўринишда бўлади.

Ушбу мулоҳазани давом эттириб, \dot{x} тезликнинг ишораси галма-гал ўзгарадиган ҳар бир $[t_m, t_{m+1}]$ ($m = 1, 2, \dots, n-1$) чекли вақт оралиғи учун (2) тенгламани интеграллаш мумкин. (3) умумий ечим таркибидаги интеграллаш доимийларини қўзғалувчан элементнинг тезлиги ишорасини ўзгартираётган вақтда $\dot{x} = 0$ қийматга эришадиган ҳар бир $t = t_m$, ($m = 1, 2, \dots, n-1$) вақт учун алоҳида ёзиш керак бўлади.

Маълумки, бошқариладиган механизм звеноларининг ҳаракат чизиқсиз дифференциал тенгламаларини квадратураларда даврий ечимлари мавжуд бўлмайди. Дифференциал тенгламалар бўйича мавжуд адабиётлар таҳлили шуни кўрсатадики, тенглама таркибига сигнатура (*sign*) кирган бўлса, бирор-бир илмий мақолаларда ҳам, уларнинг асимптотик ёки сонли усулларидаги ечимлари келтирилмаган. Ушбу хулосага асосан қўйидаги муҳим тавсияни таъкидлаб ўтиш лозим. Яъни, тадқиқот олиб борилаётган механизмлар ва машиналар таркибига реверсив ҳаракат қилувчи ишчи органлар кирган бўлса, уларнинг ҳаракат дифференциал тенгламаларини юқорида келтирилган усул билан умумий ечимларини олиш мумкин. Бу усулни “вақт интерваллари усули билан ечиш” (“решение методом временных интервалов») номи билан аташ мақсадга мувофиқ бўлар эди.

Сферик виброўзгартиргичда юқори частотали эластик тебранишларни қўзғатилса, ойна тутқичи билан динамик дебаланс берадиган куч таъсирида координата бошидан ўтувчи ўқ атрофида бурилади (2-расм). Тебранишларни қўзғатиш давомийлиги $\tau_k \ll 2\pi / \omega$ ва қўзғатиш фазаси момент вектори ҳолатига нисбатан фазода ойнанинг оний айланиш ўқи ҳолати ва бурчак тезлигини аниқлайди, яъни ойнанинг бурчак тезлик вектори $\omega = const$ ни бошқарув системаси билан аниқлайди. Шу усул билан, пьезокерамик ўзгартиргич ва сферик тутқич орасидаги ишқаланиш кучини ўзгартириб, ойнанинг фазода исталган ҳолатини олиш мумкин.



2-расм. Оптик сканерловчи қурилма схемаси

Қурилманинг асосий техник характеристикаси қуйидагича: кўзгалувчанлик сони учга тенг, ойнанинг максимал массаси 10 кг, ҳар бир координата бўйича бурчак тезлиги 2 рад/с, нотекислик коэффициентини 0,005, рухсат этилган чегараси $5 \cdot 10^{-7}$ рад, максимал радиал тезланиш $1,2 \cdot 10^3$ рад/с², ойна диаметри 115 мм дан кичик эмас.

Дефлектор ва сканерловчи қурилма мисолида функционал имкониятлари кенгайтирилган бошқариладиган механизмларни яратишнинг асосий тамойиллари ва назарияси асосланди. Гироскоп ва шу каби қурилмаларнинг замонавий илмий, назарий муаммолари ва тоғ-кон саноатида уларни қўллашнинг назарий асослари тадқиқ этилди.

Бошқариладиган фрикцион ва вибрацион механизмлар ишчи органларининг ҳаракати математик моделларини ва аналитик ечимларини аниқлаш таклиф этилаётган тоғ-кон саноатида фойдали руда ва қотишмаларни майдалайдиган рационал горизонтал вибромайдалагич мисолида келтирилди. Ушбу бошқариладиган механизмларнинг янги қурилмалари учун техник-иқтисодий ва сифат кўрсаткичларини математик моделлаштириш асосида баҳолаш имкони 25-30% га енгиллаштирилди.

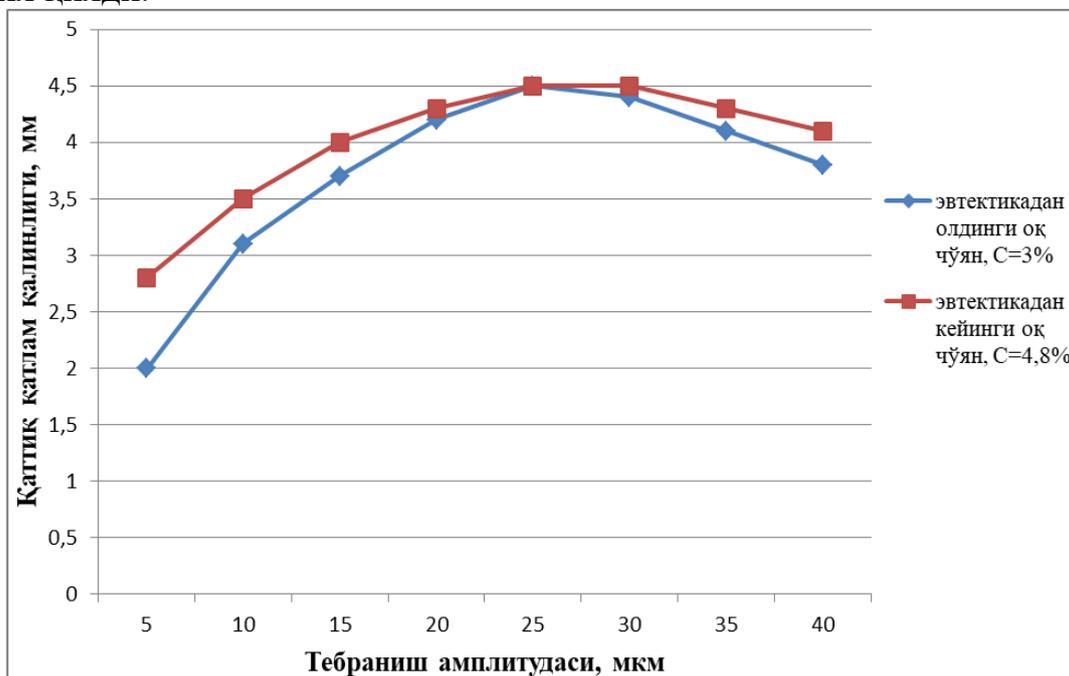
«Ташқи физик майдонлар ёрдамида олинган қўйма маҳсулотлардан тайёрланган механизмлар ва механик системаларни ишлаб чиқишнинг назарий асослари» деб номланган учинчи бобда механизмлар ва машиналар назариясида янги ва истиқболли йўналишлардан бири бўлган прецизион вибромеханика принципларига асосланган параметрлари ва боғланишлари бошқариладиган механизмларнинг янги авлод қурилмаларини ишлаб чиқишда ташқи физик майдонлардан фойдаланиш, унинг ёрдамида қўйма маҳсулотлардан тайёрланадиган механизм деталларини ҳосил қилиш имкониятлари назарий асосланган. Хусусан, ультратовуш тебранишларни таъсири остида қўйма усулда олинадиган оқ чўянларнинг қаттиқлик қатламнинг қалинлигига ишлов бериш, оқ чўянларнинг таркибидаги газ қўшимчаларнинг миқдорига шихтани ваннага юклаш ҳарорати ва алюминий миқдорининг таъсирини тадқиқ қилиш, бошқариладиган вибромеханизмларни ишлаб чиқишда реологик эффектлардан фойдаланишда

инновацион технологиялар ёритилган. Аниқ машинасозликда бошқариладиган механизмларни яратишда реологик суюқликнинг тўлқинсимон ҳаракати математик моделлари ва аналитик ечимлари аниқланган. Электрореологик ва магнитореологик суюқликлар асосида механизмларнинг бошқариладиган ҳаракатларини ҳосил қилиш имкониятлари тадқиқ этилиб, назарий асосланган.

Оқ чўянларнинг ейилишбардошлигини ошириш мақсадида таркибига 12% дан 16% гача миқдорда хром қўшилган қотишманинг кристалланиш жараёнида унга тебранма ҳаракат берилди. Бунда тебранишлар амплитудаси 5 мкм дан 45 мкм оралиғида танлаб олинди. Объект сифатида таркибида 3% углерод (С) бўлган эвтектикагача оқ чўян ва таркибида 4,8% углерод бўлган эвтектикадан кейинги оқ чўянлар олинган.

3-расмда таркибида 12% хром бўлган оқ чўяннинг тебранишлар амплитудаси 5 мкм дан 45 мкм гача бўлган ҳолатда ҳосил бўлган қаттиқ қатламнинг қалинлигининг ўзгариш графиги келтирилган.

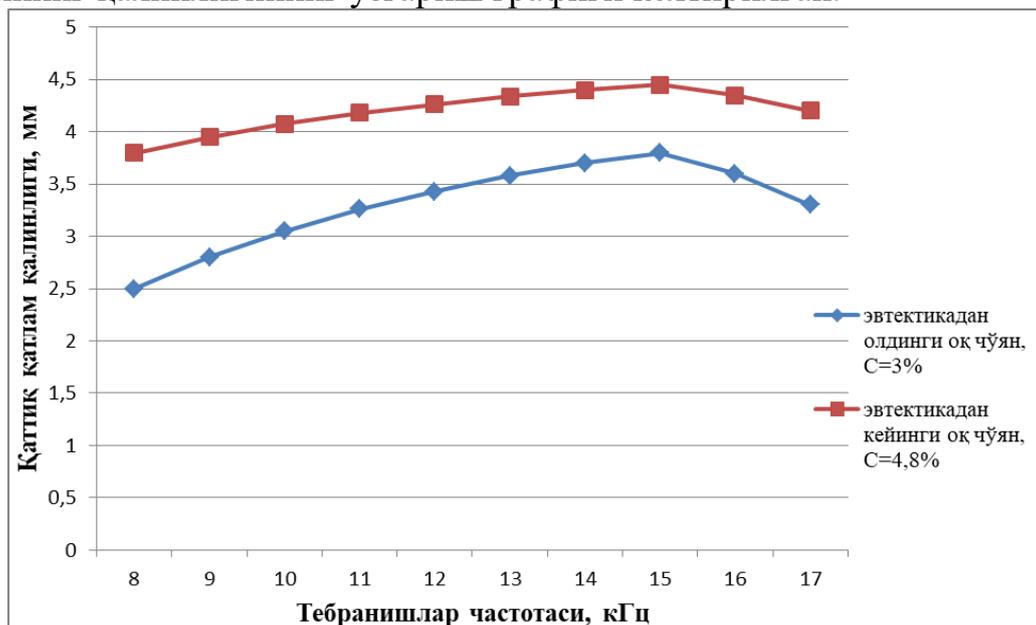
Таркибида 12% хром бўлган эвтектикагача оқ чўянлар учун тебранишлар амплитудаси 25-30 мкм оптимал натижа берган бўлса, эвтектикадан кейинги оқ чўян учун тебранишлар амплитудаси 30-35 мкм ни ташкил қилди.



3-расм. Таркибида 12% хром (Cr) бўлган оқ чўянга ультратовуш тебранишлар таъсири

Тадқиқотнинг кейинги босқичида ҳам оқ чўянларнинг ейилишбардошлигини ошириш мақсадида таркибига 12% дан 16% гача миқдорда хром қўшилган қотишманинг кристалланиш жараёнида унга тебранма ҳаракат берилди. Бунда тебранишлар частотаси 9 кГц дан 18 кГц оралиғида танлаб олинди. Бу тадқиқотда ҳам объект сифатида таркибида 3% С бўлган эвтектикагача оқ чўян ва таркибида 4,8% бўлган эвтектикадан кейинги оқ чўянлар олинган.

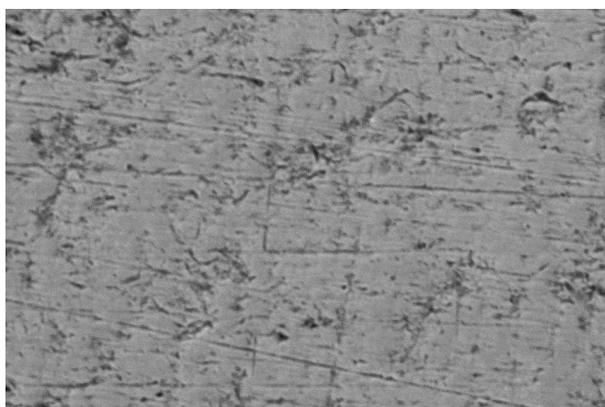
4-расмда таркибида 12% хром бўлган оқ чўяннинг тебранишлар частотаси 9 кГц дан 18 кГц гача бўлган ҳолатда ҳосил бўлган қаттиқ қатламнинг қалинлигининг ўзгариш графиги келтирилган.



4-расм. Таркибида 12% хром (Cr) бўлган оқ чўянга ультратовуш тебранишлар частотасининг таъсири графиги

Тебранишлар частотаси 16 кГц дан ортганда эса қаттиқ қатлам қалинлиги камайиб боради. Таркибида 12% хром бўлган эвтектикагача оқ чўянлар учун тебранишлар частотаси 15-16 кГц оптимал натижа берган бўлса, эвтектикадан кейинги оқ чўян учун тебранишлар амплитудаси 14-16 мкм ни ташкил қилди.

5-расмда таркибида 12 % хром бўлган оқ чўянга 8-18 кГц частотадаги ультратовуш тебранишлар частотаси билан ишлов берилганида ҳосил бўлган структура келтирилган.



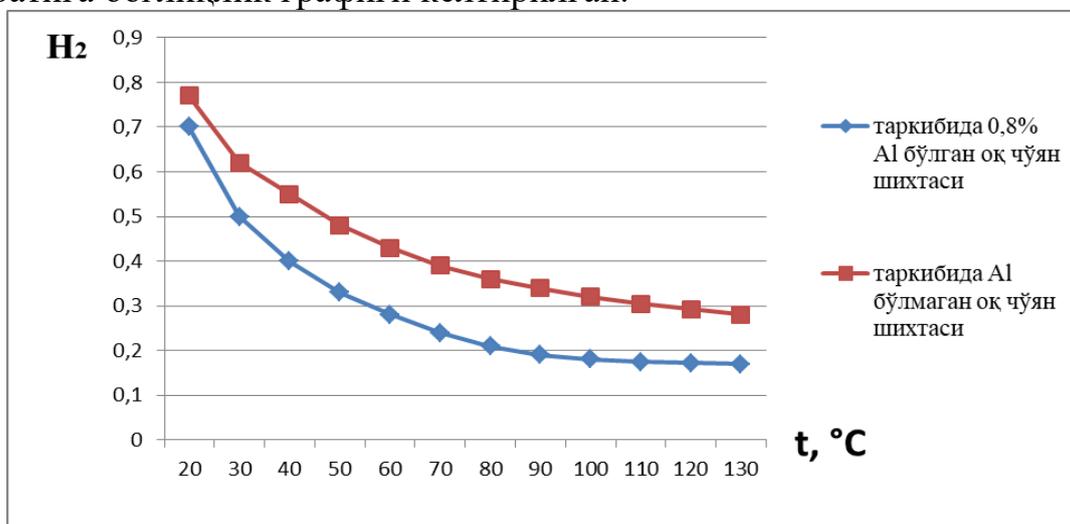
5-расм. Таркибида 12 % хром бўлган оқ чўянга 8-18 кГц частотадаги ультратовуш тебранишлар частотаси билан ишлов берилганида ҳосил бўлган структура

Печга юкланаётган оқ чўян шихтасининг таркибидаги кимёвий элементларнинг шихта ҳароратига боғлиқлик даражасини аниқлаш учун қатор тадқиқот ишлари олиб борилди. Жумладан таркибига 0,2% дан

1,2% алюминий қўшилган шихтани 20 °С дан 120 °С гача бўлган ҳароратгача қиздириб, суяқ ваннага юкланди. Бунда шихтанинг ўртача диаметри 70-90 мм ни ташкил этди.

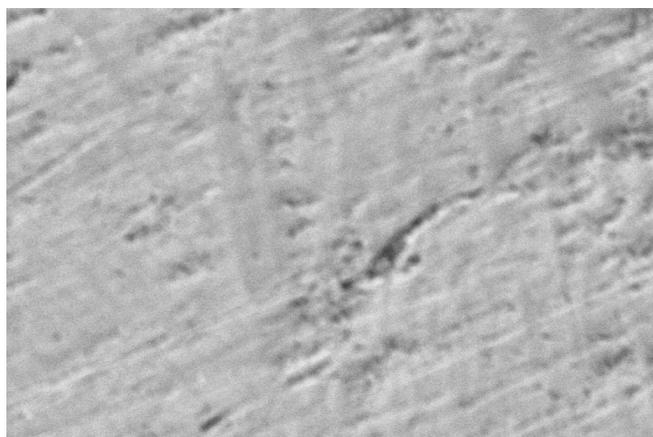
Тадқиқот олтига босқичда олиб борилди. Оқ чўян шихтасининг таркибига 0,2% дан 1,2% гача алюминий киритилди ва уни дастлабки қиздириш ҳарорати 20 °С дан 120 °С гача қилиб олинди.

6-расмда олиб борилган тадқиқот натижалари бўйича олинаётган оқ чўян таркибида ҳосил бўлган газ қўшимчаларнинг юкланаётган шихтанинг ҳароратига боғлиқлик графиги келтирилган.



6-расм. Таркибида 0,8 % Al қўшилган оқ чўян шихтасини печга турли ҳароратда юклангандаги газ ташкил этувчиларнинг миқдорига боғлиқлик графиги

Таркибида 0,2 дан 1,2 % гача Al бўлган оқ чўян таркибидаги газ ғовакларининг жойлашуви СЭМ Zeiss EVO MA 10 сканерловчи электрон микроскоп ёрдамида таҳлил қилинди. 7-расмда таркибида 0,8 % Al бўлган оқ чўян таркибидаги газ ғовакларининг жойлашуви кўрсатилган.



7-расм. Таркибида 0,8 % Al бўлган оқ чўянни таркибидаги газ ғовакларнинг СЭМ Zeiss EVO MA 10 сканерловчи электрон микроскоп ёрдамидаги таҳлили

Юкланаётган шихтанинг ҳарорати 50 °С дан 85 °С гача бўлганида олинаётган оқ чўян қотишмасининг таркибидаги газ миқдорининг камайиши кескин равишда бўлиб, олинаётган оқ чўян қотишмаси таркибидаги газларнинг миқдори 0,2 дан 0,32 см³/100гр гача бўлган оралиқда бўлади. Ҳароратнинг 90 °С дан ортиши газ миқдорининг камайишига таъсири

камаяди ва оқ чўян шихтасининг қиздириш ҳарорати 90 °С бўлганида қотишмадаги газларнинг миқдори 0,22 см³/100гр ни ташкил этди. Бу ҳароратдан ортиқ даражагача шихтани қиздириш ўзини оқламайди.

Олиб борилган тадқиқотлар натижаси асосида шуни хулоса қилиш мумкинки, оқ чўянни суюқлантиришдан олдин шихта таркибига 0,8-1,0% миқдорида алюминий элементини киритиш олинаётган қотишма таркибидаги газларнинг миқдорини кескин камайтиришга олиб келади. Шу билан бир қаторда юкланаётган оқ чўян шихтасини 50-90 °С даражасигача қиздириш катта самара беради. Таркибига алюминий элементини қўшилган шихтани 50-90 °С гача қиздириш олинаётган оқ чўян таркибидаги газ қўшимчаларнинг миқдорини 30-35% гача камайтириш имконини беради.

Электрореологик эффектлар асосида контакт зонасидаги боғланишлари бошқариладиган ҳаракат турини ўзгартириб олиш имконини берувчи фрикцион механизмни кўриб чиқамиз. Таъкидлаш лозимки, вал билан кўзғалувчан элемент орасидаги қуйи ва юқори зоналарида кучланиш манбааларини таъсир эттириб, суюқликнинг реологик хусусиятларини ўзгартириш орқали бошқариладиган ҳаракатни олиш имконияти ҳосил қилинади. Бу эса вал айланиши билан кўзғалувчан элементнинг тўғри ва тескари йўналишларда илгариланма ҳаракатини олиш имконини беради. Шундай қилиб, қисқа вақтда ва айланувчи валнинг реверсиз тўхташида кўзғалувчан элементнинг талаб этилган аниқликдаги позицион реверсив ҳаракати олинади.

Кўзғалувчан элементнинг ҳаракат дифференциал тенгламасини қуйидаги кўринишда тузиш мумкин:

$$m\ddot{x} = \beta(r\omega - \dot{x}), \quad (4)$$

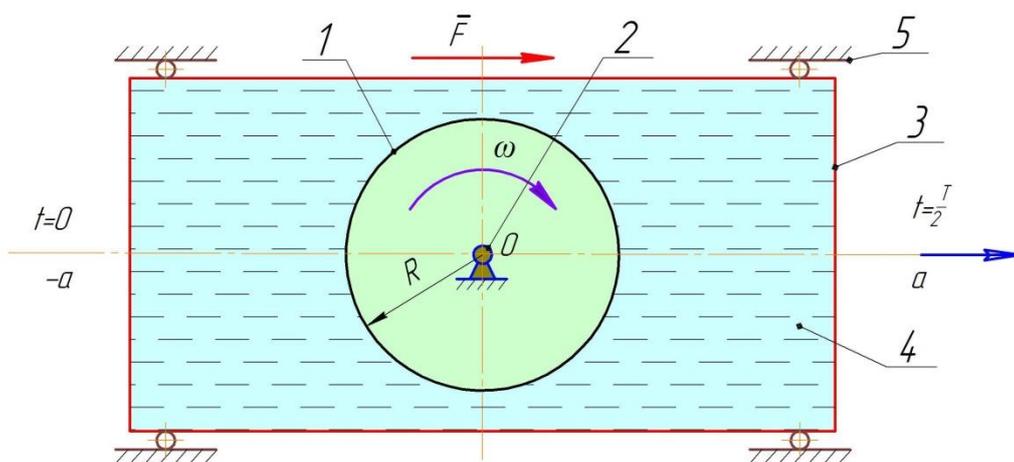
бунда m – валнинг электрореологик суюқлик билан биргаликдаги массаси.

Бир қанча ҳисоблашлардан кейин кўзғалувчан элементнинг абсолют тезлигини аниқлаш учун ушбу трансцендент тенгламага эга бўламиз:

$$n = \frac{1}{2} \ell_n \frac{1 + \beta}{1 - \beta} - \beta. \quad (5)$$

Назарий жиҳатдан ўрганилган электрореологик эффектлар асосида келтирилган юқоридаги фрикцион механизмни контакт зонасида боғланишлари бошқариладиган янги синф вибродвигател деб қараш мумкин. Бундай қурилмадан миникомпьютерлар, ЭҲМ нинг ахборотларни танлаш қурилмаларида, сақловчи диск қурилмаларининг позицион магнит головкаларида фойдаланиш мумкин. Шунингдек, тез ҳаракатланувчи электромеханик асбобларда, айланма ҳаракатларни илгариланма ҳаракатга айланттирувчи механизм қурилмаларида фойдаланиш мумкин.

8-расмда электрореологик эффектдан фойдаланиш асосида илгариланма ҳаракатланувчи юритма қурилмаси келтирилган. Ушбу қаралаётган илгариланма ҳаракат юритмаси 2-кўзғалмас ўқ атрофида айланадиган 1-валдан, 5-йўналтиргичларга эга 4-электрореологик суюқлик билан тўлдирилган қисмлари қатлам билан ажратилган 3-кўзғалувчан элементдан иборат.

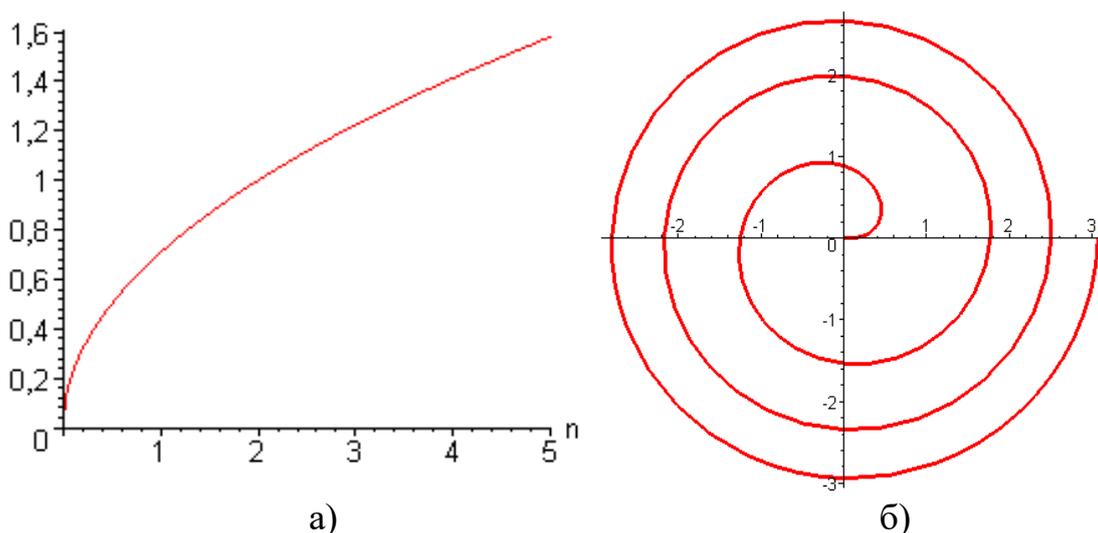


8-расм. Электрореологик эффект асосида боғланишлари бошқариладиган ҳаракатни ўзгартиргич-фрикцион механизмнинг ҳисоблаш схемаси

Ўлчамсиз амплитудани аниқлаш ифодаси қуйидаги кўринишга эга:

$$A = 1 + \frac{v}{n} - \frac{1}{n} \ln(1 + v). \quad (6)$$

Maple 13 дастурий пакети ёрдамида ўрганилаётган механик система асосий кинематик параметрларининг ўзгариш қонуниятлар графиклар ҳосил қилинди (9-расм). Тебраниш амплитудаси $A = A(v)$ ва тебраниш даври $\eta = \eta(v)$.



9-расм. Декарт (а) ва қутб (б) координаталар системасида электрореологик суюқлик қаршилик эффектив коэффициенти n нинг ўзгаришига кўра қўзғалувчан элемент тезлиги v нинг ўзгариши графиги

Бошқариладиган механик системаларни ҳосил қилишда ташқи физик майдонлар (электрореологик ва магнитореологик эффектлар)дан фойдаланиш технологияси аниқ машинасозликда чизиқли ва чизиқсиз динамик системаларни автоматик бошқаришни 45 %гача кенгайтиради.

«Машинасозликда қуймакорлик усулида янги металл қотишмаларини яратишнинг математик моделлаштириш асослари» деб номланган тўртинчи бобда машинасозлик материалшунослигида математик

моделларини яратишнинг муаммолари ва истиқболлари келтирилган. Алюминий-литий асосида наноструктурали янги мустаҳкам материалларни яратиш учун технологик жараёнларни математик моделлаштириш оптималлаштириш масаласи ва регрессион усул ёрдамида тадқиқ этилган. Қўймакорлик усули билан алюминий-литий қотишмаларини олиш технологик жараёнлари математик моделлари ва аналитик ечимлари туташ муҳитнинг умумий ҳаракат дифференциал тенгламалари асосида ишлаб чиқилган. Машинасозликда математик моделлаштириш масалаларининг қўйилиши ва уларнинг ечимларини аниқлаш асослаб берилган.

Алюминий-литий асосида янги мустаҳкам наноструктурали материалларни яратиш учун уларнинг математик моделларини ва аналитик ечимларини ишлаб чиқилган.

Регрессион модел тажриба натижаларини статистик анализ қилиш учун қўлланилади. Бунда тажрибалар бир ёки бир неча узлуксиз бошқариладиган x_1, x_2, \dots, x_n ўзгарувчилар ва битта ўлчанадиган тасодифий y катталиқ билан амалга оширилади. Регрессион моделда тажриба жараёнида аниқлаш мушкул бўлган ёки умуман иложи бўлмаган x_1, x_2, \dots, x_n ўзгарувчиларга мос y нинг қийматини аниқловчи $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ функционал боғланишни аниқлаш асосий масала ҳисобланади.

Моделнинг адекватлигини текшириш учун моделнинг чизиқлилиги, турли нуқталарда хатоликни боғлиқмаслиги ҳамда хатолик ва дисперсиянинг нормал тақсимот қонуни текширилади.

Машинасозликда қўймакорлик технологиялари бўйича жаҳон ва юртимиз олимларининг илмий тадқиқотларининг аналитик шарҳи шуни кўрсатадики, кўпгина тадқиқотларда тадқиқ этилаётган технологик жараёнларни характерлайдиган математик моделлаштириш атиги 12-15 %ни ташкил этади. Бунинг сабаби биринчидан, тузиладиган математик моделлар реал технологик жараённи тўла характерлаши ушбу жараённинг физик, кимёвий хусусиятларидан келиб чиққан ҳолда бирқанча талабларга жавоб бериши лозим бўлади. Шунингдек ушбу моделларни ифодалайдиган интеграл-дифференциал тенгламалар мураккаб чизиқсиз кўринишда бўлиб, умумий ҳолда унинг аналитик ечимларини аниқлашнинг ягона усули шу вақтга қадар аниқланмаган. Бу муаммоларни сифатли ўрганиш ва тадқиқ этишга қаратилган илмий тадқиқотларда математиканинг барча йўналишларидан олинган билимларни самарали қўллаш вазифаси вужудга келади. Чизиқсиз дифференциал тенгламаларни ечимларини аниқлаш учун эса сонли усуллар, хусусан, чекли элементлар, чекли айирмалар, чегаравий элементлар усуллариға мурожаат этилади.

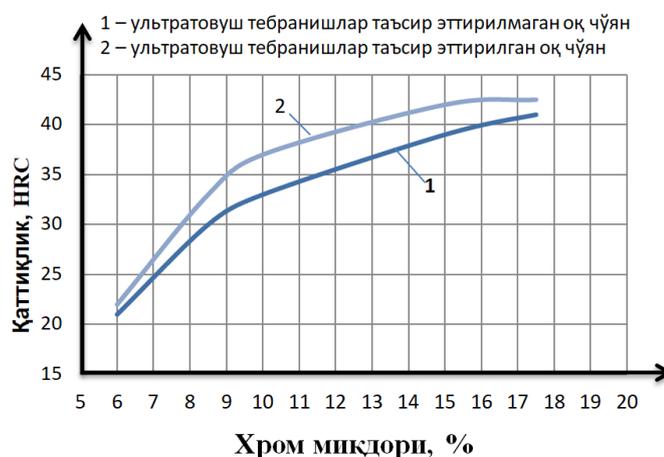
Оқим массаси, энергияси ва импульсни сақланиш қонунлари асосида олинадиган ёй разрядли плазма ҳолатига ўтадиган газ таъсиридаги термодинамик жараённи характерлайдиган математик моделни дифференциал тенглама кўринишида қуйидагича оламит:

$$\Omega_{,} E^2 - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) - P = c \rho \frac{\partial T}{\partial x},$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} - r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \eta(r) V(r) \right) = 0,$$
(7)

бунда $\Omega_{,}$ - электр кучланиш, r - чизиқли катталиқ (кристаллизатор радиуси), T - температура, P - босим, η - электр-газ оқими ўртача массаси.

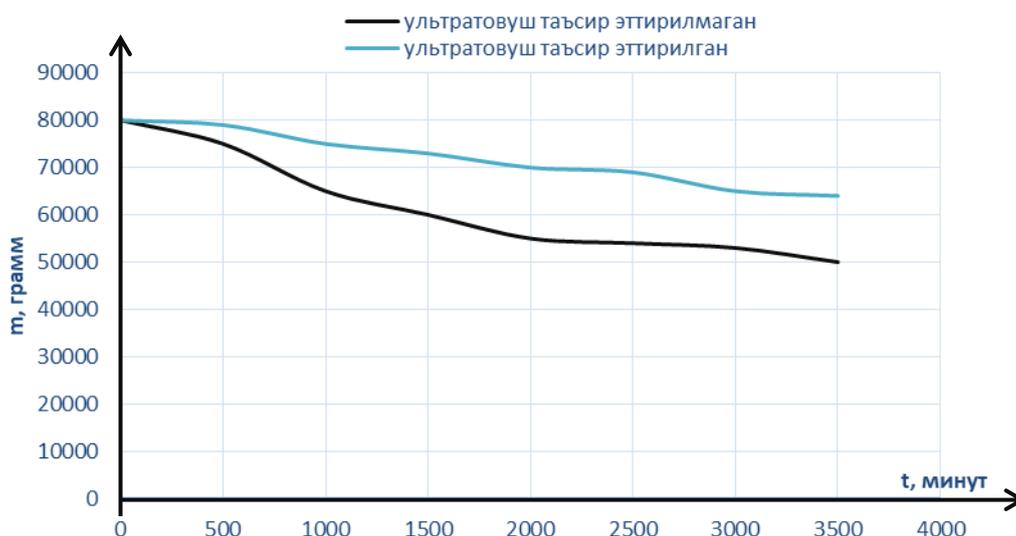
«Бошқариладиган вибрацион механизмларнинг янги авлод қурилмалари ҳамда қўймакорлик усулида металл қотишмалар ҳосил қилишга оид тажрибавий ва сонли усуллардаги тадқиқотлар» деб номланган бешинчи бобда прецизион вибромеханика принципларига асосланган бошқариладиган механизмлар ва машиналарни ишлаб чиқишда қўймакорлик усулида металл қотишмаларини қўллашнинг муҳандислик ечимлари келтирилган. НКМК нинг “НМЗ” ИЧБ да ишлаб чиқариш шароитида пульпа насос оқ чўян деталларини механик хоссаларини ва ейилишбардошлигини ортириш тажриба тадқиқотлари ижобий натижалари келтирилган. Оқ чўян деталларини юза қатлам қалинлигини хром миқдорига мос равишда ўзгаришини характерлайдиган математик модел ҳосил қилинган. Бошқариладиган механизмлар ва машиналарни ишлаб чиқишда алюминий қотишмаларини қўллашнинг муҳандислик ечимлари келтирилган. Юқори мустаҳкамликка эга машина деталларини ҳосил қилишда алюминий қотишмалари таркибидаги водород ва оксид қўшимчаларни ўзгаришини баҳолайдиган математик модел ишлаб чиқилган. Тадқиқот даврида қиздирилган шихтани ушлаб туриш вақти билан водород таркибини ўзгаришини баҳолаш функцияси ҳосил қилинган. Муҳандислик-амалий ҳисоблашлар учун жадвал кўринишида келтирилган сонли қийматларнинг функционал боғланишлари ёрдамида асосий изланаётган параметрларнинг ўзгариш графиклари қурилган.



10-расм. НМЗ да фойдаланиб келинаётган ва тавсия этилган пульпа насос ишчи парраги қаттиқлигининг ўзгариши графиги

10-расмда тавсия этилаётган пульпа насоснинг оқ чўян қўйма детали ишлаб чиқариш шароитида синовдан ўтказилганда, деталнинг механик хоссаларини бирмунча яхшиланганлигини, 11-расмда эса ишлаб чиқаришда

фойдаланиб келинаётган ва тавсия этилган пульпа насос ишчи диски(парраги)нинг ейилишбардошлиги ортганлигини кўриш мумкин.



11-расм. Ишлаб чиқаришда фойдаланиб келинаётган ва тавсия этилган пульпа насос ишчи диски(парраги)нинг хизмат муддати ва яроқсиз ҳолга келгандаги (датчик асосида) тарозида ўлчанган оғирлиги

Алюминий қотишмаларини суяқлантиришда қотишма таркибидаги газ кўшимчаларни камайтиришнинг математик модели ва ечими ишлаб чиқилди.

Шихтанинг суяқ ваннага юклаш давридаги ҳарорат T ($^{\circ}\text{C}$) нинг ортиши билан қотишмадаги алюминий оксиди миқдори β (%) нинг ўзгаришини аниқлайдиган боғланиш функцияси қуйидаги кўринишда бўлиши аниқланди:

$$\beta(T) = \frac{25685}{2052} - \frac{1409}{54720}T - \frac{1367}{164160000}T^2 + \frac{221}{1368 \cdot 10^6}T^3 - \frac{67}{32832 \cdot 10^7}T^4. \quad (8)$$

Суяқ металлни қолипга турли томондан ва турли баландликлардан қуйганда қум массасининг юқолиб бориш жараёнини тажриба ёрдамида олинган натижалардан фойдаланган ҳолда математик моделлаштириш масаласини кўриб чиқилди. Суяқ металлни қолип остидан қуйилиш баландлигининг ўзгариши билан қум массасининг йўқотилишини аниқлайдиган функция ҳосил қилинди:

$$m(h) = -3939,8041 + 9675,07892h - 9012,89035h^2 + 4170,03772h^3 - 1008,78581h^4 + 122,20962h^5 - 5,84599h^6. \quad (9)$$

Оқ чўян деталларини ейилишбардошлигини ортириш бўйича ишлаб чиқариш шароитида олиб борилган тадқиқотлар асосида хромланган юза қатлам қалинлигининг хром миқдорига боғлиқ ҳолда ўзгариши математик моделлаштирилди. Хром миқдорининг ортиши билан хромланган юза қатлам қалинлиги ўзгаришини характерлайдиган функция аниқланди:

$$\delta(\alpha) = 0,000013021\alpha^5 - 0,0004296875\alpha^4 + 0,005494791667\alpha^3 - 0,026328125\alpha^2 + 0,0694921875\alpha + 0,0517578125. \quad (10)$$

ХУЛОСА

“Прецизион вибромеханика принципларига асосланган бошқариладиган механизмларнинг янги авлодини ишлаб чиқишда махсус қотишмалар (оқ чўян ва алюминий-литий) қўллашнинг назарий ва муҳандислик ечимлари” мавзусидаги техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси бўйича ўтказилган тадқиқот натижалари қуйидагилардан иборат:

1. Олий ва қуйи кинематик жуфтли механизмларнинг боғланишлари ва параметрларини бошқаришнинг илк бора умумий такомиллашган классификациялари, ҳисоблаш усуллари ва математик моделлари ишлаб чиқилди. Ушбу классификациялар ва математик моделлар бошқариладиган механизмларнинг янги авлод қурилмаларини ишлаб чиқиш ҳамда фрикцион ва вибрацион механизм қурилмаларини функционал ва структура жиҳатидан сифатли таҳлил қилиш имконини беради.

2. Тоғ-кон саноатида қўлланиладиган рационал майдаловчи элак ҳамда рационал горизонтал вибромайдалагич қурилмаларининг ҳисоблаш усуллари Лаплас-Карсон интеграл алмаштиришлари ёрдамида такомиллаштирилди. Бу олинган натижалар чизиксиз динамик системаларни биринчи интегралларини аниқлаш имконини беради.

3. Фрикцион ва вибрацион механизмлар бўғинлари кинематик жуфтларининг фрикцион характеристикаларига “тескари пьезоэффект” усули ёрдамида юқори частотали эластик тўлқинларни таъсир эттириш орқали механизмнинг фрикцион характеристикаларини ўзгартириш мумкинлиги асосланди. Илмий натижалар бошқариладиган механизмлар ва уларнинг қурилмаларини кейинги назарий ишланмалари учун асос вазифасини бажаради.

4. Бошқариладиган фрикцион ва вибрацион механизмлар ишчи органларининг ҳаракати математик моделларини ва аналитик ечимларини аниқлаш тоғ-кон саноатида фойдали руда ва қотишмаларни майдалайдиган рационал горизонтал вибромайдалагич мисолида келтирилди. Бунинг натижасида тоғ рудалари ва турли табиий қотишмаларнинг майдалашдаги унумдорлигини, майдалаш жараёнининг сифатини ва юритманинг умумий фойдали иш коэффициентини ортириш имконини беради.

5. Бошқариладиган горизонтал вибромайдалагич, қаттиқ жисмнинг текисликдаги бошқариладиган ҳаракати, фрикцион механизмнинг туташган зонасидаги бошқариладиган боғланишининг, шунингдек реверсив механизмнинг математик модели ва аналитик ечимлари учун сонли усуллардаги дастур учун Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг дастурий маҳсулотга гувоҳномалари олиниб, ўқув жараёнига татбиқ этилган. Бу натижалар чизиксиз ҳадлари инобатга олинган дифференциал тенгламаларни сифатли тадқиқ этиш имконияти яратилади.

6. Бошқариладиган механизмлар ва машиналарнинг реверсив ҳаракат қилувчи ишчи органларининг сигнатурали чизиксиз ҳаракат дифференциал тенгламаларини “вақт интерваллари усули билан интеграллаш” (“интегрирование методом временных интервалов») усули ишлаб чиқилди.

Ушбу усул ёрдамида реверс механизмларининг чекли ҳаракат интерваллари, тўхташ ва қайтиш чегаралари аниқланиб, чизиксиз тенгламалар системасини сонли ечиш имконини беради.

7. Дефлектор ва сканерловчи қурилма мисолида функционал имкониятлари кенгайтирилган бошқариладиган механизмларни яратишнинг асосий тамойиллари ва назарияси асосланди. Бу бошқариладиган механизмларни ишлаб чиқиш самарадорлигини ошириш имконини беради.

8. Ташқи физик майдонлар ёрдамида олинган қўйма маҳсулотлардан тайёрланган механизмлар ва механик системаларни ишлаб чиқишда оқ чўянларнинг қаттиқлик қатламининг қалинлигига ишлов беришда ультратовуш тебранишлар таъсири натижасида оптимал режимлар ишлаб чиқилган. Бу механизмлар ва механик системаларни ишлаб чиқишда ультратовуш ёрдамида олинаётган қўймалар сифатини ошириш имконини беради.

9. Оқ чўянни суюқлантиришда шихта таркибига маълум миқдорда алюминий элементини киритиш натижасида қотишма таркибидаги газларнинг миқдорини кескин камайтириш технологияси ишлаб чиқилди. Бу бошқариладиган механизмларда ушбу қотишмаларни қўллаш асосида деталларнинг механик хоссаларини яхшилаб, мустаҳкамлигини ортириш имконини беради.

10. Бошқариладиган механизмларни яратишда реологик суюқликнинг тўлқинсимон ҳаракати математик модели ва аналитик ечимлари ишлаб чиқилди. Бу бошқариладиган механизмларда реологик суюқликлардан фойдаланиш имконини беради.

11. Ташқи физик майдонлар, электрореологик ва магнитореологик эффектлар таъсирида дисперс материалларни қуриштириш ва унинг қурилмасини яратиш учун стационар ва ностационар масалаларнинг аналитик ечимлари олинди. Олинган аналитик ечимлар ва натижалар дисперс материалларни қуриштириш қурилмаларини ишлаб чиқишда муҳандислик ҳисоблаш ва автоматик бошқарув системаси, чизикли ва чизиксиз динамик системаларни бошқариладиган янги авлодини яратиш имконини беради.

12. Енгил автомобилларнинг қўйма деталларини ишлаб чиқишда суюқ шлаклардан металл ажратиб олишда компонентларнинг термо-физик хоссаларининг ўзгариш динамикасини характерлайдиган, шлак ва саноат чиқиндиларидан мис ва бошқа металлларни ажратиб олишда шлак таркибидаги металл қўшимчаларнинг кимёвий хоссаларини инобатга олган ҳолда баҳолаш имконини берувчи математик моделлар ишлаб чиқилди. Ушбу моделлар алюминий, мис ва бошқа рангли металлларни ажратиб олиш жараёнини автоматлаштириш имконини беради.

13. Алюминий ва тантал оксидлари асосида янги мустаҳкам наноструктурали материалларни ҳосил қилишда технологик жараёнларни оптималлаштириш ва регрессион таҳлилнинг икки ва ундан ортиқ боғланиш функцияларини ҳосил қилиш усуллари туташ муҳит ҳаракат тенгламасини келтириб чиқариш асосида ишлаб чиқилди. Олинган натижалар технологик жараённинг математик моделини тузиш имконини беради.

14. Машинасозликда енгил ва мустаҳкам қотишмалардан олинган деталларнинг эксплуатацион хоссаларини ошириш технологияси электроддаги алюминий қўшимчаларнинг таркибига қараб эритмадаги газлар миқдорини аниқлаш, кристаллизаторнинг турли диаметрлари учун алюминий миқдорининг ортиши билан эритма таркибидаги кислороднинг ўзгариши қонуниятлари аниқлаш асосида ишлаб чиқилди. Бу эритмадаги керакли кислород миқдорини таъминлаш учун электроддаги алюминий таркибини ва қолипнинг диаметрини назорат қилиш имконини беради.

15. Бошқариладиган механизмлар ва машиналарни ишлаб чиқишда алюминий қотишмалари таркибидаги водород ва оксид қўшимчаларнинг ўзгаришини баҳолайдиган, суюқлантирилган ваннага шихтани юклаш даврида температуранинг ортиши билан қотишма таркибидаги алюминий оксидининг ўзгаришини характерлайдиган, шихтани ушлаб туриш вақти билан водород таркибини ўзгаришини баҳолаш имконини берувчи мақсад функциялари ҳосил қилинди. Бу тажриба тадқиқотларининг математик моделлари алюминий қотишмалари таркибидаги газ қўшимчаларини камайтириш технологияси тажриба жараёнларини енгиллаштириш имконини беради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

АХМЕДОВ АЗАМАТ ХАИТОВИЧ

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО
ПРИМЕНЕНИЮ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПЛАВОВ (БЕЛЫЙ ЧУГУН И
АЛЮМИНИЙ-ЛИТИЙ) ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ
УПРАВЛЯЕМЫХ МЕХАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ
ПРЕЦИЗИОННОЙ ВИБРОМЕХАНИКИ**

**05.02.02 - Теория механизмов и машин, машиноведение и детали машин
05.02.01 – Материаловедение в машиностроении. Литейное производство.
Термическая обработка и обработка металлов давлением. Металлургия чёрных,
цветных и редких металлов. Технология редких, благородных и радиоактивных
элементов (технологии литья и металлообработки)**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК (DSc)**

Ташкент – 2023

Тема докторской диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за B2022.1.DSc/T502.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.

Автореферат диссертации размещен на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) на веб-странице www.tdtu.uz и на информационно-образовательном портале «Ziyonet» по адресу www.ziyonet.uz.

Научный консультанты:

Каримов Камолхон Аббосович
доктор технических наук, профессор

Тураходжаев Нодир Джахонгирович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Алимухамедов Шавкат Пирмухамедович
доктор технических наук, профессор

Нурмуродов Салохиддин Дусмуродович
доктор технических наук, профессор

Мамасаидов Мухамеджан Ташалиевич
академик Национальной Академии Наук,
заслуженный деятель науки Кыргызской
Республики, доктор технических наук,
профессор

Ведущая организация:

Наманганский инженерно-строительный институт

Защита диссертации состоится 12 июня 2023 года в 10⁰⁰ часов на заседании научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.04 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./факс: (99871)227-10-32; e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер 329). (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871)227-10-32.)

Автореферат диссертации разослан 30 мая 2023 года.
(реестр протокола рассылки №165 от 29 мая 2023 года).

А.А. Мухитдинов

Председатель Научного совета по присуждению
ученых степеней, д.т.н., профессор

Ш.Б. Ташбулатов

Ученый секретарь Научного совета по присуждению ученых
степеней, доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент

А.А. Ризаев

Председатель Научного семинара при Научном совете
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской (DSc) диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в различных областях общего машиностроения и материаловедения в машиностроении в целом и, в частности, технологии литья в мировом масштабе идет интенсивное развитие и усовершенствование фундаментальных и прикладных исследований. Эти исследования создают прочную основу для разработки импортозамещающих и конкурентоспособных усовершенствованных устройств, а также нового поколения машин и механизмов с высокой надежностью и точностью. Научной основой этих исследований является классическая теория механизмов и машин. Важным направлением в развитии инженерно-прикладных вопросов является широкое использование новых материалов, таких как композиты, наноматериалы и металлокерамика. Эти материалы имеют уникальные свойства, такие как высокая прочность, жесткость, легкость и износо-теплостойкость, что позволяет создавать более эффективные и экономичные машины и механизмы. В научно-исследовательских центрах промышленно развитых странах, таких как США, Германия, Англия, Япония, Китай, Южная Корея, Россия и другие, разрабатываются новые технологии и оборудования, связанные с инженерной практикой. Для достижения этих цели разрабатываются и усовершенствуются теоретические основы механизмов с управляемым трением и применением высокочастотных микровибраций. Для инженерной практики, с использованием результатов фундаментальных исследований, представляется возможным разрабатывать конструкции механизмов нового поколения с высокими эксплуатационными характеристиками и новые инновационные технологии.

В мире особое внимание уделяется активизации исследований по теории механизмов и машин и материаловедению, которые являются фундаментальными базами развития современного машиностроения, машиностроительного материаловедения и технологии литья. Следует подчеркнуть, что Международная Федерация по теории машин и механизмов (IFToMM) начиная с XIII Всемирного конгресса (Мексика, г. Гуанохуато, 2009 г.) и последующих заседаний Исполнительного совета (2009-2023), среди актуальных научных направлений по ТММ, обращает особое внимание на активизацию научных исследований механизмов с управляемыми параметрами и связями. При изучении и проведении фундаментальных исследований необходимым является разработка В этой связи для разработки усовершенствованных конструкций управляемых механизмов на основе принципов прецизионной вибромеханики необходимым является разработка и аналитическая реализация математических моделей того или иного технологического процесса. Решение этих вопросов позволит реализации стратегии инновационного развития страны.

В стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы¹, отмечается, что «...широкое внедрение инноваций в экономику, развитие кооперационных связей промышленных предприятий и научных учреждений, ...организация опытно-промышленной апробации созданных технологий в отраслях экономики. Определены задачи по широкому внедрению программ повышения производительности труда в отраслях промышленности». Указы Президента Республики Узбекистан УП-4422 от 22 августа 2019 года «Об оперативных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», УП-4565 от 10 января 2020 года, «О мерах по развитию социальной и производственной инфраструктуры Республики Узбекистан в 2020 – 2022 годах», Постановление №УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», ПК-307 от 6 июля 2022 года «Организационные меры по реализации стратегии инновационного развития Республики Узбекистан в 2022-2026 гг. и других нормативно правовых документов.

С целью реализации этих задач и решения инженерно-прикладных проблем необходимым является использование научных разработок по литейной технологии, в частности высококачественного белого чугуна и алюминий-литиевых сплавов при разработке усовершенствованных конструкций управляемых механизмов при рациональном использовании существующей сырьевой базы. Полученные научные и прикладные результаты могут быть использованы при разработке управляемых механизмов применительно к точному машиностроению, в базы на основе совершенствования технологических процессов, При этом считается важным разработка теоретических и прикладных исследований применительно к технологическим процессам горнодобывающей, металлургической и в других отраслях экономики.

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан. Настоящая исследовательская работа выполнена в рамках приоритетного направления развития науки и технологий республики II. «Энергетика, энергия и энергосбережение».

Обзор международных научных исследований по теме диссертации².

Вопросами разработки конструкций управляемых фрикционных и вибрационных механизмов с расширенными функциональными возможностями, применение при разработке этих конструкций специальных сплавов, белого чугуна и алюминий-литиевых сплавов посвящены

¹ Указ президента Республики Узбекистан №60 “О стратегии развития нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы” от 28 января 2022 года.

² Обзор зарубежных исследований по теме диссертации разработаны на основе <https://link.springer.com>; <https://www.combridge.org>; <https://www.tandfonline.com>; <http://eng.cczu.edu.cn>; <https://www.dissercat.com/catalog/mekhanika>; <https://www.journals.elsevier.com>; <https://www.usm.edu>; <https://www.sciencedirect.org> и других источников.

многочисленные работы ученых, проведенных в ведущих мировых научных центрах и высших учебных заведениях. В том числе Калифорнийский университет (США), Шеффилдский университет (Англия), Университет прикладных наук в Митвайде (Германия), Китайский университет Цзинаня (ученые Минь Цзо, Максимилиан Соколук, Чжэн Цао), Китайский университет нефти (Пекин), ученые Харбинского инженерного университета профессор Руиджи Ву, Жан Дюкрок, Зуньян Чжан, канадские ученые Т.А.Утигард, Р.Рой и К.Фризен, английские и итальянские ученые Аннализа Пола, Мариалаура Точи, Плато Капранос, ученый Пакистанского университета (Пакистан) Р.Набибулла, ученые Каунасского технологического университета, Вильнюсского технического университета имени Гедиминаса (Литва) академики К.Рагульскис, Ю.Бансявичюс, Ю.Осташявичюс, ученые Рижского технического университета (школа академика Р.Виба) ученые Института машиноведения РАН во главе с покойным директором академиком К.В.Фроловым, Московский технический университет имени Н.Е.Баумана, Санкт-Петербургский политехнический университет (Россия), Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз, Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Навоийский государственного горно-технологический университет, Ташкентский государственный транспортный университет, Наманганский инженерно-строительный институт (Республика Узбекистан).

Проведены исследования по использованию легких и прочных композиционных материалов, например Калифорнийский университет (США), Университет прикладных наук в Митвайде (Германия) и Китайский университет нефти (Пекин). Получены результаты по разработке методов управления звеньями фрикционных механизмов с помощью высокочастотной вибрации, методы устранения дефектов, возникающих естественным путем в процессе эксплуатации, China University of Jinan, (ученые Zuo, Maximilian Sokoluk, Chezheng Cao), the University of Sheffield (Англия). В результате исследований с использованием внешних физических полей, электрореологического и магнитореологических эффектов были предложены новые конструкции прецизионных механизмов (Каунасский технологический университет, Литва). Исследованы вопросы реализации и стабилизации гироскопических систем трехмерных устройств в автоматизированных системах (Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана и Санкт-Петербургский технический университет имени Петра Великого, Россия).

Механические свойства алюминиевых сплавов, полученных из газоплавильных агрегатов, улучшены в результате исследований по модернизации технико-технологических процессов методом литья в машиностроительном материаловедении, улучшены эксплуатационные свойств новых сплавов и материалов. В частности, ученые Национального технического университета Республики Беларусь С.П.Задруцкий,

Г.А.Румянцев, С.Л.Ровин, Б.М.Немененок, И.А.Горбель. Ученые Самарского национального исследовательского университета имени С.В.Королева Н.И.Воронин и П.С.Лобода, а также профессор Пензенского государственного технического университета В.А.Грачев.

Исследователи Kennecott Copper Corporation (США) В.Дональдсон, С.Н.Шарма и Н.Дж.Темелис разработали двухстадийный циклический способ извлечения меди из шлака пирометаллургическим способом. Исследователи компании Bayer AG (Германия) Р.Баатц, Г.Байльштейн, Д.Греннер, В.Келлер и Д.Штайнбах разработали технологию очистки сточных вод с использованием медного катализатора, образующегося в результате реакции изомера дихлорбутана. Швейцарские ученые Р.Тиль, К.Зинстаг и Г.Фашингер разработали метод безэнергетического извлечения меди и других цветных металлов медленным охлаждением путем карбонизации органических компонентов (исследователи компании Lonza Ltd.).

В процессе мировой глобализации несомненным является интеграция фундаментальных и прикладных исследований. В частности интеграция исследований по теории механизмов и машин, машиностроительному материаловедению и литейной технологии могут быть основой для разработки конструкций управляемых механических систем с широким применением специальных сплавов (белый чугун, алюминий-литий). Этот аспект проблемы в настоящее время является одной из актуальных проблем.

Аналитический анализ зарубежной и отечественной литературы и многочисленных научных работ показывает, что в машиностроительном материаловедении и литейной технологии математическое моделирование технологических процессов составляет всего 12-15%. В этой связи разработка и аналитическая реализация математических моделей является актуальной задачей как с теоретической, так и с практической точек зрения. Полученные аналитические решения и методы численного расчета позволяют определить искомые параметры без проведения дорогостоящих экспериментальных исследований.

Степень изученности проблемы.

Зарубежными и отечественными учеными проведены ряд эффективных исследований по классической теории машин и механизмов, машиностроительному материаловедению и литейной технологии получены признанные научные результаты материаловедения и литейного дела в областях машиностроения, касающихся разработки конструкции, на основе на принципах прецизионной вибромеханики.

В ведущих мировых научных центрах и высших учебных заведениях проводятся обширные научные исследования по основным проблемным и актуальным направлениям классической теории механизмов и машин. Научные исследования по кинематике и динамики машинных агрегатов, фрикционным и вибрационным механизмам, трению и износу и др. Учеными Германии и США М.Бергштрассером, П.Мюллером, М.Редвудом, З.Леваи, разработаны методы динамического и кинематического моделирования

вибромеханизмов. Исследователями Японии, Китая и Индии Ю.Йокояма, С.Окабе, О.Кияоши, В.Чжан, Х.Ши, Р.Хурми, Дж.Гупта разработаны методы расчета механизмов с регулируемыми параметрами, теоретические и экспериментальные исследования по влиянию вибраций, математические модели, учитывающие характеристики упругости рабочих органов.

Ряд исследований проведены учеными США Ф.Л.Литвиным, М.Соколюком, Минь Цзо, Чежэн Цао, Цзе Юанем по вопросам повышения прочности и твердости алюминиевых сплавов, применяемых в конструкциях различных механизмов. В частности, в плане улучшения свойств алюминиевых сплавов с использованием в качестве добавки наночастиц TiC (20 мкм) достигнута высокая прочность алюминиевых сплавов и повышение механических свойств за счет низкого коэффициента теплового расширения. В результате твердость увеличилась со 110HV до 180HV.

Ученые России С.В.Воронин и П.С.Лобода предложили способы изготовления алюминиевых сплавов с высокими механическими свойствами с пористой структурой. Другой ученый В.Чернов (Россия) развил связь между структурой и прочностью стального материала и установил закономерности изменения внутренней структуры чугуна в процессах теплообмена и термической обработки. Английские ученые Г.Бессемер, С.Томас и исследователь П.Мартен (Франция) разработали новые способы и устройства для получения стали и чугуна, широко применяемые в машиностроении. Литовские ученые К.Рагульскис и Р.Бансявичюс проводили исследования по созданию новых управляемых механических систем применительно точному машиностроению, в частности вибродвигателей. По итогам исследований установлено изменение фрикционных характеристик механизмов под действием высокочастотных упругих волн. Также были предложены новые устройства прецизионных механизмов с управляемыми характеристиками трения, позволяющие получать различные позиционные перемещения в плоскости и пространстве.

Трудами ученых из стран СНГ И.И.Артоболевским, К.В.Фроловым, А.П.Бессоновым, И.И.Блехманом, И.И.Вульфсоном, В.Л.Вейцом, Н.И.Колчиным, О.Д.Алимовым, М.Т.Мамасаидовым, У.А.Джолдасбековым, С.Н.Кожевниковым, М.В.Хвингия, А.Ф.Крайневым, М.З.Коловским, И.В.Крагельским, В.В.Андроновым, И.Ф.Мальцевым, Р.Ф.Нагаевым, Я.Г.Пановко и Б.А.Прониным обогащены практически все направления классической теории механизмов и машин.

Первые теоретические исследования механизмов и механических систем с переменными и управляемыми параметрами были начаты в начале 70-ых годов прошлого столетия. Эти первые и дальнейшие исследования связаны с именами К.В.Фролова, К.М.Рагульскиса, Р.Ю.Бансявичюса, И.И.Блехмана, И.И.Вульфсона, В.Л.Вейца, Р.Ф.Нагаева, Х.Х.Усманходжаева, Р.И.Каримова, Ш.П.Алимухамедова, А.А.Ризаева, К.А.Каримова, А.Х.Умурзакова и др. В этих исследованиях с целью управления параметрами были использованы возможности изменения характеристик трения, применения высокочастотных упругих колебаний, внешних физических полей и

некруглых колес. В промышленное производство внедрены технологии использования сплавов, разработанных узбекскими учеными К.С.Санакуловым, А.А.Юсуходжаевым, А.С.Хасановым, Н.Дж.Тураходжаевым и др.

Наряду с полученными научными результатами следует подчеркнуть, что к настоящему моменту в исследованиях зарубежных и отечественных авторов не были проведены широкомасштабные исследования по созданию теоретических основ механизмов с управляемыми геометрическими, кинематическими, динамическими параметрами и связями исполнительных звеньев с высшими и низшими кинематическими парами при учете технологических процессов. Кроме того, в мировой практике научных работ по управляемым механическим системам и механизмам, в подавляющем большинстве случаев, результаты теоретических исследований не завершаются предложениями по разработке конкретных конструкций механизмов применительно к технологическим машинам. Кроме того, при интеграции теории механизмов и машин, машиностроительного материаловедения и литейной технологии крайне недостаточно уделяется внимание вопросам математического моделирования технологического процесса и аналитической реализации математических моделей.

На основе фундаментальных исследований и научных результатов при разработке конструкций управляемых механизмов нового поколения при учете технологических требований необходимым является использование высокопрочных специальных сплавов (белый чугун, алюминий-литий) с целью получения высокопрочных литых деталей.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами, где выполнена диссертация.

Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета в рамках проектов по темам №Ф-2-29. «Создание теоретических основ механизмов с управляемыми параметрами и связями с целью разработки нового поколения их конструкций» (2012-2016 гг.), Узбекско-китайский совместный прикладной проект №А-ОТ-2021-34 «Разработка технологии получения качественных легких алюминиево-литиевых сплавов» (2021-2022 гг.), Узбекско-белорусский совместный прикладной проект №MRB-2021-521 «Создание новых прочных наноструктурированных материалов на основе алюминия и тантала» (2022-2023 гг.).

Целью исследования является проведение теоретических и прикладных исследований по использованию специальных сплавов при разработке новых конструкций управляемых фрикционных и вибрационных механизмов на основе принципов прецизионной вибромеханики.

Задачи исследования:

теоретические исследования управляемых фрикционных и вибрационных механизмов, анализ существующих конструкций и обоснование возможностей использования методов прецизионной

вибромеханики при разработке новых конструкций. Совершенствование общей классификации по управлению параметрами и связями фрикционных и вибрационных механизмов;

разработка и аналитическая реализация математических моделей различных конструкций механизмов с управляемым трением под действием высокочастотных упругих колебаний и внешних физических полей (магнитореологический и электрореологический эффекты), а также прецизионного механизма позиционирующего устройства в плоскости и пространстве, дефлектора для позиционирования мощных лазерных излучений и внешней антенны летающих аппаратов;

разработка и аналитическая реализация математических моделей технологии производства белого чугуна, алюминия, меди и специальных сплавов методом литья для создания устройств управляемых механизмов;

сопоставительный анализ полученных аналитических решений математических моделей и экспериментальных исследований по получению специальных сплавов посредством методов литейной технологии.

Объектом исследования являются фрикционные и вибрационные механизмы с высшими и низшими кинематическими парами с управляемыми параметрами и связями ведомых звеньев.

Предмет исследования совершенствование теоретических основ управляемых механизмов на основе принципов прецизионной вибромеханики и использование специальных сплавов при разработке нового поколения конструкций фрикционных и вибрационных механизмов.

Методы исследования. В процессе исследования использовались методы прецизионной вибромеханики, классические методы теории механизмов и машин, теории обыкновенных линейных и нелинейных дифференциальных уравнений, дифференциальных уравнений в частных производных, теория колебаний, математического моделирования, а также численные методы ЭВМ.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

в общей теории механизмов и машин разработана усовершенствованная классификация управления параметрами и связями фрикционных и вибрационных механизмов во взаимосвязи и с учетом величины действующих сил во время их действия;

математические модели и аналитические решения уравнений движения фрикционных и вибрационных механизмов с использованием принципов прецизионной вибромеханики разработаны на основе ожидаемых выходных параметров;

изготовленные из литых деталей механизмы и механические системы под действием внешних физических полей теоретически обоснованы тепло-массообменными показателями;

теоретически обоснованы управляемые движения механизмов на основе электрореологического и магнитореологического эффектов (неньютоновские жидкости);

определение движения, расчет реверсивного механизма и

вибромельницы разработаны на основе математической модели;

математическая модель технология увеличения прочности деталей машин, получаемых литейным методом разработана при учете зависимости между прочностью и износостойкостью;

математические модели получения деталей машиностроения литейным методом разработаны при учете действия на механические свойства элементов, входящих в состав литья;

при разработке новых управляемых механизмов математические модели составлены при учете зависимости механических свойств деталей, получаемых литейным методом;

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны и предложены конструкции фрикционных и вибрационных механизмов с управляемыми параметрами и связями, конструкции управляемого оптического сканера, позиционирующего устройства, дефлектора, синхронно вращающихся колес, шаговые и самотормозящиеся фрикционные механизмы;

разработана конструкция управляемой горизонтальной вибромельницы для измельчения руды и различных природных сплавов для подготовки к обогащению;

разработаны методы математической оценки технологических процессов и экспериментальных исследований для производства специальных сплавов (белый чугун и алюминий-литий) методами литейной технологии.

Достоверность результатов исследования базируются на корректной постановке задач, математической обоснованностью, на широком использовании принципов прецизионной вибромеханики, современных методов теории колебаний и численных программ ЭВМ, на разработке качественных методов исследования нелинейных дифференциальных уравнений, положительными результатами испытаний горизонтального вибрационного устройства, на результатах экспериментальных исследований по формованию специальных сплавов и сопоставительным анализом теоретических исследований с экспериментальными исследованиями соавторов по литейной технологии.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований объясняется дальнейшим развитием теоретических основ управляемых механизмов с высшими и низшими кинематическими парами с использованием принципов прецизионной вибромеханики, обоснованием необходимости разработки и аналитической реализации математических моделей технологических процессов и необходимостью использования специальных сплавов (белый чугун и алюминий-литий) методами литейной технологии.

Практическая значимость результатов исследований заключается в разработке новых конструкций фрикционных и вибрационных механизмов с управляемыми параметрами и связями, в обосновании использования белого чугуна и алюминиевых отливок при разработке этих конструкций, а также

нового устройства горизонтальной вибродробилки для измельчения горных руд и различных природных сплавов для подготовки их к обогащению.

Внедрение результатов исследования. На основании полученных научных результатов по применению сплавов белого чугуна и алюминия при разработке механизмов с управляемыми параметрами и связями на основе принципов прецизионной вибромеханики, исключение износов при трении и других недостатков, по экономии базы минерального сырья и получения экономического эффекта при усовершенствовании технологического процесса предложены:

усовершенствованная технология управления параметрами и связями рабочих механизмов горизонтальной и вертикальной вибрационных мельниц и шаровой дробилки внедрена на «Навоийском машиностроительном заводе» (справка АО «НГМК» №23.01-01-07/880 от 28 декабря 2022 года). В результате производительность дробильных машин, используемых в горнодобывающей промышленности, увеличилась на 12-14%.

на основании разработанного “метода временных интервалов” при интегрировании математической модели сложных фазовых движений рабочих органов дробилок, внедренный на «Навоийском машиностроительном заводе», метод оценки работы новых конструкций возрос на 25-30% (справка АО «НГМК» №23.01-01-07/880 от 28 декабря 2022 года).

технология воздействия высокочастотных вибраций на фрикционные характеристики кинематических пар вибрационных механизмов внедрена на «Навоийском машиностроительном заводе» (справка АО «НГМК» №23.01-01-07/880 от 28 декабря 2022 года). В результате энергозатраты при работе вибрационных механизмов, применяемых в горно-геологической промышленности, снизились на 10-15%.

на основе разработанной математической модели технологии снижения трения деталей из белого чугуна рабочие органы машин с управляемыми параметрами внедрена на «Навоийском машиностроительном заводе» (справка АО «НГМК» №23.01-01-07/880 от 28 декабря 2022 года). В результате сопротивление трения рабочих органов управляемой машины увеличилось на 12-14%.

математические модели, оценивающие изменение зеркальных включений в белом чугуне при литье деталей машин, характеризующие изменение включений в сплаве с повышением температуры при загрузке шлака в ванну ожижения внедрены в «Навоийском машиностроительном Заводе» (справка АО «НГМК» №23.01-01-07/880 от 28 декабря 2022 года). В результате энергозатраты на технологические процессы при разработке управляемых механизмов уменьшились на 14-16%.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования диссертации прошли апробацию на 24 научно - практических конференциях, в том числе 21 международных и 3 республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По материалам диссертации в целом опубликованы более 80 научных трудов. В диссертацию

включены 48 научных трудов: 3 монографии, внедренные в учебный процесс 2 учебные пособия (одно из них опубликовано на таджикском языке в Республике Таджикистан), 17 научных статей, в том числе 8 в республиканских и 9 в зарубежных журналах, из них 8 научных трудов опубликованы в журналах, индексируемых в базе данных Scopus) рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук (DSc). Получены 4 свидетельства на программный продукт Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации. Содержание диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 200 страниц.

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 их теоретическая и практическая значимость, приведена перечень внедрений результатов исследования в практику, сведения об опубликованных работах и структура диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Разработка общих классификаций управления параметрами и связями фрикционных и вибрационных механизмов. Обоснование теоретических и прикладных исследований»** приведен аналитический обзор мировой литературы по фрикционным и вибрационным механизмам, анализа научных и теоретических проблем, технических разработок, обобщены существующие аналитические исследования.

Обосновано применение принципов прецизионной вибромеханики с целью дальнейшего развития аналитических методов исследования механизмов с управляемыми параметрами и связями, а также для разработки новых конструкций управляемых механизмов.

Предложены усовершенствованные новые методы классификации управления параметрами и связями во фрикционных и вибрационных механизмах. Путем изменения силы трения, порождая высокочастотные упругие колебания на поверхности трущихся звеньев, с помощью силовых полей и внешних физических полей были логически продолжены и усовершенствованы методы управления механизмами. Обоснованы постановка и решения задач управления фрикционными характеристиками в кинематических парах на основе управляемого изменения силы трения и под действием высокочастотных упругих колебаний (в частности, «бегущие волны» и «стоячие волны»).

Во второй главе диссертации под названием **«Разработка математических моделей и аналитических решений управляемых фрикционных и вибрационных механизмов на основе принципов прецизионной вибромеханики»**, проведены результаты исследований на основе перспективного и эффективного направления прецизионной вибромеханики с целью разработки концепции развития по использованию управляемых механизмов в технологических процессах горно-добывающей промышленности, металлургии, в общем и точном машиностроении, в пищевой промышленности, робототехнике, в оборонной промышленности, сельскохозяйственной промышленности, здравоохранения и др.

Рассмотрены задачи по разработке и аналитической реализации математических моделей управляемых фрикционных и вибрационных механизмов на основе применения принципов прецизионной вибромеханики. В частности разработаны и аналитически решены задачи об управляемом движении твердого тела по плоскости, управляемое вращение фрикционно сопряженных ведущего и ведомого колеса под действием внешней периодической силы, переменного вращения реверсивного механизма, управляемое движение рабочего органа горизонтальной вибромельницы. Для решения нелинейных дифференциальных уравнений разработаны новые методы и получены патенты на программные продукты для качественного исследования этих движений с помощью ЭВМ.

Впервые в общей теории механизмов и машин обоснован и разработан, так называемый, «метод временных интервалов» для интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений в состав которых входит нелинейный член в виде сигнатуры.

Практическое применение научных результатов разработанной математической модели и ее аналитического решения по определению управляемого движения рабочего органа горизонтальной вибромельницы для подготовки к обогащению полезных ископаемых, сплавов и руд с целью их использования в горно-геологической промышленности. В итоге предложена, разработана и внедрена в промышленное производство горизонтальная вибромельница с получением определенного экономического эффекта.

На основе математических моделей движения рабочих органов управляемых фрикционных и вибрационных механизмов и их аналитических решений внедрена рациональная горизонтальная вибродробильная установка, измельчающая полезную руду и сплавы. В результате производительность дробленых в вибродробилке горных руд и различных природных сплавов увеличилась на 16-17%. При измельчении руд и различных природных сплавов общая эффективность операции увеличилась на 10-15%, качество процесса измельчения повысилось на 15-18%, а производительность измельчения увеличилась на 20-25% на основе метода ускоренного измельчения и проведенных ресурсо-экспериментальных испытаний горизонтальных вибромельниц.

С помощью электрореологического и магнитореологического воздействия, являющихся внешними физическими полями, доказана

возможность снижения износа поверхностной во фрикционно сопряженных поверхностях конструкции управляемого механизма и возможность получения реверсивного движения рабочего органа при нереверсивном движении приводного вала.

На рис. 1 приведена принципиальная схема фрикционного механизма, преобразующего вращательное движение в поступательное подвижного элемента. На этом разработанном фрикционном механизме устранены недостатки предыдущих механизмов-аналогов и повышена надежность механизма.

Аналитическими исследованиями получено дифференциальное уравнение колебательного движения подвижного элемента и рассмотрено его интегрирование для 3-х основных случаев. Принимая силы трения вала между точками контакта с подвижным элементом по существующему закону Кулона, $F_{mpx} = -fN \text{sign} \dot{x} = -fG \text{sign} \dot{x}$, и учитывая действие пружин с постоянной равномерностью c на подвижный элемент, дифференциальное уравнение движения будет иметь следующий вид:

$$m\ddot{x} + cx - m_1\omega^2 R \cos \omega t = -fG \text{sign} \dot{x}. \quad (1)$$

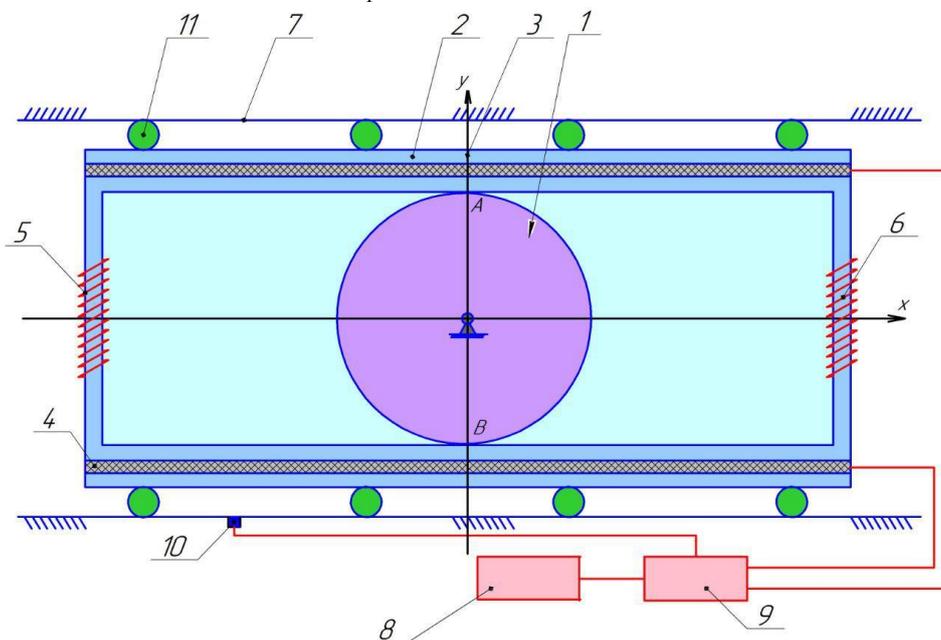


Рис. 1. Принципиальная схема фрикционного механизма, преобразующего вращательное движение в поступательное

Величина силы трения в моменты $\dot{x} = 0$, не должна превышать значения силы трения в состоянии покоя $f_1 N$ ($f < f_1$). f_1 - коэффициент трения в состоянии покоя. Это означает, что при обратном движении ведомого элемента необходимо отслеживать и определять моменты изменения сигнала скорости. В некотором конечном интервале времени $[t_n, t_{n+1}]$ будет $\dot{x} < 0$ и уравнение (1) примет вид

$$m\ddot{x} + cx - m_1\omega^2 R \cos \omega t - fG = 0. \quad (2)$$

В этом конечном интервале времени $[t_n, t_{n+1}]$ общее решение имеет вид

$$x(t) = c_1 \cos kt + c_2 \sin kt + \frac{m_1 \omega^2 R}{m(k^2 - \omega^2)} \cos \omega t - \frac{fg}{k^2}. \quad (3)$$

Продолжая эти рассуждения, можно проинтегрировать уравнение (2) для каждого конечного интервала времени $[t_m, t_{m+1}]$ ($m = 1, 2, \dots, n-1$), в течение которого попеременно меняется знак скорости \dot{x} . Константы интегрирования в общем решении (3) необходимо записывать отдельно для каждого момента времени $t = t_m$, ($m = 1, 2, \dots, n-1$), когда скорость ведомого элемента меняет знак и достигает значения $\dot{x} = 0$.

Известно, что нелинейные дифференциальные уравнения не имеют периодических решений в квадратурах. Анализ существующей литературы по дифференциальным уравнениям показывает, что если уравнение содержит сигнатуру, то их решения асимптотическими или численными методами ни в одной научной статье не приводятся. Исходя из этого вывода, следует подчеркнуть следующую важную рекомендацию. То есть, если в состав исследуемых механизмов и машин входят реверсивно движущиеся рабочие органы, то общие решения их дифференциальных уравнений движения могут быть получены вышеуказанным способом. Уместно было бы назвать этот метод «методом временных интервалов».

Другим прецизионным управляемым механизмом является оптическое сканирующее устройство, показанное на рис. 2. При возбуждении высокочастотных упругих колебаний в сферическом вибропреобразователе он вращается вокруг трех осей, под действием силы динамического дебаланса. Длительность $\tau_k \ll 2\pi / \omega$ и фаза возбуждения колебаний определяют положение и угловую скорость мгновенной оси вращения зеркала в пространстве относительно положения вектора момента, то есть вектор угловой скорости $\omega = const$ зеркала управляется автоматическим блоком управления. Таким образом, можно получить желаемое положение зеркала в пространстве за счет изменения силы трения между пьезокерамическим преобразователем и сферической ручкой.

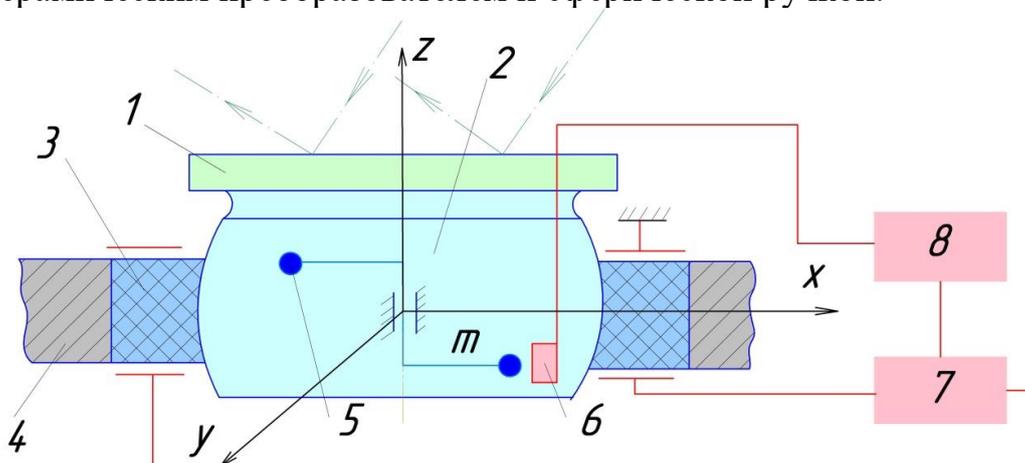


Рис. 2. Схема оптического сканирующего устройства

Основные технические характеристики устройства следующие: количество возбуждений - три, максимальная масса зеркала - 10 кг, угловая

скорость по каждой координате 2 рад/с , коэффициент шероховатости - 0,005, допустимый предел, максимальное радиальное ускорение $1,2 \cdot 10^3$ рад/с², диаметр зеркала не менее 115 мм.

Основные принципы и теория создания управляемых механизмов с расширенными функциональными возможностями были показаны на примере дефлектора и сканирующего устройства. Для новых устройств этих управляемых механизмов на основе математического моделирования можно оценить технико-экономические показатели на 25-30%.

В третьей главе под названием **«Теоретические основы разработки механизмов и механических систем из литых изделий с использованием внешних физических полей»** обосновано использование внешних физических полей при разработке конструкций механизмов нового поколения, параметры и связи которых управляются на основе принципов прецизионной вибромеханики, являющейся одним из новых и перспективных направлений в теории механизмов и машин, а также возможности создания деталей механизмов из литых изделий. В частности, инновационные технологии обработки толщины слоя твердости литых белых чугунов под действием ультразвуковых колебаний, исследования влияния температуры загрузки шлака в ванну и количества алюминия на количество осевших газовых добавок в составе белых чугунов, использование реологических эффектов при разработке управляемых вибромеханизмов. Разработаны математические модели и приведены аналитические решения волнообразного поведения реологической жидкости для конструирования управляемых механизмов применительно к прецизионному машиностроению. Исследована и теоретически обоснована возможность создания управляемых движений механизмов на основе электрореологических и магнитореологических жидкостей.

Для повышения износостойкости белого чугуна сплав, содержащий от 12 до 16% хрома, в процессе кристаллизации подвергали к высокочастотным вибрациям. При этом амплитуда колебаний выбиралась в диапазоне от 5 мкм до 45 мкм. В качестве объектов были взяты доэвтектический белый чугун, содержащий 3% углерода (С) и заэвтектический белый чугун, содержащий 4,8 % углерода.

На рис. 3 показано изменение толщины твердого слоя, образованного амплитудой колебаний белого чугуна, содержащего 12% хрома, от 5 мкм до 45 мкм. Для доэвтектического белого чугуна, содержащего 12% хрома, амплитуда колебаний составляла 25-30 мкм, а для заэвтектического белого чугуна - 30-35 мкм.

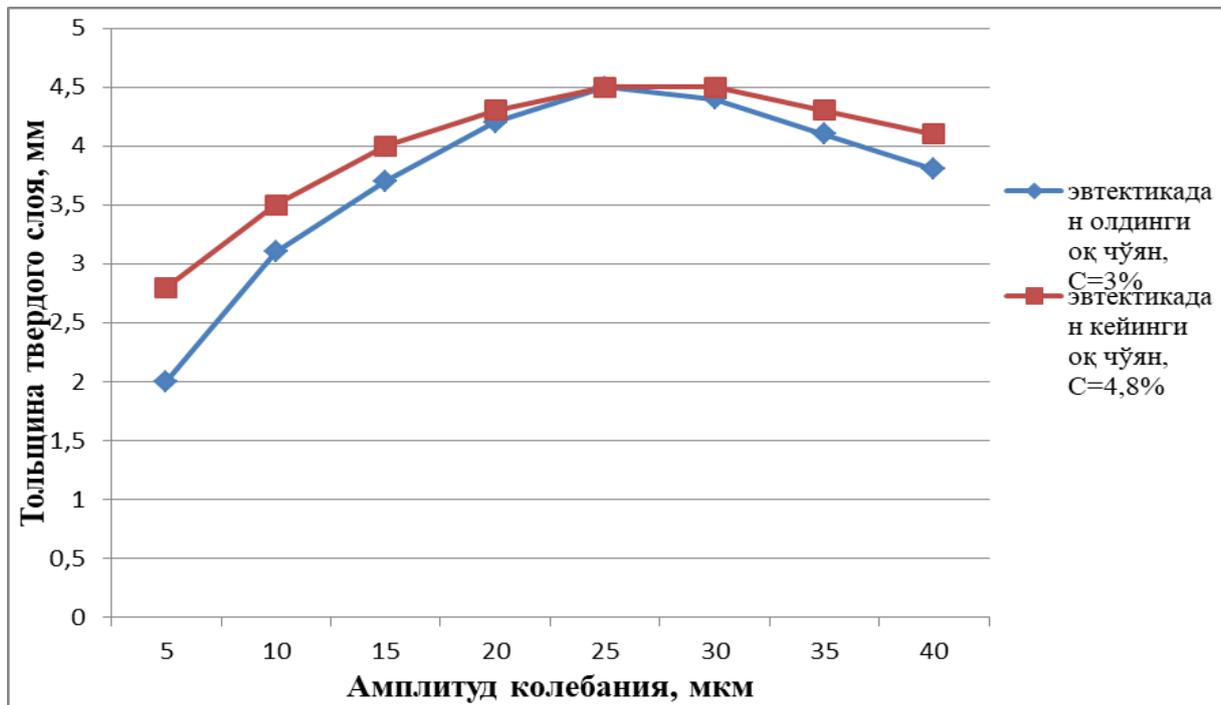


Рис. 3. Воздействие ультразвуковых колебаний на белый чугун, содержащий 12% хрома (Cr).

На следующем этапе исследований для повышения пластичности белого чугуна сплав, содержащий от 12 до 16% хрома, подвергался в процессе кристаллизации к высокочастотным вибрациям. При этом частота колебаний выбиралась между 9 кГц и 18 кГц. В данном исследовании в качестве объектов также были взяты доэвтектический белый чугун с содержанием серы 3 % и заэвтектический белый чугун с содержанием серы 4,8%.

На рис. 4 показано изменение толщины твердого слоя, образующегося при частоте колебаний от 9 кГц до 18 кГц белого чугуна с 12% хрома.

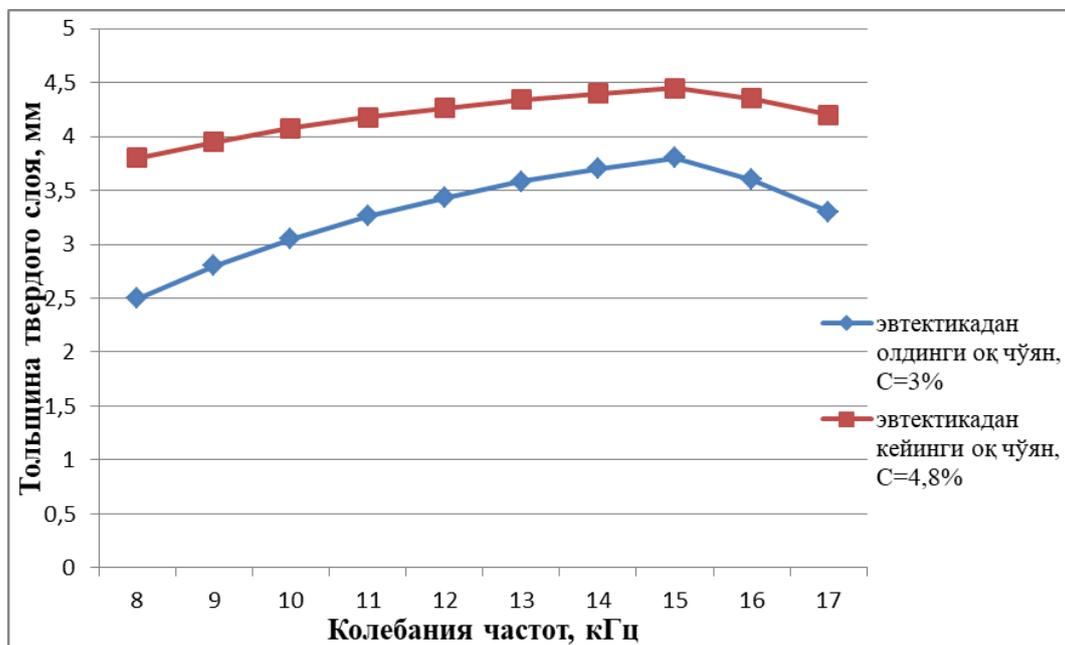


Рис. 4. График влияния частоты ультразвуковых колебаний на белый чугун с 12% хрома (Cr)

Когда частота колебаний превышает 16 кГц, толщина твердого слоя уменьшается. Для доэвтектического белого чугуна, содержащего 12 % хрома, частота колебаний составляла 15-16 кГц, а для заэвтектического белого чугуна - 14-16 мкм.

На рис. 5 представлена структура, образовавшаяся при обработке белого чугуна с содержанием хрома 12 % ультразвуковыми колебаниями с частотой 8-18 кГц.

Проведен ряд исследований по определению степени зависимости химических элементов загружаемого в печь белого чугуна от температуры шлака. В частности, шлак, содержащий от 0,2% до 1,2% алюминия, нагревали до температуры от 20 °С до 120 °С и загружали в ванну с жидкостью. Средний диаметр града составлял 70-90 мм.

Исследование проводилось в шесть этапов. В состав белого чугуна вводили от 0,2 до 1,2 % алюминия, а начальную температуру его нагрева составляли от 20 °С до 120 °С.

На рис. 6 представлена зависимость газовых включений, образовавшихся в белом чугуне по результатам исследований, от температуры загрузки.

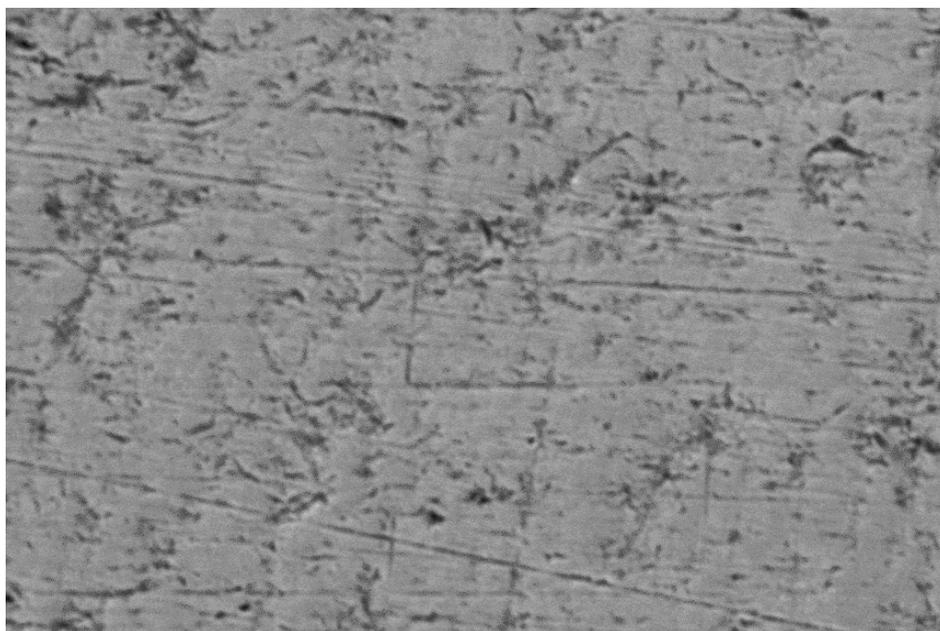


Рис. 5. Структура, образующаяся при обработке белого чугуна с содержанием хрома 12% ультразвуком частотой 8-18 кГц

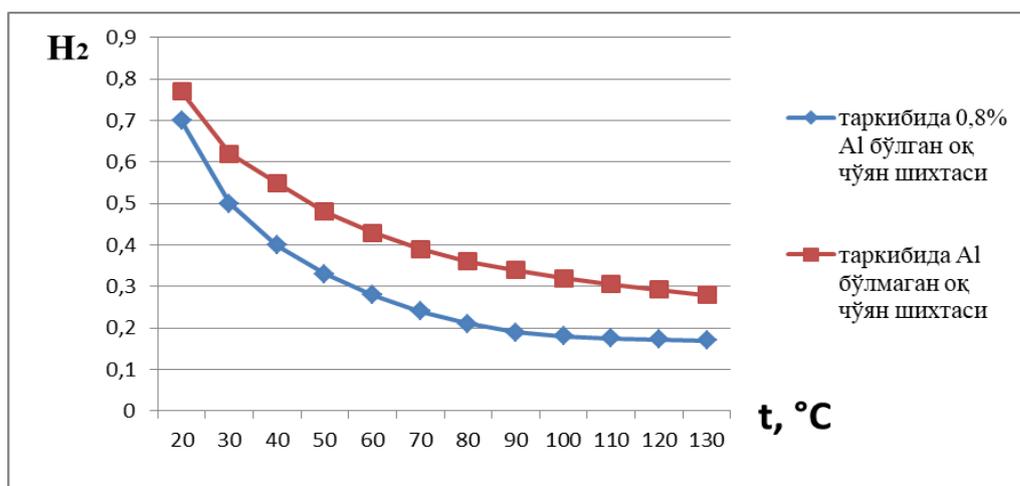


Рис. 6. График зависимости от количества составляющих газа при загрузке в печь белого чугуна, содержащего 0,8 % Al, при различных температурах

Расположение газовых пор в белом чугуне с содержанием Al от 0,2 до 1,2 % анализировали с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM Zeiss EVO MA 10. На рис. 7 показано расположение газовых пор в белом чугуне, содержащем 0,8 % Al.

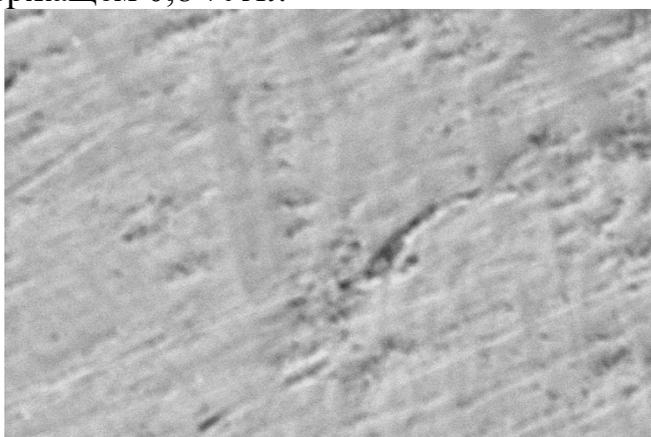


Рис. 7. Анализ газовых пор в белом чугуне, содержащем 0,8 % Al, на сканирующем электронном микроскопе SEM Zeiss EVO MA 10

При температуре шихты от 50 °C до 85 °C газосодержание полученного сплава белого чугуна резко снижается, а количество газов в полученном сплаве белого чугуна находится в пределах от 0,2 до 0,32 см³/ч. 100 г. Влияние повышения температуры выше 90 °C на снижение газосодержания уменьшается, и при температуре нагрева белого чугуна 90 °C количество газов в сплаве составило 0,22 см³/100г. Нецелесообразно нагревать иней выше этой температуры.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что введение алюминиевого элемента в количестве 0,8-1,0 % в состав чугуна перед ожигением белого чугуна приводит к резкому снижению количества газов. в полученном сплаве. Кроме того, большой эффект дает нагрев белого чугуна до температуры 50-90 °C. Нагрев шихты, содержащего алюминиевый элемент, до 50-90 °C позволяет снизить количество газовых добавок в получаемом белом чугуне на 30-35%.

В дальнейшем проведены аналитические исследования фрикционного механизма преобразователя движения. При этом движение подвижного элемента управляется под действием электрореологического эффекта. Следует отметить, что изменяя реологические свойства жидкости путем воздействия на источники напряжения в нижней и верхней зонах между валом и подвижным элементом, можно получить управляемое движение. Это позволяет получить поступательное движение подвижного элемента в прямом и обратном направлениях при вращении вала. Таким образом, за короткое время и без реверсива приводного вращающегося вала получается позиционное реверсивное перемещение подвижного элемента с требуемой точностью.

Дифференциальное уравнение движения подвижного элемента можно написать в следующем виде:

$$m\ddot{x} = \beta(r\omega - \dot{x}), \quad (4)$$

где m - масса вала вместе с электрореологической жидкостью.

После некоторых преобразований получим трансцендентное уравнение для определения абсолютной скорости движущегося элемента:

$$n = \frac{1}{2} \ell n \frac{1 + \vartheta}{1 - \vartheta} - \vartheta. \quad (5)$$

На основании анализа существующих прецизионных механизмов теоретически обоснованный управляемый фрикционный механизм преобразователя движения под действием электрореологического эффекта можно рассматривать как новый класс вибродвигателей. Такое устройство может быть использовано в мини-компьютерах, в позиционировании магнитных головок запоминающих дисковых устройств ЭВМ. Данная конструкция также может быть использовано в быстроходных электромеханических устройствах и в механических устройствах, преобразующих вращательное движение в поступательное.

На рис. 8 показано устройство поступательного движения на основе использования электрореологического эффекта. Рассматриваемый механизм преобразователя движения состоит из вала 1, вращающегося вокруг неподвижной оси 2, подвижного элемента 3, направляющих 5 и корпуса 4, заполненный электрореологической жидкостью.

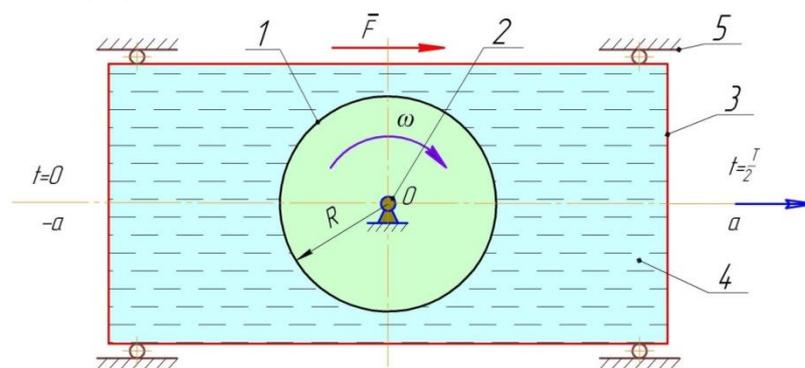


Рис. 8. Расчетная схема управляемого фрикционного механизма преобразователя движения под действием электрореологического эффекта

Выражение для определения безразмерной амплитуды имеет следующий вид:

$$A = 1 + \frac{v}{n} - \frac{1}{n} \ln(1 + v). \quad (6)$$

С помощью пакета программ *Maple 13* построены графики закономерностей изменения основных кинематических параметров исследуемой механической системы (рис. 9). $A = A(v)$ амплитуда колебаний и $\eta = \eta(v)$ период колебаний.

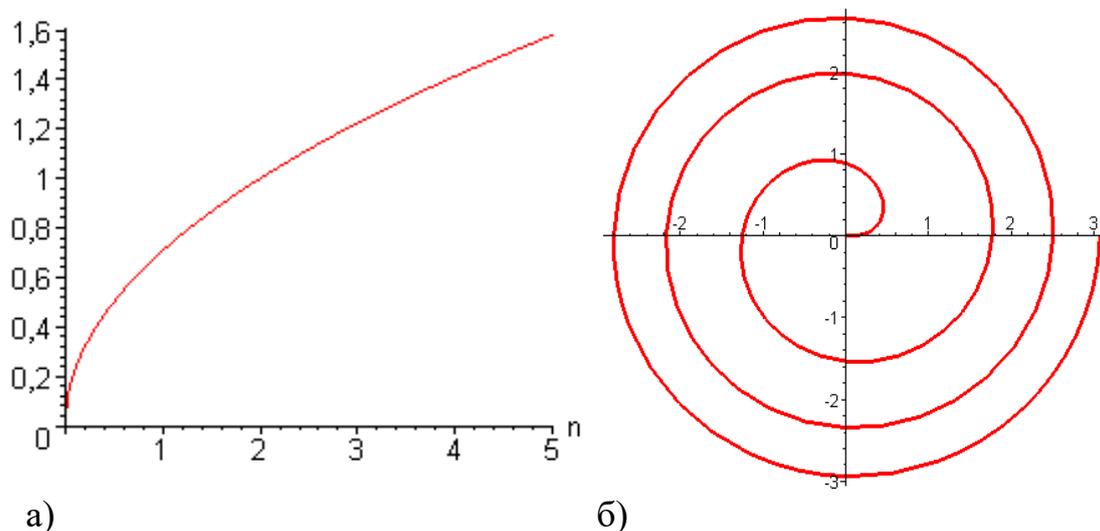


Рис. 9. График изменения скорости v подвижного элемента по изменению эффективного коэффициента сопротивления n электрореологической жидкости в декартовой (а) и полярной (б) системах координат

Проведены аналитические исследования стационарных и нестационарных задач, а также их аналитические решения, применительно к конструкции для сушки дисперсных материалов под действием внешних физических полей. На основе ресурсо-энергосберегающей технологии спроектирована конструкция для сушки семян дисперсных материалов.

Следует подчеркнуть, что использование внешних физических полей (электрореологических и магнитореологических эффектов) при создании управляемых механических систем расширяет возможности автоматического управления линейными и нелинейными динамическими системами в точном машиностроении до 45 %.

В четвертой главе «**Основы математического моделирования создания новых металлических сплавов методом литья в машиностроении**» обоснованы проблемы и перспективы разработки математических моделей для литейной технологии. С использованием задачи оптимизации и метода регрессии разработаны и проведены аналитические исследования математических моделей технологических процессов для создания новых прочных наноструктурных материалов на основе алюминия-лития. На основе математических моделей в виде дифференциальных уравнений и их аналитического решения проведены исследования

разработанных узбекскими учеными технологических процессов производства алюминиево-литиевых сплавов методом литья. Объектом исследований были разработанные технологии извлечения меди из шлаков производства и улучшения эксплуатационных свойств деталей, получаемых из стали (чугуна).

Разработаны математические модели и получены их аналитические решения материалов для создания новых прочных наноструктурированных материалов на основе алюминия-лития. Регрессионная модель используется для статистического анализа экспериментальных результатов. При этом эксперименты проводятся с одной или несколькими непрерывными контролируруемыми переменными x_1, x_2, \dots, x_n и одной измеримой случайной величиной y . В регрессионной модели основной проблемой является определение функциональной зависимости $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, определяющей значение Y , соответствующее переменным x_1, x_2, \dots, x_n которых трудно или невозможно определить в ходе эксперимента. Для проверки адекватности модели проверяются линейность модели, независимость ошибки в различных точках, нормальный закон распределения ошибок и дисперсии.

Аналитический обзор научных исследований зарубежных и узбекских ученых по литейным технологиям показывает, что во многих исследованиях недостаточно внимания уделяется математическому моделированию, характеризующему исследуемые технологические процессы. Доля научных исследований по вопросам математического моделирования этих технологических процессов и сопоставление с экспериментальными исследованиями составляет всего 12-15%. Причина этого, прежде всего, в том, что создаваемые математические модели должны полностью характеризовать реальный технологический процесс и отвечать ряду требований, основанных на физико-химических свойствах этого процесса. Кроме того, математические модели в виде интегро-дифференциальных уравнений имеют сложную нелинейную форму, и в общем случае до сих пор не определен единственный способ нахождения их аналитических решений. Возникает задача эффективного применения научных достижений во всех областях математики, направленных на качественное изучение и исследование этих проблем. Общеизвестно, что для получения решений нелинейных дифференциальных уравнений используются численные методы, в частности, методы конечных элементов, конечных разностей и граничных элементов.

Математическая модель, характеризующая термодинамический процесс под действием газа, переходящего в состояние плазмы дугового разряда, полученная на основе законов сохранения массы потока, энергии и импульса получена в виде следующего дифференциального уравнения:

$$\Omega_3 E^2 - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) - P = c \rho \frac{\partial T}{\partial x},$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} - r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \eta(r) V(r) \right) = 0,$$
(7)

где Ω_3 - электрическое напряжение, r - линейный размер (радиус кристаллизатора), T - температура, P - давление, η - средняя масса электрогазового потока.

В пятой главе “**Экспериментальные и численные исследования нового поколения конструкций управляемых вибрационных механизмов и получения металлических сплавов методом литья**” приведены инженерные решения по применению металлических сплавов методом литья при разработке управляемых механизмов и машин на основе принципов прецизионной вибромеханики. Приведены положительные результаты экспериментальных исследований по увеличению механических показателей деталей из белого чугуна, пульпонососа и их износостойкости в производственных условиях ПО “НМЗ” Навоийского горно-металлургического комбината (НГМК).

Разработана математическая модель изменения толщины поверхностного слоя деталей из белого чугуна в зависимости от количества хрома; Приведены инженерные решения по использованию алюминиевых сплавов при разработке управляемых механизмов и машин. Разработана математическая модель для оценки изменения добавок водорода и оксида для получения высокопрочных деталей машин.

Получена функциональная зависимость оценки изменения времени нагретой шихты во время исследования и состава водорода. Для инженерно-практических расчетов построены графики изменения основных искомым параметров на основе функциональных зависимостей в виде таблицы численных значений.

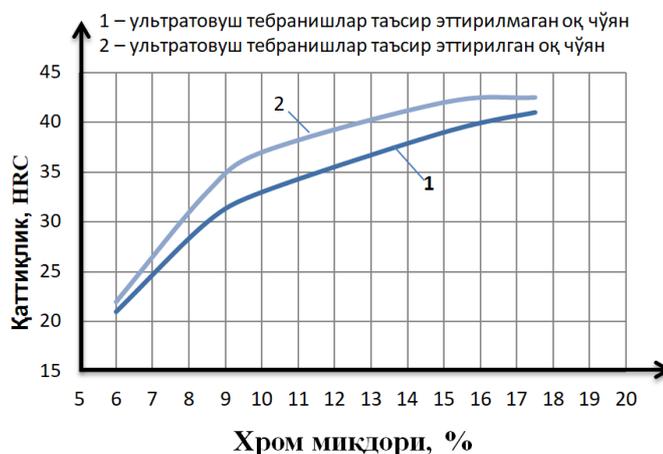


Рис. 10. График изменения твердости рабочего колеса пульпового насоса, используемый и рекомендуемый на НМЗ

На рис. 10 видно, что механические свойства детали несколько улучшились при испытании детали из белого чугуна рекомендуемого

пульпового насоса в производственных условиях, а на рис. 11 видно, что трение увеличилось сопротивление рабочего диска (лопасти) рекомендуемого пульпового насоса, используемого в производстве.

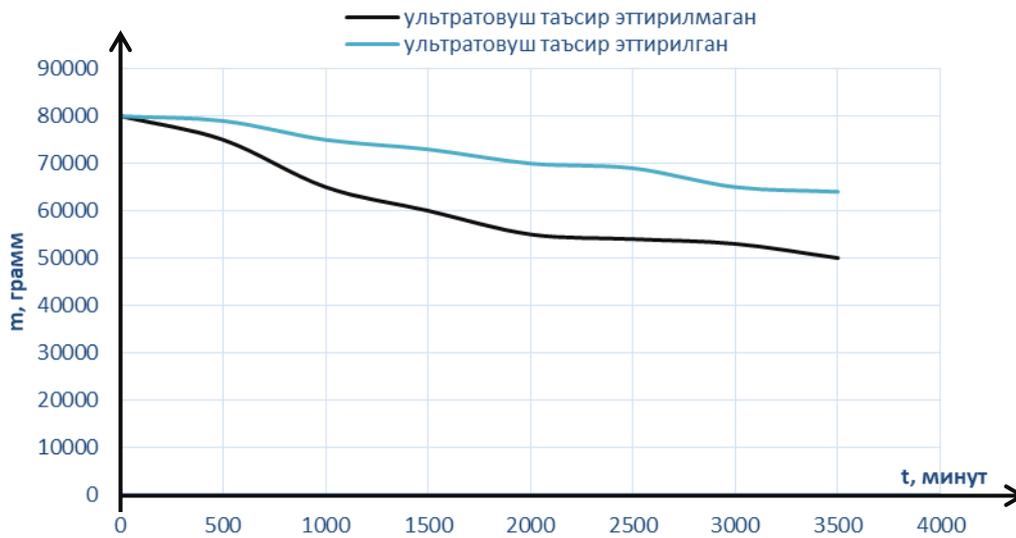


Рис. 11. Срок службы используемого в производстве и рекомендуемого рабочего диска (лопасти) и масса при выходе из строя (по датчикам) и лопасти, измеренный на весах

Разработана математическая модель и ее решение для уменьшения добавок газа при при ожигении алюминиевых сплавов.

Определен следующий вид функциональной зависимости увеличения T ($^{\circ}\text{C}$) при погружении шихты во влажную ванну и изменения оксида алюминия β (%) в сплаве:

$$\beta(T) = \frac{25685}{2052} - \frac{1409}{54720}T - \frac{1367}{164160000}T^2 + \frac{221}{1368 \cdot 10^6}T^3 - \frac{67}{32832 \cdot 10^7}T^4. \quad (8)$$

Рассмотрена задача по математическому моделированию с помощью полученных экспериментальных результатов по изучению процесса исчезновению песочной массы при вливании жидкого металла в кювет с разных сторон и с различной высоты. Определена следующая функциональная зависимость, определяющая исчезновение песочной массы при изменении высоты вливания жидкого металла:

$$m(h) = -3939,8041 + 9675,07892h - 9012,89035h^2 + 4170,03772h^3 - 1008,78581h^4 + 122,20962h^5 - 5,84599h^6. \quad (9)$$

На основании исследований в производственных условиях по увеличению износостойкости деталей из белого чугуна разработана математическая модель для определения взаимосвязанного изменения толщины хромированной поверхности в зависимости от количества хрома. В итоге получена следующая функциональная зависимость:

$$\delta(\alpha) = 0,000013021\alpha^5 - 0,0004296875\alpha^4 + 0,005494791667\alpha^3 - 0,026328125\alpha^2 + 0,0694921875\alpha + 0,0517578125. \quad (10)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов диссертационной работы (DSc) по техническим наукам «Теоретические и инженерные решения по применению специальных сплавов (белый чугун и алюминий-литий) при разработке нового поколения управляемых механизмов на основе принципов прецизионной вибромеханики» представлено следующее заключение:

1. Впервые разработаны общие усовершенствованные классификации, методы расчета и математические модели управления параметрами и связями механизмов с высшими и низшими кинематическими парами. Эти классификации и математические модели позволяют разрабатывать конструкции управляемых механизмов нового поколения и проводить качественный анализ устройств фрикционных и вибрационных механизмов с точки зрения расширения их функциональных возможностей.

2. С использованием интегральных замен Лапласа-Карсона усовершенствованы методы расчета рациональных грохотов и горизонтальных вибромельницы, применяемых в горнодобывающей промышленности. Полученные результаты позволяют определять первые интегралы нелинейных динамических систем.

3. Доказана возможность изменения фрикционных характеристик механизма путем воздействия высокочастотных упругих волн на фрикционные характеристики кинематических пар и вибрационных механизмов методом «обратного пьезоэффекта». Научные результаты могут быть основой для дальнейшего теоретического развития управляемых механизмов и их конструкций.

4. Разработаны математические модели и получены аналитические решения уравнений движения рабочих органов управляемых фрикционных и вибрационных механизмов применительно к горизонтальной вибрационной дробилки, измельчителям полезных руд и сплавов для горнодобывающей промышленности. В результате этого представляется возможным повысить производительность измельчения руд и различных природных сплавов, качество процесса измельчения и общую эффективность процесса.

5. Получены сертификаты Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на программные продукты (приводятся в приложении). Численные результаты позволяют качественно интегрировать дифференциальные уравнения с нелинейными членами.

6. Разработан «метод временных интервалов» при решении нелинейных дифференциальных уравнений движения управляемого реверсивного механизма. С помощью этого метода определяются конечные интервалы движения, пределы остановки и возврата подвижного элемента и дают возможность для численного решения системы нелинейных дифференциальных уравнений.

7. Обоснованы основные принципы и теоретические исследования для создания управляемых механизмов с расширенными функциональными возможностями на примерах дефлектора и сканирующего устройства. Это позволяет повысить эффективность разработки управляемых механизмов.

8. При разработке механизмов и механических систем из литых изделий, полученных с помощью внешних физических полей, были выработаны оптимальные режимы в результате воздействия ультразвуковых колебаний на толщину слоя твердости белого чугуна, что позволяет повысить качество отливок.

9. В результате введения в шлак определенного количества алюминия при ожижении белого чугуна разработана технология, позволяющая резко снизить количество газов в сплаве. Это позволяет улучшить механические свойства деталей и повысить их прочность на основе использования этих сплавов в управляемых механизмах.

10. Разработаны математическая модель и получены аналитические решения волнообразного поведения реологической жидкости при создании управляемых механизмов. Это позволяет использовать реологические жидкости в управляемых механизмах.

11. Получены аналитические решения стационарной и нестационарной задач сушки дисперсных материалов под действием внешних физических полей, электрореологического и магнитореологического эффектов. Решены линейные и нелинейные динамические уравнения, описывающие технологический процесс сушки дисперсных материалов.

12. Разработаны математические модели, характеризующие динамику изменения теплофизических свойств компонентов при извлечении металла из жидких шлаков при разработке отливок деталей для легковых автомобилей и позволяющие оценить химические свойства металлических добавок в шлаках, с также при извлечении меди и других металлов из шлаков и промышленных отходов. Эти модели позволяют автоматизировать процесс извлечения алюминия, меди и других цветных металлов.

13. Разработаны методы оптимизации технологических процессов и формирования двух и более функций связи регрессионного анализа при создании новых прочных наноструктурных материалов на основе оксидов алюминия и тантала. Полученные результаты позволяют создать математическую модель технологического процесса.

14. Технология улучшения эксплуатационных свойств деталей из легких и прочных сплавов разработана на основе определения количества газов в растворе в зависимости от содержания в электроде добавок алюминия, определены закономерности изменения содержания кислорода в растворе при увеличении количества алюминия для разных диаметров кристаллизатора. Это позволяет контролировать содержание алюминия в электроде и диаметр формы, чтобы обеспечить нужное количество кислорода в растворе.

15. При разработке управляемых механизмов и машин созданы целевые функции, оценивающие изменение добавок водорода и оксида в алюминиевых сплавах, характеризующие изменение оксида алюминия в сплаве при повышении температуры при загрузке шихты в ванну сжижения и позволяют оценить изменение содержания водорода во времени выдержки заряда. Математические модели этих экспериментальных исследований позволяют упростить экспериментальные процессы технологии восстановления газовых включений в алюминиевых сплавах.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.03/30.12.2019.T.03.04 AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL
UNIVERSITY**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

AKHMEDOV AZAMAT KHAITOVICH

**THEORETICAL AND ENGINEERING SOLUTIONS FOR THE USE OF
SPECIAL ALLOYS (WHITE CAST IRON AND ALUMINUM-LITHIUM)
IN THE DEVELOPMENT OF A NEW GENERATION OF CONTROLLED
MECHANISMS BASED ON THE PRINCIPLES OF PRECISION
VIBRATION MECHANICS**

**05.02.02 - Theory of mechanisms and machines. Machine science and machine parts
05.02.01 – Materials science in mechanical engineering. Foundry. Heat treatment and
treatment of metals by pressure. Metallurgy of ferrous, non-ferrous and rare metals.
Technology of unique, rare and radioactive elements (in the direction of foundry
production and metal processing technology)**

**ABSTRACT OF THE DISSERTATION OF THE DOCTORAL OF (DSc)
IN TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2023

The theme of doctoral (DSc) dissertation was registered under number B2022.1.DSc/T502 at the Supreme Attestation Commission at the ministry of higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan.

The doctoral dissertation is prepared at the Tashkent State Technical University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of scientific council (www.tdtu.uz) and on the website of “Ziyonet” Information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific consultants:

Karimov Kamolkhan Abbasovich
doctor of technical sciences, professor

Turaxodjaev Nodir Djakhongirovich
doctor of technical sciences, professor

Official opponents:

Alimuxamedov Shavkat Pirmuxamedovich
doctor of technical sciences, professor

Nurmurodov Saloxiddin Dismurodovich
doctor of technical sciences, professor

Mamasaidov Muxamedjan Tashalievich
Academician of the Academy of National Sciences of the Republic of Kyrgyzstan, Honored Scientist, doctor of technical sciences, professor

Leading organization:

Namangan engineering-construction institute

The dissertation will take place on 12 June 2023 year, in 10⁰⁰ at the session of the Scientific Council DSc.03/30.12.2019.T.03.04 at the Tashkent State Technical University. Address: 2, University str. Tashkent 100095, Uzbekistan. Tel./fax: (99871)227-10-32; e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz.

The doctoral (DSc) dissertation is available at the Information-Resource Centre of the Tashkent State Technical University (registered under №329). Address: 2, University str. Tashkent 100095, Uzbekistan. Phone/Fax: (99871) 246-03-41.

Abstract of the dissertation has been distributed on 30 May 2023 year.
(mailing report №165 on 29 May 2023 year).

A.A. Muhitdinov

Deputy chairman of the Scientific Council for Awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

Sh.B. Tashbulatov

The Scientific Secretary of the Scientific Council for scientific degrees, doctor of philosophy in technical sciences

A.A. Rizaev

Chairman of the Scientific Seminar of the Scientific Council on awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of DSc thesis)

The purpose of the research is developing theoretical and engineering solutions for the use of special alloys in the development of new devices of friction and vibration mechanisms controlled on the basis of the principles of precision vibration mechanisms.

The object of the research is frictional and vibrational mechanisms with higher and lower kinematic pairs that are controlled parameters and connections of driven links.

The scientific novelty of the research is:

developed an improving classification of control parameters and connections of controlled friction and vibromechanisms in the theory of mechanisms and machines;

obtained movement of friction and vibromechanism devices controlled by precision vibromechanics methods is mathematically modeled and analytical solutions;

theoretically based the development of mechanisms and mechanical systems made of bulk products obtained with the help of external physical fields;

theoretically based and researched the possibilities of creating controlled movements of mechanisms based on electrorheological and magnetorheological effects (non-Newtonian fluids);

developed to a mathematical model and a software product determine and calculate the movement of the reverse mechanism and the working body of the controlled vibro-crusher;

mathematically modeled on the technology of increasing the strength of mechanical engineering parts obtained by casting method the basis of the relationship between the strength and elasticity of the part material;

developed on the mathematical model of casting details in mechanical engineering the basis of the degree of influence of the elements in the casting on its mechanical properties;

developed a mathematical model based on the dependence of the details obtained by the casting method on the mechanical properties of the controlled mechanisms in the creation of new generation devices.

The implementation of the research results. Using white cast iron and aluminum castings in the development of mechanism devices whose parameters and connections are controlled based on the principles of precision vibromechanics, eliminating friction and other defects in the details of the working bodies of mechanisms, saving the raw material base based on the improvement of technological processes and achieving economic efficiency:

the improved technology of controlling connections and parameters of horizontal and vertical vibro-crusher and ball-crusher mechanisms has been introduced to “Navoi Machinery Plant” (“NKMK” JSC reference No. 23.01-01-07/880 dated December 28, 2022). As a result, the productivity of crushing machines used in the mining industry increased by 12-14%.

the method of integration of signature intervals for mathematical models of complex spatial movements of the working bodies of crushers was introduced at the “Navoi Machinery Plant” (“NKMK” JSC reference number 23.01-01-07/880 dated December 28, 2022). As a result, it is possible to estimate the technical-economic and quality indicators for new devices of these controlled mechanisms on the basis of mathematical modeling by 25-30%.

the technology of applying high-frequency vibration to the frictional characteristics of the kinematic pairs of the vibrating mechanism joints was introduced to the “Navoi Machinery Plant” (“NKMK” JSC reference No. 23.01-01-07/880 dated December 28, 2022). As a result, the energy consumption during the operation of vibration mechanisms used in the mining and geological industries has decreased by 10-15%.

the technology to reduce the friction of white cast iron details of the working bodies of machines whose parameters are controlled based on the created mathematical model has been introduced at the “Navoi Machinery Plant” (“NKMK” JSC reference number 23.01-01-07/880 dated December 28, 2022). As a result, the friction resistance of the working bodies of the controlled machine increased by 12-14%.

mathematical models that evaluate the change of mirror inclusions in white cast iron during casting of machine parts, characterize the change of inclusions in the alloy with the increase in temperature during the loading of charge into the liquefied bath, were introduced to “Navoi Machinery Plant” (“NKMK” JSC dated December 28, 2022, 23.01-01-07 / reference number 880). As a result, the energy spent on technological processes during the development of controlled mechanisms has decreased by 14-16%.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, 5 chapters, conclusion, references and addendum. The volume of the dissertation is 200 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Каримов К.А., Кушимов Б.А., Ахмедов А.Х. Развитие математических моделей, ресурсо - энергосберегающих технологий и конструкций для сушки семян дисперсных материалов / Монография. – Ташкент: “ZEBO-PRINT”, 2022. - 260 с.

2. Тоиров М.Ш., Каримов К.А., Мардонов Б.Т., Ахмедов А.Х. Инерт материалларни саралаб олишда ресурстежамкор тебранувчи элакнинг назарий асослари, конструкцияси ва амалий татбиқи / Монография. – Навои, 2022. - 172 б.

3. Karimov K.A., Akhmedov A.X., Karimova A.R. Nazariy mexanika / O‘quv qo‘llanma. – T.: MALIK PRINT CO, 2021. – 360 b.

4. Каримов К.А., Ахмедов А.Х., Каримова А.Р. Механикаи назариявӣ / Васоити таълимӣ. – Душанбе: ЧДДМ “Хирадмандон”, 2023. – 364 с.

5. Karimov K.A., Akhmedov A.Kh., Habibullayeva X.N. Statement and the analytical decision of the problem about free fluctuations of constructions of the bearing two concentrated weights / Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, 2016. - № 3-4. - P. 35-37. (05.00.00; №2).

6. Karimov, K., Akhmedov, A., Kushimov, B., Yuldoshev, B. (2020). Justification, development of new technology and design for drying seeds of desert fodder plants / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 883. 012107. 10.1088/1757-899X/883/1/012107. (05.00.00; №2).

7. Karimov K., Turakhodjaev N., Akhmedov A., Tashbulatov Sh. A mathematical model of the technology of extraction of copper from industrial slags / E3S Web of Conferences 264, 04077 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404077>. (05.00.00; №2).

8. Karimov K., Turakhodjaev N., Akhmedov A., Chorshanbiev Sh. Mathematical model for producing machine parts / E3S Web of Conferences 264, 04078 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404078>. (05.00.00; №2).

9. Karimov, K., Khudjaev, M., Akhmedov, A. (2021). Modeling fluid outflow from a channel consisting of three different segments / E3S Web of Conferences 258, 08021. 10.1051/e3sconf/202125808021. (05.00.00; №2).

10. Karimov K., Akhmedov A., Adilova Sh. Theoretical and Engineering Solutions of the Controlled Vibration Mechanisms for Precision Engineering / Cite as: AIP Conference Proceedings 2637, 060001 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0118863>. (05.00.00; №2).

11. Karimov K., Akhmedov A., Karimova A. Development of mathematical model, classification, and structures of controlled friction and vibration mechanisms / Cite as: AIP Conference Proceedings 2612, 030014 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0116891>. (05.00.00; №2).

12. Turakhujaeva Sh., Turakhodjaev N., Karimov K., Akhmedov A. Mathematical modeling of quantitative changes in hydrogen and oxide inclusions in aluminum alloy / E3S Web of Conferences 365, 05016 (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336505016>. (05.00.00; №2).

13. Ахмедов А.Х., Пардаев Р.К. Задача свободных колебаний высотных сооружений с цилиндрическим резервуаром с жидкостью / Polish Science Journal, Issue 3(36), Part 1.- Warsaw, 2021. - P. 163-166. (05.00.00; №2).

14. Qosimov F., Nematov E., Ismailov M., Akhmedov A. Drive Control Algorithm in Conditions, of Insufficient Information / 11 the World Conference “Intelligent System for Industrial Automation” (WCIS-2020) DOI: 10.1007/978-3-030-68004-6_66 <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85104895990&partnerID=MN8TOARS>. (05.00.00; №2).

15. K. Karimov, A. Akhmedov. Development and realization on the ECM of a mathematical model of a friction mechanism with a controlled connection in the contact zone / Technical science and Innovation. Tashkent, 2018, Issue 1. –P.13-19.

16. K. Karimov, A. Akhmedov. Development of the mathematical model, classification and structures of managed friction and vibration mechanisms / Technical science and Innovation. Tashkent, 2019, – P. 13-19. (05.00.00; №16).

17. K. Karimov, A. Akhmedov. On perspective scientific direction in the theory of mechanisms and machines based on innovative technology / Theoretical and engineering solutions. Technical Science and Innovation. Tashkent, 2020, Issue 3, – P. 199-216. (05.00.00; №16).

18. Каримов К.А., Ахмедов А.Х. Математическая модель и определение закономерностей изменения основных параметров управляемого движения позиционирующего механизма / Узбекский журнал: Вестник ТашГТУ, 2018. - №2. - С. 16-20. (05.00.00; №16).

19. Кушимов Б.А., Каримов К.А., Ахмедов А.Х. К аналитическому описанию сушки под действием теплового облучения для нестационарных и стационарных задач / Вестник ТашГТУ, 2018. - №1. - С. 86-92. (05.00.00; №16).

20. Кушимов Б.А., Каримов К.А., Ахмедов А.Х. Постановка и решение стационарных задач тепломассообменных процессов в технологических машинах для сушки семян / Вестник ТашГТУ, 2018. - №3. - С. 147-150. (05.00.00; №16).

21. Кушимов Б.А., Каримов К.А., Ахмедов А.Х. Разработка и аналитическая реализация математических моделей процесса сушки с помощью внешних физических полей (часть 1) / Узбекский журнал: Проблемы механики. – Ташкент, 2019. – №1.– С. 61-65. (05.00.00; №6).

22. Кушимов Б.А., Каримов К.А., Ахмедов А.Х. Разработка и аналитическая реализация математических моделей процесса сушки с помощью внешних физических полей (часть 2) / Узбекский журнал: Проблемы механики. – Ташкент, 2019. – №2.– С. 71-75. (05.00.00; №6).

II бўлим (II часть; II part)

23. Маматқулов Ш., Каримов К.А., Ахмедов А.Х. Инновацион технологияларга асосланган механик системаларни яратишда мажбурий тебранма ҳаракатлар // Сборник научных статей международной научной конференции «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении». - Андижан, 2014. Том 1. – С. 152-154.

24. Каримов К.А., Ахмедов А.Х. Разработка и аналитическая реализация математической модели волновых движений реологической жидкости с целью создания управляемых механизмов для точного машиностроения // Материалы Международной IV научно-технической конференции «Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства» (IV Резниковские чтения). -. Тольятти (Россия), 2015. Часть 1. - С. 241-244.

25. Каримов К.А., Ахмедов А.Х. Перспективы разработки теоретических основ и конструкций управляемых прецизионных механизмов на основе реологических эффектов // Материалы XXIII Международной научно - технической конференции «Прикладные задачи математики». – Севастополь, Россия, 2015. - С. 92-95.

26. Ахмедов А.Х. Машинасозликка оид замонавий технология ва курилмаларни яратишда тебранма ҳаракатларни ўрганиш ва таҳлил этиш муаммолари // Таълим сифатини таъминлашда устоз-шогирд тизимини ўрни: тажриба ва истиқболлар. I Илмий-амалий анжуман материаллари. – Наманган, 2015. – Б. 55-56.

27. Каримов К.А., Ахмедов А.Х. Перспективы использования реологических жидкостей с целью повышения эффективности управляемых механизмов прецизионного машиностроения // Сборник научных статей Международной научной конференции «Инновация – 2016». - Ташкент, 2016. - С. 31-33.

28. Ахмедов А.Х., Раҳимов М.Ю. Механик мажмуаларнинг математик моделларини яратишда эркин тебранма ҳаракатни ҳисобга олишнинг муаммолари ва истиқболлари // Сборник межд. научно-прак. конф. «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении». - Андижан, 2014. Том 2. - С. 131-134.

29. Каримов К.А., Ахмедов А.Х. Об использовании новой инновационной технологии при разработке вибрационных измельчителей // International conference on integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects. - Навои, 2019. - С. 592-595.

30. Каримова А.Р., Ахмедов А.Х. Турли технологик жараёнларда суюқлик ва резервуарлар динамик таъсирларини математик моделлаштириш масалалари // “Инновацион техника ва технологияларнинг қишлоқ хўжалиги - озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари” мавзусидаги халқаро илмий ва илмий-техник анжуман материаллари. – Тошкент, 2020. - Б. 598-599.

31. Ахмедов А.Х. Муҳандислик, аниқ машинасозликда тебранма ҳаракатларни инновацион технологиялар асосида ҳисобга олиш истиқболлари // “Илм-фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг инновацион ривожлантиришдаги замонавий муаммолар” мавзусидаги халқаро илмий-амалий конференция материаллари. – Андижон, 2020. – Б. 807-812.

32. Ахмедов А.Х. Технологик жараёнлардаги илмий муаммолар ва уларнинг ечимларига инновацион ёндашув // “Инновацион техника ва технологияларнинг кишлоқ хўжалиги - озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари” мавзусидаги халқаро илмий ва илмий-техник анжуман материаллари. – Тошкент, 2020. - Б. 182-183.

33. Каримов К.А., Ахмедов А.Х. Теоретическое обоснование для разработки конструкций волновых вибродвигателей на основе инновационной технологии // “Илм-фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг инновацион ривожлантиришдаги замонавий муаммолар” мавзусидаги халқаро илмий-амалий конференция материаллари. – Андижон, 2020. – Б. 546-551.

34. Каримов К.А., Ахмедов А.Х. Обоснование и решение задач фазовой синхронизации в вибрационных приводах // “Инновацион техника ва технологияларнинг кишлоқ хўжалиги - озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари” мавзусидаги халқаро илмий ва илмий-техник анжуман материаллари. – Тошкент, 2020. - Б. 38-39.

35. Akhmedov A., Pardayev R. The task of free vibrations of high-rise buildings with a cylindrical reservoir with fluid // Proceedings of 3rd International Multidisciplinary Scientific Conference Ingenious global thoughts. – Malazia, 2021. – P. 250-254.

36. Каримов К.А., Ахмедов А.Х. Развитие математической модели управляемых фрикционных и вибрационных механизмов // Сборник научных статей Международной научной конференции «Инновация – 2021». - Ташкент, 2021. - С. 116-118.

37. Ахмедов А.Х. Алюминий қотишмаларини суюклантириш тажриба жараёнларини математик моделлаштириш // Сборник научных статей международной научной конференции «Инновация – 2022». - Ташкент, 2022. – Б. 302-304.

38. Karimov K., Turakhujaeva Sh., Akhmedov A., Mardanakulov Sh. Prospects of mathematical modeling in the development of new alloys for general engineering // Международная конференция по кооперации и интеграции в промышленности, образование, исследование и применение. Харбинский инженерный университет (Китай), 2022.

39. Ахмедов А.Х., Пардаев Р.К. Қотишма таркибидаги водород ва оксид кўшимчаларнинг микдорий ўзгаришини математик моделлаштириш // Сборник научных статей международной научной конференции «Инновация – 2022». - Ташкент, 2022. – Б. 299-302.

40. Каримов К.А., Ахмедов А.Х., Каримова А.Р. Замонавий машинасозликда бошқариладиган механизмларни ишлаб чиқишнинг назарий муаммолари ва муҳандислик ечимлари // “Инновацион техника ва

технологияларнинг қишлоқ хўжалиги - озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари” мавзусидаги 2-халқаро илмий ва илмий-техник анжуман материаллари. 1-қисм. – Тошкент, 2022. - Б. 33-34.

41. Каримов К.А., Каримова А.Р., Ахмедов А.Х. Реологик суяқликнинг гидротехник қурилмага таъсирини математик моделлаштириш // “Инновацион техника ва технологияларнинг қишлоқ хўжалиги - озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари” мавзусидаги 2-халқаро илмий ва илмий-техник анжуман материаллари. 2-қисм. – Тошкент, 2022. - Б. 194-195.

42. Ахмедов А.Х. Машинасозлик материалшунослиги технологик жараёнлари тажриба тадқиқотларини математик моделлаштириш // “Машинасозликда фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг интеграцияси: тенденциялар, муаммолар ва ечимлар” номли Республика миқёсидаги илмий ва илмий-техник конференция материаллари. – Тошкент, 2022. – Б. 277-279.

43. Каримов К.А., Кушимов Б.А., Ахмедов А.Х. Жанубий ҳудудларда озуқабоп чўл ўсимликлари уруғларини қуришда энергиятежамкор технология ва конструкцияларини жорий этиш истиқболлари // “Республикамизнинг жанубий ҳудудларида қишлоқ ва сув хўжалигига инновацион техника ва технологияларни жорий этиш истиқболлари” мавзусидаги Республика илмий-техник анжумани материаллари тўплами. – Термиз, 2022. – Б. 221-224.

44. Каримов К.А., Ахмедов А.Х., Каримова А.Р. Бошқариладиган вибромайдалагич ишчи органининг ҳаракатини аниқлаш дастури // Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги томонидан берилган дастурий маҳсулотга гувоҳнома. – Тошкент, 2022. - № DGU 17793.

45. Каримов К.А., Ахмедов А.Х., Каримова А.Р. Реверс механизмнинг бошқариладиган ҳаракати дастури // Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги томонидан берилган дастурий маҳсулотга гувоҳнома. – Тошкент, 2022. - № DGU 17794.

46. Ахмедов А.Х., Пардаев Р.К. Наноструктурали композицион материалларни олишда тажриба тадқиқотларини регрессион таҳлил ёрдамида математик моделлаштириш // “Замонавий машинасозликда инновацион технологияларни қўллашнинг илмий асослари: тажриба ва истиқболлар” мавзусидаги халқаро миқёсидаги илмий-амалий конференция материаллари тўплами. - Наманган, 2022. – Б. 198-201.

47. Каримов К.А., Ахмедов А.Х., Каримова А.Р., Пардаев Р.К. Дефлектор ва сканатор мисолида функционал имкониятлари кенгайтирилган бошқариладиган механизмларни яратишнинг назарий асослари // “Замонавий машинасозликда инновацион технологияларни қўллашнинг илмий асослари: тажриба ва истиқболлар” мавзусидаги халқаро миқёсидаги илмий-амалий конференция материаллари тўплами. - Наманган, 2022. – Б. 143-147.

48. Каримов К.А., Тураходжаев Н.Дж., Ахмедов А.Х. Оқ чўян қаттиқлик қатлами қалинлигига ишлов беришда ультратовуш тебранишлар таъсири // “Қуймакорлик ишлаб чиқариш соҳасида ресурс ва энергиятежамкор инновацион технологиялар” мавзусидаги халқаро миқёсидаги илмий ва илмий – техник анжуман материаллари тўплами. - Тошкент, 2023. – Б. 112-113.

Автореферат “Technical Science and Innovation” илмий-техник журнали
таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз (резюме)
тилларидаги матнлар мослиги текширилди (25.05.2023 йил).

Босишга рухсат этилди: 31.05.2023 йил
Бичими 60x45 1/8, “Times New Roman”
Гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табоғи: 4,25. Адади: 70. Буюртма № 33.
ТТЕСИ босмаҳонасида чоп этилди.
Тошкент шаҳри, Шохжаҳон кўчаси, 5-уй.

