

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА ЎЗБЕКИСТОН
МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР
БЕРУВЧИ DSc.28.02.2018. Т.03.04 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

НЕМАТОВ ЭРКИНЖОН ҲАМРОЕВИЧ

**МИНЕРАЛ ХОМАШЁЛАРНИ МАЙДАЛАЙДИГАН РОТАЦИОН ТУРДАГИ
ЮРИТМАЛАРНИНГ КИНЕМАТИКАСИ ВА ДИНАМИКАСИНИ
МОДЕЛЛАШТИРИШ**

**05.02.02 – Механизмлар ва машиналар назарияси. Машинашунослик ва машина
деталлари**

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

Тошкент – 2019

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

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

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

Нематов Эркинжон Ҳамроевич

Минерал хомашёларни майдалайдиган ротацион турдаги юритмаларнинг
кинематикаси ва динамикасини моделлаштириш3

Нематов Эркинжон Ҳамроевич

Моделирование кинематики и динамики приводов ротационного типа
измельчителей минерального сырья21

Nematov Erkinjon Hamroevich

Modeling of kinematics and dynamics of drives of rotational type of crushers
of mineral raw materials39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works43

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА ЎЗБЕКИСТОН
МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР
БЕРУВЧИ DSc.28.02.2018. Т.03.04 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

НЕМАТОВ ЭРКИНЖОН ҲАМРОЕВИЧ

**МИНЕРАЛ ХОМАШЁЛАРНИ МАЙДАЛАЙДИГАН РОТАЦИОН ТУРДАГИ
ЮРИТМАЛАРНИНГ КИНЕМАТИКАСИ ВА ДИНАМИКАСИНИ
МОДЕЛЛАШТИРИШ**

**05.02.02 – Механизмлар ва машиналар назарияси. Машинашунослик ва машина
деталлари**

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

Тошкент – 2019

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.3.PhD/Т360 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.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Каримов Расул Исмоқович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Алимухаммедов Шавкат Пирмухаммедович
техника фанлари доктори, профессор

Умурзаков Акрамжон Хакимович
техника фанлари доктори, доцент

Етакчи ташкилот:

**М.Т. Ўрозбоев номидаги Механика ва
иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.28.02.2018.Т.03.04 рақамли Илмий кенгашнинг 2019 йил «12» октябрь соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент ш., Университет кўчаси, 2-уй. Тел./факс: (99871) 246-46-00/ 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (109 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент ш., Университет кўчаси, 2-уй. Тел.: (99871) 246-46-00).

Диссертация автореферати 2019 йил «28» сентябрь куни тарқатилди.
(2019 йил «28» сентябрдаги 98 рақамли реестр баённомаси).

К.А. Каримов

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

Н.Д. Тураходжаев

Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш илмий котиби,
техника фанлари доктори, профессор

А.А. Ризаев

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда машинасозлик саноатини ривожлантириш, ишлаб чиқаришнинг барча соҳалари учун жаҳон стандартларига мос, юқори технологиялар, машиналар ва механизмларнинг янги қурилмаларини яратиш, назарий тадқиқотлар олиб бориш, долзарб илмий-амалий масалаларни ҳал этиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Шунингдек, замонавий машина ва механизмлар назариясининг асосий масалаларидан бири бўлган ротацион турдаги юритмаларни кинематик ва динамик моделлаштириш муҳим вазифалардан саналади. Бу борада ривожланган мамлакатлар, жумладан, Англия, Швеция, Хитой, Россия, Ҳиндистон ва бошқа мамлакатларнинг илмий-тадқиқот марказларида ишлаб чиқаришда инерция моменти ўзгарувчан ротацион турдаги юритмаларни лойиҳалашга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бундай масалаларнинг долзарблиги математик моделлари мураккаблиги, уларни ечишда компьютер технологиясининг замонавий усул ва воситаларидан фойдаланиш зарурлиги билан белгиланади. Машина ва механизмлар назарияси бўйича халқаро ташкилот (IFToMM) ўзининг қарорларида ротацион турдаги юритмалар устидаги тадқиқотларни ривожлантириш лозимлигини таъкидлаган. Замонавий технологик машиналарда оддий ва мураккаб ҳаракатланувчи звеноларнинг ротацион юритмалари кенг қўлланилади. Бу юритмаларда технологик жараёнлар билан боғлиқ бўлган ишчи орган инерция моменти ўзгарувчанлигини инобатга олган ҳолда тадқиқотлар ўтказишга эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда замонавий ротацион турдаги машиналар минерал хомашёларни майдалалашда кенг қўлланилмоқда. Ротацион турдаги конструкцияларни яратиш, механизм ва машиналарни ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқиш учун кенг қўламли тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу механизмларни технологик машиналарда қўллашга алоҳида эътибор берилмоқда. Самарали, технологик кўрсаткичлари такомиллаштирилган майдалагич машиналарини ишлаб чиқиш, минерал хомашёларни ва саноат чиқиндиларини қайта ишлаш бўйича техника ва технологияларнинг янги авлодини яратиш, рационал режим ва кўрсаткичларни таъминлаш, озиқ-овқат тоғ-кон ва қурилиш саноатида, фармацевтика ва бошқа соҳаларда замонавий қурилмаларини ишлаб чиқиш зарур ҳисобланади.

Республикамизда ротацион турдаги юритмаларни, механизмларни яратиш ҳамда келгуси илмий тадқиқотларини ривожлантириш ва янги назарий ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқиш бўйича қатор тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш...»¹ вазифаси белгилаб берилган. Шу муносабат билан минерал хомашёни майдалашда

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони

планетар юритмали машиналарнинг истиқболли янги конструкцияларни яратиш, қисмлари ресурстежамкор майдалагичнинг деталларини тайёрлаш учун асосий конструктив параметрларни аниқлаш, энергия сарфини камайтириш, қисмларининг янги конструкцияларини тайёрлаш, технологиясини яратиш муҳим ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2016 йил 26 декабрдаги ПҚ-2698-сон «2017-2019 йилларда тайёр маҳсулот турлари, бутловчи буюмлар ва материаллар ишлаб чиқаришни маҳаллийлаштиришнинг истиқболли лойиҳаларини амалга оширишни давом эттириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятларга тегишли бошқа меърий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлиги» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Дунё олимлари томонидан ротацион механизмларнинг структураси, кинематикаси ва динамикасини ривожлантириш борасида тадқиқотлар олиб борилган. Машина ва механизмлар назарияси йўналиши бўйича дунёнинг етакчи олимлари иш олиб бормоқдалар. Жумладан Англия олими David Irwin ўз илмий ишларида бир массали ротацион механизмларнинг динамик ва математик моделларини ишлаб чиққан ва шу механизмларнинг валларига таъсир этадиган юкланишларни ҳисоблаган. Швеция олими A. Trzynadlowski ўз ишида ротацион механизмларни машина агрегат кўринишида тадқиқ қилган. Машина агрегатининг юритмаси сифатида асинхрон электродвигатель ишлатилган. Асинхрон электродвигателнинг статик, механик характеристикаси қўлланилган. Швед олимлари L. Wanbammар, G.J. Lipovski ва бошқалар томонидан икки массали ротацион механизмнинг динамикаси кўриб чиқилган. Улар томонидан бир массага таъсир этадиган ҳаракатлантирувчи момент ўзгармас деб қабул қилинган. Бундан ташқари кўрилган ротацион механизмни бошқариш усуллари ҳам ишлаб чиқилган. Ҳинд олимларидан N.K. Sinba, M.M. Gupta томонидан етакланувчи звено етакловчи звено ўқи атрофида айланадиган ротацион системаларнинг кинематик ва динамик моделлари ишлаб чиқилган. Математик моделларни компьютерда ҳисоблаш учун дастур ишлаб чиқилган. Натижада механизм звеноларининг тезлиги, тезланиши, кинематик жуфтларидаги реакция кучлари аниқланган. Хитой олимларидан Ni Xi, Tu Ji ва бошқалар ўз илмий ишларида икки массали ротацион механизмларни кинематикаси ва динамикасини таҳлил қилишган, кўп массали ротацион системалар учун динамик ва математик моделларни ишлаб чиқиб, ротацион системаларни мувозанатлаш масалаларини ечишган.

Россия олимлари И.И.Артоболевский томонидан кўплаб ротацион механизмларнинг кинематик схемалари ва бу механизмларни қўллаш соҳалари келтирилган. Олим томонидан таклиф этилган механизмларнинг кинематикаси ва динамикаси ишлаб чиқилган. С.Н.Кожевников томонидан кўп массали ротацион механизмларнинг умумий назарияси ишлаб чиқилган. Бу ишларда динамик ва математик моделларини тузиш усуллари келтирилган. Ҳар бир массанинг тезлик-тезланишлари ва массалар орасидаги буровчи моментлар аниқланган. Илмий натижалар замонавий прокат дастгоҳларини лойиҳалашда ва ишлаб чиқишда қўлланилган. А.П.Бессонов эркинлиги бир ва икки бўлган звено массаси ўзгарувчан ротацион машинанинг динамик масалаларини ривожлантирган, машинали агрегат динамикаси масалаларини ҳал қилган. И.И.Вульфсон ўзининг илмий ишларини бир ва кўп массали ротацион механизмлар динамикасига бағишлаган бўлиб, ротацион механизмларнинг динамик ва математик моделларини тузган. Кўп массали ротацион механизмларни частотасини аниқлаш учун математик ифодалар яратган. Илмий ишлари натижалари энгил саноатда, тикув машиналарини лойиҳалашда татбиқ этилган.

Республикамизда ротацион типдаги механизмларнинг кинематикаси ва динамикасини моделлаштириш бўйича муҳим тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу йўналишни ривожланишига академик Ҳ.Ҳ.Усмонхўжаев ва унинг шогирдлари проф. Ғ.С.Кўзибаев, Ш.У.Раҳматқориев, А.Жўраев, Ш.П.Алимуҳаммедов, К.А.Каримов, Р.И.Каримов, А.А.Ризаев, Ғ.О.Баҳодиров ва бошқалар ўз ҳиссаларини қўшишган.

Ҳозирги кунда дунё илм-фананда машина ва механизмлар назарияси бўйича ишчи органлари оддий ва мураккаб ҳаракатланадиган машина агрегатлари илмий тадқиқотлар етарли даражада тадқиқ этилган. Аммо ишчи органлари масса марказининг радиус-вектори ўзгарувчан бўлган, ротацион ҳаракатланувчи механизмларнинг ўзгарувчан инерция моменти қонуниятлари машина агрегатлари назариясида етарли даражада тадқиқ қилинмаган. Масса марказининг радиус-вектори ўзгарувчан бўлган машиналарнинг кўчиш, тезлик, тезланишларининг ўзгариш қонуниятларини аниқлаш усуллари етарлича ёритилмаган. Бу масала машина агрегатлари ишчи органлари планетар юритмаларига ҳам маълум даражада тегишлидир. Шу боисдан бугунги кунда ротацион қурилмаларни ишлаб чиқиш устида назарий ва амалий тадқиқотлар ўтказиш муҳим ҳисобланади. Янги конструкциялар ишчи органларининг параметрларини асослаган ҳолда ҳисоблаш, илмий тадқиқотлар олиб бориш муҳим ҳисобланади.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муссасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг А-13-227 «Турли мақсадларга мўлжалланган композит материаллар ишлаб чиқариш саноатида минерал хомашё ва индустриал чиқиндилардан юқори дисперсли инградиентларни олиш учун юқори самарадор ва экспортга йўналтирилган дисмембратор (машина) ишлаб чиқиш» (2006-2008 йй.) мавзусидаги амалий лойиҳаси, «Диаметри 70 мм шар

прокатлаш мақсадида бандаж вали винтли калибрини таёрлашда токарли винт қирқиш дастгоҳи учун кулачок нусхалаш ва чашкали кескич тайёрлаш ва ишланмалари» («Узметкомбинат» АЖ, 2017-2019 йй.) мавзусидаги хўжалик шартномаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади минерал хомашёларни майдалайдиган ротацион турдаги машина юритмаларни ишлов берилаётган материалнинг масса марказининг координатаси ўзгарувчанлигини ҳисобга олган ҳолда ишчи органнинг кинематикаси ва динамикасини моделлаштириш, ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқиш, планетар майдалагичнинг саноат намунасини яратишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

минерал хомашёни майдалашда оддий ва мураккаб ҳаракатланадиган ишчи органда ишлов берилаётган материал масса маркази ҳаракатининг ўзгариши қонуниятларини аниқлаш учун аналитик ифодаларни ишлаб чиқиш;

аналитик ифодаларни ЭХМ ёрдамида ёритиш, ишлов берилаётган материал масса маркази ўзгарувчан ҳаракат қонуниятларини ўрнатиш, бу қонуниятларга таъсир қиладиган омилларни аниқлаш;

ишлов берилаётган материал масса маркази радиус-вектори ўзгарувчан бўлган ишчи органи ротацион типдаги юритмаларни кинетостатикасининг математик моделини асослаш ва яратиш;

аналитик натижаларни ЭХМда тавсифлаш учун дастур ишлаб чиқиш ва оддий ҳаракатни амалга оширадиган ишчи органи юритмасини, шунингдек, бир ва икки кўзгалувчан даражали планетар юритмалар кинематик жуфтларидаги реакцияларнинг ўзгариш қонуниятларини аниқлаш;

ишчи органи оддий ҳаракатланувчи ротацион типдаги дисмембраторни мувозанатлаш усулини ишлаб чиқиш;

ишчи органи мураккаб ҳаракатланувчи янги планетар юритмали хомашё майдалагичнинг рационал конструкциясини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида минерал хомашёларни майдалайдиган ротацион типдаги юритмалар олинган.

Тадқиқот предметини ишлов берилаётган материал масса маркази радиус-вектори ўзгарувчан бўлган оддий ва мураккаб ҳаракатланувчи ротацион ишчи органли юритмалар кинематикаси ва динамикаси моделлари ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Тадқиқот жараёнида назарий механика, механизмлар ва машиналар назарияси, математик моделлаштириш, компьютернинг MathCAD15 муҳитида дастурлаш усуллари ва тажриба стендларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

ишчи органи оддий ва мураккаб ҳаракатланувчи ротацион турдаги машиналарда минерал хомашёларни масса маркази ўзгаришининг кинематик параметрларини аниқлайдиган аналитик ифодалар такомиллаштирилган;

ишлов берилётган материалнинг масса марказининг радиус-вектори ўзгарувчан бўлгандаги қонуниятлар майдалагичнинг ишчи органи ротацион турдаги юритмаларини кинетостатик тенгламалари ишлаб чиқилган;

олинган аналитик натижаларни компьютерда ечиш учун дастур ишлаб чиқилган, ишчи органи оддий ҳаракатни амалга оширадиган, шунингдек, бир ва икки эркинлик даражасига эга планетар юритмалар кинематик жуфтларида ҳосил бўладиган реакцияларни ўзгариш қонуниятлари аниқлаш усуллари ишлаб чиқилган;

минерал хомашёларни майдалашда рационал конструкциялар ҳамда ишчи органи оддий ротацион ва мураккаб планетар юритмали майдалагични истиқболли тажриба нусхаси конструкцияси ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

олиб борилган тадқиқотлар натижасида минерал хомашёни майдалайдиган ишчи органи планетар юритмали конструкция ишлаб чиқилган, тажриба нусхаси тайёрланиб, лаборатория шароитида синовдан ўтказилган;

ишчи органи оддий, тез ҳаракатланадиган ротацион типдаги дисмембраторни мувозанатлаш шартлари ишлаб чиқилган;

ишлаб чиқилган ротацион типдаги юритмали майдалагичнинг такомиллаштирилган конструкцияси Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг фойдали моделга патентлари (FAP 00716 ва FAP 01328) билан ҳимояланган;

тоғ-кон саноатида рудаларни бойитишга тайёрлаш учун уларни сифатли майдалайдиган универсал планетар майдалагич конструкцияси ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончилиги назарий ва амалий тадқиқотлар асосида ишлаб чиқилган минерал хомашёни майдалайдиган планетар юритмали конструкция лаборатория синовининг натижаларининг ижобийлиги, яратилган ҳисоблаш дастурлар ва стандарт ўлчаш воситаларидан олинган натижаларга мослиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ротацион юритма ишчи органи кинематик характеристикаларини аниқлаш учун тузилган дастурий маҳсулотлар ва оғирлик марказининг радиус-вектори ўзгарувчан етакланувчи звенонинг оддий ва мураккаб ҳаракатларида юритманинг кинематикаси ва динамикасини моделлаштириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти минерал хомашё майдалагичларини Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг 2 та патенти билан ҳимояланган такомиллаштирилган конструкциясининг ишлаб чиқилганлиги билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ишчи органининг оғирлик маркази инерция радиуси ўзгарувчан бўлганда оддий ва мураккаб ҳаракатланадиган майдалаш машинасида минерал хомашёларни майдалашда ишлаб чиқариш самарадорлигини оширишга қаратилган майдалаш

механизмлари учун ротацион юритмаларнинг кинематикаси ва динамикасини моделлаштириш тадқиқотлари бўйича олинган натижалар асосида:

рудани майдалаш учун такомиллашган конструкцияли, универсал майдалагич “Минерал ресурслар институти” Давлат корхонасида жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Давлат геология қўмитасининг 2019 йил 27 майдаги 05/11-сон маълумотномаси). Натижада минерал хом-ашёни универсал майдалагичи рудани майдалаш вақтини 2 баробар қисқартириш имконини берган;

рудани бойитишга тайёрлаш учун универсал планетар майдалагич қурилмасининг синов натижаларини ўтказиш усули “Минерал ресурслар институти” Давлат корхонасида жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Давлат геология қўмитасининг 2019 йил 27 майдаги 05/11-сон маълумотномаси). Натижада рудаларни майдалаш жараёнида электр энергияни 40-45% га тежашга эришилган;

универсал планетар майдалагичда частотали ўзгартиргични қўллаш усули “Минерал ресурслар институти” Давлат корхонасида жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Давлат геология қўмитасининг 2019 йил 27 майдаги 05/11-сон маълумотномаси). Натижада бу усул билан майдалагичнинг кинематик ва динамик характеристикаларини назорат қилишга эришилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертациянинг тадқиқот натижалари 10 та, жумладан 3 та халқаро ва 7 та Республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 19 та илмий иш чоп этилган, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 6 та мақола, жумладан, 5 таси Республика ва 1 таси хорижий журналда нашр этилган. Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги томонидан 1 та дастурий маҳсулотга гувоҳнома, 2 та фойдали моделга патентлар берилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертациянинг таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 115 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 очиб берилган, тадқиқот

натижаларининг амалиётга жорий қилинганлиги, ишнинг апробация натижалари, эълон қилинган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Муаммонинг ҳолати ва тадқиқот вазифаси**» деб номланган биринчи бобида звенолари оддий ва мураккаб ҳаракатланувчи ротацион механизмларнинг кинематикаси ва динамикасига бағишланган илмий изланишлар, шунингдек минерал хомашёларни майдалагич конструкциялари бўйича ишлар кўриб чиқилган.

Технологик машиналарнинг ишчи органлари оддий ва мураккаб ҳаракатланадиган ротацион юритмалари бўйича илмий тадқиқотлар таҳлили, бу йўналишда олиб борилган илмий ишларнинг кўплигига қарамасдан ишчи органи масса маркази ўзгарувчан бўлган радиус-векторининг кинематик параметрларини аниқлаш каби масалалар деярли кўрилмаган. Бу ротацион системаларнинг кинетостатикаси масалалари тадқиқ қилинмаган ва машина агрегати таркибида бу юритмаларни кўпроқ ўрганиш талаб қилинади.

Диссертациянинг «**Минерал хомашёни майдалагичнинг ишчи органи юритмаларининг кинематикаси ва динамикасини моделлаштириш**» деб номланган иккинчи бобида ишлов берилаётган материал масса марказининг ўзгарувчан бўлиши радиус-вектори ўзгариши маълум қонуниятга тушади. Кўчиши, тезлиги ва тезланишини аниқлашнинг аналитик ифодаларини ишлаб чиқишга, минерал хомашёни майдалагични ишчи органи юритмаси звеноларини юкланганлигини аниқлашга, ротацион типдаги бажарувчи механизмли машина агрегати динамикасини тадқиқ қилишга бағишланган.

Ҳозирги вақтда қурилиш, тоғ-кон саноати ва ишлаб чиқаришнинг бошқа соҳаларидаги технологик машиналарда ротацион типдаги майдалагичлар кенг қўлланилади. Ротацион механизмлар етарли даражада тадқиқ қилинганлигини қайд этиш лозим. Бироқ, ишчи органи ротацион механизмлар инерция моменти ўзгарувчанлиги етарли даражада ўрганилмаган. Бу эса масса маркази радиуси-вектори ўзгарувчанлигидан мураккаб математик моделларни яратиш зарурати билан ифодаланади. Ротацион типдаги майдалагичлар бўйича адабиётларда инерция моментини ўзгарувчанлиги деярли ҳисобга олинмаган.

Ишчи органи оддий ҳаракатланувчи ротацион майдалагичнинг ишлов берилаётган материал масса маркази проекциясини координата ўқида аниқлаш учун қуйидаги аналитик ифодалар олинган:

$$x_c(t) = R_m(t) \cos(\omega t), \quad (1)$$

$$y_c(t) = R_m(t) \sin(\omega t), \quad (2)$$

бу ерда $x_c(t)$, $y_c(t)$ – ишлов берилаётган материал масса марказининг координата ўқидаги проекцияси, $R_m(t)$ - ишлов берилаётган материал масса марказининг ишчи барабанныннг конструктив параметрларига боғлиқ бўлган $R_m(t) = K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega t)$ ўзгарувчан радиуси, R_0 - ишлов берилаётган материал масса марказининг ўртача радиуси; ω – ишчи барабан бурчак тезлиги; K_1 , K_2 , K_3 – доимий коэффициентлар, бу ишчи органнинг конструктив ва технологик параметрларига боғлиқ.

$$\mathcal{G}_{CX}(t) = K_2 K_3 R_0 \omega \cos(K_3 \omega t) \cos(\omega t) - \omega \sin(\omega t) (K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega t)), \quad (3)$$

$$\mathcal{G}_{CY}(t) = \omega \cos(\omega t) (K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega t)) + K_2 K_3 R_0 \omega \cos(K_3 \omega t) \sin(\omega t), \quad (4)$$

$$\mathcal{G}_c(t) = \sqrt{\mathcal{G}_{CX}^2(t) + \mathcal{G}_{CY}^2(t)}; \quad (5)$$

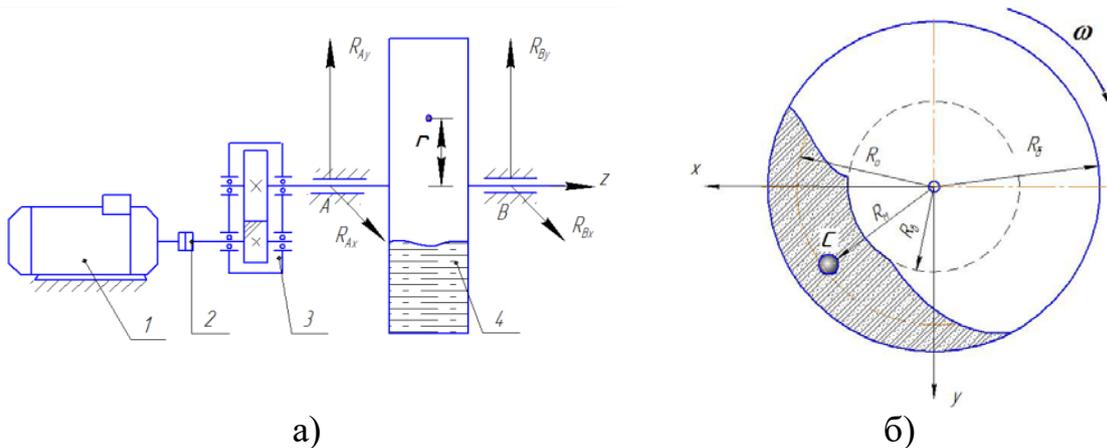
бу ерда \mathcal{G}_{CX} , \mathcal{G}_{CY} - тезликларнинг кордината ўқидаги проекцияси, \mathcal{G}_c - ишлов берилётган материал масса маркази тезлигининг абсолют катталиги;

$$a_{CX}(t) = \omega^2 \cos(\omega t) (K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega t)) - 2K_2 K_3 R_0 \omega^2 \cos(K_3 \omega t) \sin(\omega t) - K_2 K_3^2 R_0 \omega^2 \sin(K_3 \omega t) \cos(\omega t), \quad (6)$$

$$a_{CY}(t) = 2K_2 K_3 R_0 \omega^2 \cos(K_3 \omega t) \cos(\omega t) - \omega^2 \sin(\omega t) (K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega t)) - K_2 K_3^2 R_0 \omega^2 \sin(K_3 \omega t) \sin(\omega t), \quad (7)$$

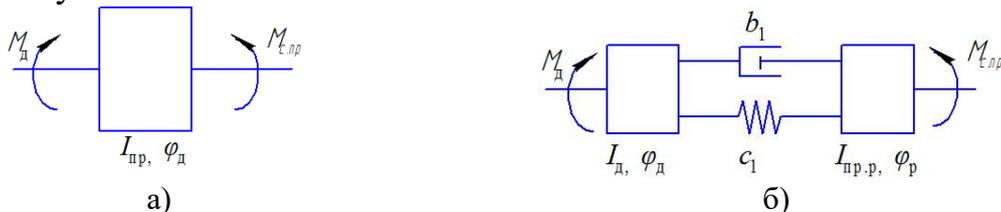
$$a_c(t) = \sqrt{a_{CX}^2(t) + a_{CY}^2(t)}, \quad (8)$$

бу ерда a_{CX} , a_{CY} - тезланиш векторининг координата ўқидаги проекцияси, a_c - ишлов берилётган материал масса маркази тезланишининг абсолют катталиги.



1-расм. Ишлов берилётган материал масса маркази ўзгарувчан (б) ротацион механизмнинг кинематик схемаси (а)

Ротацион механизм кинематик жуфтликларида ҳаракатланувчи кучларни аниқлаш ротацион лойиҳалашда муҳим аҳамиятга эга. Механизм ҳаракатланганда унинг турли звеноларига таъсир қилувчи кучни механизмнинг барча звеноларининг ҳаракатланиш қонунлари ва механизм звеноларига қўйилган ташқи кучлар ва моментлар маълум бўлганидагина ҳисоблаш мумкин.



2-расм. Бир ва икки массали бўлган ротацион юритмали майдалагичнинг динамик модели а) абсолют қаттиқ звеноли б) эластик муфтанинг эластиклигини ҳисобга олган ҳол

Звенолари абсолют қаттиқ деб олинган машина агрегат учун қуйидаги тенгламалар тузилди:

$$\frac{dM_\delta}{dt} = 2M_\kappa \omega_c - 2PM_\kappa \dot{\varphi}_1 u_{\delta 1} - \omega_c s_\kappa M_\delta, \quad (9)$$

$$J_{np} \ddot{\varphi}_1 + \frac{\dot{\varphi}_1^2}{2} \frac{dJ_{np}}{d\varphi_1} = M_{\delta.np.} - M_{c.np.}$$

Муфтанинг эластиклиги ҳисобга олинганда машина агрегатнинг математик модели қуйдаги кўринишда бўлади:

$$I_\delta \ddot{\varphi}_\delta = M_\delta + b_1 (\dot{\varphi}_p - \dot{\varphi}_\delta) + c_1 (\varphi_p - \varphi_\delta), \quad (10)$$

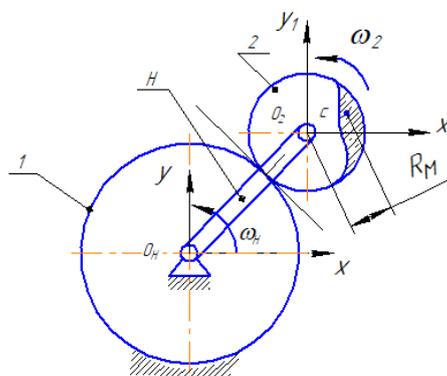
$$I_{np.p} \ddot{\varphi}_p = -b_1 (\dot{\varphi}_p - \dot{\varphi}_\delta) - c_1 (\varphi_p - \varphi_\delta) - M_{c.np.}$$

(1)-(10) тенгламалар компьютернинг MathCAD15 муҳитида амалга оширилган. Компьютерда олинган натижалар тахлили $r_0 = 0,5$ м, $m = 10$ кг бўлганида ишчи барабан валининг ўрта бурчак тезлигини 10 дан 100 c^{-1} гача ошиши билан ишчи барабан таянчларидаги реакция тебранишлари кенглиги 70,08 дан 5156,3 Н гача ўсишини кўрсатди.

Ҳисоблаш натижалари янги шарли майдалагичларни лойиҳалашда қўлланилади.

Диссертациянинг учинчи «**Минерал хом ашёни майдалагични ишчи органлари планетар юритмаларини кинематикаси ва динамикасини моделлаштириш**» бобида минерал хомашёни майдалагичнинг ишчи органлари планетар юритмаларининг кинематикаси ва динамикасини моделлаштириш бўйича натижалар келтирилган.

Минерал хомашёларни кичик миқдорларда майдалашда планетар майдалагичлар кенг қўлланилади. Бу майдалагичларнинг ишчи органлари планетар механизмларнинг сателлитлари билан боғлиқ. Планетар механизмларни тадқиқ қилиш ва лойиҳалаш назарияси етарли даражада тадқиқ қилинганлигини қайд этиш лозим. Сателлити ўзгарувчан инерция моментли планетар механизмлар адабиётларда деярли ёритилмаган. Шунинг учун ўзгарувчан инерция моментли планетар механизмларни лойиҳалаш масалалари планетар майдалагичларни лойиҳалаш методларини такомиллаштиришда муҳим аҳамиятга эга. Планетар майдалагичларда ишчи органи инерция моментининг ўзгарувчанлиги сателлит билан боғлиқ бўлиб, ишлов берилётган материал масса маркази радиус-векторининг ўзгарувчанлигидан келиб чиқади.



1- қўзғалмас марказий ғилдирак,
 H – етакловчи водила, 2 - сателлит,
 R_m - ишлов берилётган материал
 радиус-вектори, ω_n – водиланинг
 бурчак тезлиги, C – ишлов
 берилётган материал масса маркази
**3-расм. Ишлов берилётган материал
 масса маркази ўзгарувчан планетар
 механизмнинг кинематик схемаси**

Бу механизмда сателлитнинг бурчак кўчиши ишчи органи ичида ишлов берилаётган материал бўлган барабани ҳаракатга келтиради. Сателлитнинг бурчак тезлиги ишчи барабанинг бурчак тезлигига мос келади. Бу механизм биринчи даражали кўзгалувчанликка эга, яъни етакловчига бурчак тезликни бериб сателлитни бурчак тезлигини аниқлаш мумкин.

Кинематик схемаси 3-расмда келтирилган планетар майдалагични кўриб чиқамиз. Ишлов берилаётган материал масса марказининг кинематик параметрларини аниқлаш учун қуйидаги аналитик ифодалар таклиф қилинган:

$$x_c(t) = A \cos(\omega_H t) - R_m(t) \cos(u_{2H} \omega_H t), \quad (11)$$

$$y_c(t) = A \sin(\omega_H t) - R_m(t) \sin(u_{2H} \omega_H t), \quad (12)$$

бу ерда

$$R_m(t) = K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega_2 t), \quad A = (R_1 + R_2).$$

Виллис формуласи асосида $\omega_2 = \omega_H (1 - u_{21}^{(H)})$ ифодаланган, $R_m(t)$ - ишлов берилаётган материал масса марказининг ўзгарувчан радиуси; A - етакловчи водила узунлиги; R_1, R_2 - тишли ғилдиракларнинг айланани бўлувчи радиуслар; R_0 - ишлов берилаётган материал масса марказининг ўрта радиуси; K_1, K_2, K_3 - қиймати ишлов берилаётган материал таркибига ва барабанинг конструктив параметрларига боғлиқ бўлган доимий коэффициентлар; $x_c(t), y_c(t)$ - ишлов берилаётган материал масса марказининг координата ўқидаги проекциялари.

Ишлов берилаётган материал масса маркази тезлигининг координата ўқидаги проекциялари қуйидаги ифодалар билан аниқланди:

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_{cx}(t) = & u_{2H} \omega_H \sin(u_{2H} \omega_H t) (K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega_2 t)) - \\ & - A \omega_H \sin(\omega_H t) - K_2 K_3 R_0 \omega_2 \cos(u_{2H} \omega_H t), \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_{cy}(t) = & A \omega_H \cos(\omega_H t) - u_{2H} \omega_H \cos(u_{2H} \omega_H t) (K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega_2 t)) - \\ & - K_2 K_3 R_0 \omega_2 \cos(K_3 \omega_2 t) \sin(u_{2H} \omega_H t). \end{aligned} \quad (14)$$

Ишлов берилаётган материал масса марказининг абсолют тезлиги қуйидаги формула билан аниқланган:

$$\mathcal{G}_c = \sqrt{\mathcal{G}_{cx}^2 + \mathcal{G}_{cy}^2}. \quad (15)$$

Ишлов берилаётган материал масса маркази тезланишининг координата ўқидаги проекциялари қуйидаги ифодалар билан аниқланади:

$$\begin{aligned} a_{cx}(t) = & u_{2H}^2 \omega_H^2 \cos(u_{2H} \omega_H t) (K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega_2 t)) - A \omega_H^2 \cos(\omega_H t) - \\ & - K_2 K_3^2 R_0 \omega_2^2 \sin(K_3 \omega_2 t) \cos(u_{2H} \omega_H t) + 2 K_2 K_3 R_0 u_{2H} \omega_2 \omega_H \cos(K_3 \omega_2 t) \sin(u_{2H} \omega_H t), \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} a_{cy}(t) = & u_{2H}^2 \omega_H^2 \sin(u_{2H} \omega_H t) (K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega_2 t)) - A \omega_H^2 \sin(\omega_H t) + \\ & + K_2 K_3^2 R_0 \omega_2^2 \sin(K_3 \omega_2 t) \sin(u_{2H} \omega_H t) - K_2 K_3 R_0 u_{2H} \omega_2 \omega_H \cos(K_3 \omega_2 t) \cos(u_{2H} \omega_H t); \end{aligned} \quad (17)$$

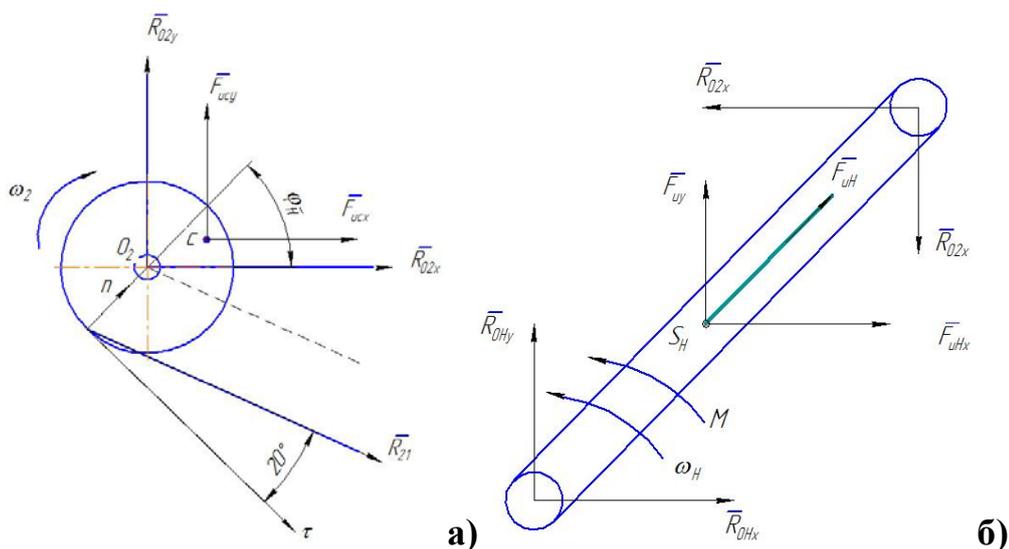
Ишлов берилаётган материал масса марказининг абсолют тезлиги қуйидаги формула билан аниқланган:

$$a_c = \sqrt{a_{cx}^2 + a_{cy}^2}. \quad (18)$$

(11) – (18) аналитик ифодалар компьютернинг MathCAD15 муҳитида амалга оширилган. Ҳисоблаш натижалари асосида $x_c(t)$, $y_c(t)$, $v_{cx}(t)$, $v_{cy}(t)$, $a_{cx}(t)$, $a_{cy}(t)$ ларнинг ўзгариш қонуниятлари сонли ва график кўринишда аниқланган.

Олинган натижалар таҳлили шуни кўрсатдики, етакловчининг водила бурчак тезлиги 20 дан 80 рад/с га ошиши билан ишлов берилаётган материал масса маркази тезлигининг абсолют катталигининг тебраниш кенглиги 28,54 дан 114,15 м/с га ўсади, худди шу вақтда абсолют тезланишнинг тебраниш катталиги 3983 дан 63730 м/с² га ортади. Шуни таъкидлаш керакки, ишлов берилаётган материал масса маркази тезланишининг бундай тебраниши ишлов берилаётган материални майдалаш жараёнининг сезиларли яхшиланишига олиб келади.

Қуйидаги куч ва момент таъсир қиладиган саттелит 2 ва Н етакловчи водилани (4-расм) кўриб чиқамиз:



4-расм. Саттелит (а) ва етакловчи водилага (б) таъсир кучларини ҳисоблаш схемаси

Бу ерда R_{21} - саттелит 2 га қўзғалмас қилдирак томонидан кўрсатилган ҳаракат реакцияси; R_{O_2x} , R_{O_2y} - саттелит таянчларига таъсир этувчи реакция кучининг ташкил этувчилари; F_{ucx} , F_{ucy} - ишлов берилаётган материал масса марказига таъсир этувчи инерция кучининг ташкил этувчилари; R_{2H}^x , R_{2H}^y - саттелит томонидан етакловчи водилага таъсир этувчи реакция кучининг ташкил этувчилари; R_{H2}^x , R_{H2}^y - етакловчи водила таянчларига таъсир этувчи реакция кучи ташкил этувчилари; F_{uHx} , F_{uHy} - етакловчи водиланинг масса марказига таъсир этувчи инерция кучининг ташкил этувчилари; M_y - етакловчи водилага таъсир қилувчи тенглаштирувчи момент, $\varphi_H = \omega_H t$. Бу ерда ω_H - етакловчи водиланинг бурчак тезлиги; t - вақт, $F_{ucx} = -m_2 a_{cx}$, $F_{ucy} = -m_2 a_{cy}$, $m_2 = m_6 + m_c$, m_2 - ишлов берилаётган материал массаси.

Инерция моменти ўзгарувчан сателлитли планетар механизм кинетостатикасини тавсифловчи тенгламалар системаси олинган:

$$\begin{cases} r_2 R_{21} \cos \alpha - F_{ucx} r \sin(1 + z_1/z_2) \varphi_H + F_{ucy} r \cos(1 + z_1/z_2) \varphi_H = 0, \\ R_{21} \cos \alpha \cos(\pi/2 - \varphi_H) - R_{21} \sin \alpha \cos \varphi_H + R_{o2x} + F_{ucx} = 0, \\ -R_{21} \cos \alpha \sin(\pi/2 - \varphi_H) + R_{21} \sin \alpha \sin \varphi_H + R_{o2y} + F_{ucy} = 0, \\ M_y + F_{uHx} H/2 \cos \varphi_H - F_{uHy} H/2 \sin \varphi_H - R_{oHx} H \cos \varphi_H + R_{oHy} H \sin \varphi_H = 0, \\ R_{oHx} - R_{o2x} + F_{uHx} = 0, \\ R_{oHy} - R_{o2y} + F_{uHy} = 0. \end{cases} \quad (19)$$

(19) алгебраик тенгламалар системаси компьютернинг MathCAD15 муҳити орқали ечилган.

Ҳисоблаш натижаларидан олий кинематик жуфтлик R_{21} сателлит таянчларига, водила етакловчига тўла реакция ташкил этувчиларга, водила етакловчи валида тенглаштирувчи моментга таъсир этувчи ташкил этувчилар ва тўлиқ реакцияларни ўзгариш қонуниятлари аниқланган.

Кўрилатган планетар механизм параметрларининг кинематик жуфтликларида юкланганлиги таъсирини ўрганиш мақсадида кинематик жуфтликларда тишли ғилдиракларнинг реакциялари етакловчининг бурчак тезлиги, ишлов берилатган материал m_2 массаси, ишлов берилатган материал масса марказининг ўртача радиус-вектори вариациясида аниқланган.

Планетар механизмларни лойиҳалашда олий кинематик жуфтликлардаги реакция катталиги муҳим аҳамиятга эга, чунки тишлар орсидаги контакт чизик бўйлаб амалга оширилади.

Шундай қилиб, олинган натижалар таҳлили қуйидаги хулосалар қилиш имконини берди:

1) етакловчи бурчак тезлигини ω_H нинг 5 дан 20 c^{-1} га ортиши билан R_{21} кўзгалмайдиган ғилдирак томонидан сателлитга таъсир реакцияси максимал катталиги $0,23 \cdot 10^4$ дан $3,78 \cdot 10^4$ H га ортади;

2) ишлов берилатган материал массасининг m_2 5 дан 20 кг га ортиши реакцияни R_{21} $0,788 \cdot 10^4$ дан $3,15 \cdot 10^4$ H ортишига олиб келади.

Майдалагич планетар юритмаси звенолари ҳаракатининг ҳақиқий қонунларини аниқлаш мақсадида ушбу система машина агрегати кўринишида кўриб чиқилган:

$$\begin{aligned} \frac{dM_o}{dt} &= 2M_k \omega_c - 2PM_k \dot{\varphi}_H u_{oH} - \omega_c s_k M_o, \\ J_{np.H} \ddot{\varphi}_H + \frac{\dot{\varphi}_H^2}{2} \frac{dJ_{np.H}}{d\varphi_H} &= M_{o,np.H} - M_{c,np.H}; \end{aligned} \quad (20)$$

бунда J_o – электродвигатель роторининг инерция моменти; $J_{np.ped}$ – айланувчи массанинг инерция моменти водила валига келтирилгани; J_H – водиланинг

айланиш ўқиға нисбатан инерция моменти; J_c – сателлитнинг ўз ўқиға нисбатан инерция моменти; $J_{p.б}$ – сателлит ўқиға нисбатан ишчи барабан инерция моменти; $u_{2H}^{(1)} = (1 + R_1/R_2)$ – водила вали ва сателлит валлари орасидаги узатиш нисбати; $m_c, m_{p.б}, m_{o.м}$ – мос равишда ишлов берилётган материал, ишчи барабан ва сателлит массалари.

Бунинг учун планетар бажарувчи механизмли машина агрегатининг бир массали динамик модели тузилган. Динамик модель тузишда механизмнинг ҳамма звенolari мутлақ қаттиқ деб қабул қилинган. Келтириш звеноси сифатида етакловчи вал ишлатилган. Тузилган динамик модел учун асинхрон электр двигателининг чизиқлаштирилган динамик характеристикасин ҳисобга олган ҳолда ушбу машина агрегатининг математик модели олинган. Юритманинг механик қисмини таърифлайдиган тенглама тузишда момент кўринишидаги машина агрегати ҳаракатининг таниқли тенгламаси қўлланилган. Кўрилатган машина агрегатининг ўзига хос хусусияти келтирилган инерция моментининг ўзгарувчанлигидир.

Олинган дифференциал тенгламалар системаси компьютернинг MathCAD 15 муҳитида амалга оширилган. Компьютерда ҳисоблаш натижалари асосида момент, асинхрон электродвигателда содир бўлган бурчак тезлиги ва тезланиши ўзгаришининг ҳақиқий қонунлари, шунингдек бу катталикларнинг тебраниш кенглиги аниқланган.

Ҳисоблаш натижаларига кўра узатиш муносабатлари $u_{oH} = 5$ дан $u_{oH} = 18,64$ га ортиши билан электродвигатель ротори валида ҳаракатланувчи момент тебраниши кенглиги 1,42 дан 4,82 Нм га ортади. Шу билан бирга водила етакловчи вали ω_H бурчак тезлиги тебраниши кенглиги 0,32 дан $1,07 \text{ c}^{-1}$ га ортади, водила етакловчининг ε_H бурчак тезланиши тебраниши кенглиги эса 8,24 дан $27,8 \text{ c}^{-2}$ га мос равишда ортади.

Планетар бажарувчи механизмли машина агрегатининг кинематик ва динамик параметрларини қиёсий таҳлили ишчи барабан билан боғланган сателлит инерция моментининг ўзгарувчанлиги сателлит инерция моменти ўзгармас бўлган планетар бажарувчи механизмга нисбатан кинематикаси ва динамикасига жиддий таъсир кўрсатади:

$$J_{np.H} = J_{\partial} u_{oH}^2 + J_{np.ped} + J_H + (m_c + m_{p.б} + m_{o.м})(r_1 + r_2)^2 + J_c (u_{2H}^1)^2 + J_{p.б} (u_{2H}^1)^2 + m_{o.м} R_M(t) (u_{2H}^1)^2, \quad (21)$$

$$\frac{dJ_{np.H}}{d\phi_H} = 2K_2 K_3 R_0 u_{2H} \cos(K_3 u_{2H} \phi_H) (K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 u_{2H} \phi_H)). \quad (22)$$

Шундай қилиб, сателлитнинг инерция моменти ўзгарувчан бу планетар механизми одатдаги планетар механизмдан фарқли равишда келтирилган, ўзгарувчан инерция моментига эга. Бу хусусиятни машина агрегати кўринишидаги планетар майдалагичларнинг динамикасини тадқиқ қилишда эътиборга олиш зарур.

Диссертациянинг тўртинчи «**Минерал хомашё майдалагичлари ишчи органлари юритмаларининг истиқболли конструкцияларини экспериментал тадқиқ қилиш ва ишлаб чиқиш**» бобида дисмембратор роторини статик мувозанатлаштириш, минераль хомашёни универсал майдалагични лойиҳалаш, шунингдек дисмембраторларни замонивайлиштириш масалалари кўрилган.

Роторни статик мувозанатлаштириш маълум методика бўйича амалга оширилган.

Дисмембратор роторини статик мувозанатлаш натижалари бўйича қўшимча масса $m=250$ гр ва қўшимча массани ўрнатиш радиуси 300 мм аниқланган.

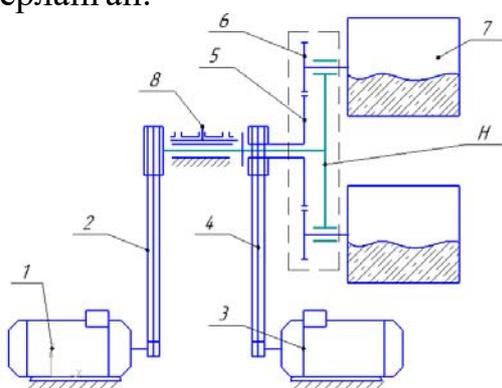
Планетар майдалагичларнинг камчиликларини ҳисобга олган ҳолда минерал хомашё майдалагични 6-расмда келтирилган универсал конструкцияси таклиф қилинган.



5-расм. Дисмембратор ротори

Кўрилаётган конструкциянинг ўзига хос хусусияти, бу унинг оддий шарли майдалагич сифатида ҳамда планетар майдалагич сифатида ишлай олишидир. Бундан ташқари юритманинг планетар қисми бир ёки икки даражали ҳаракатланишга эга.

Машина ва механизмлар назариясининг маълум методлари асосида таклиф қилинаётган универсал майдалагич параметрларини, хусусан, тишли ғилдирақларнинг тишлари сони, парметрлари, шунингдек универсал планетар майдалагич звенолари орасидаги узатиш муносабатларининг синтези бажарилган. Универсал планетар майдалагичнинг ишчи чизмалари ишлаб чиқилган. Юқорида айтилганларни ҳисобга олган ҳолда универсал планетар майдалагичнинг 6-расмда кўрсатилган лаборатория намунаси тайёрланган.



а)



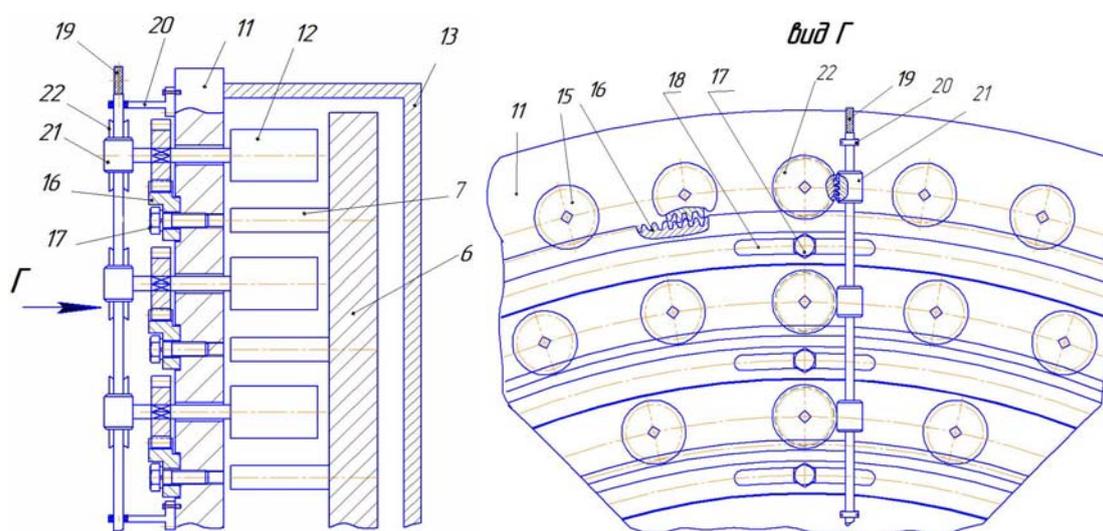
б)

1 - планетар механизм етакловчиси юритмаси учун электродвигатель, 2- етакловчи юритмаси учун тасмали узатма, 3 - марказий ҳаракатланадиган ғилдирак юритмаси 5 учун электродвигатель, 4 - марказий ғилдирак юритмас 5 учун тасмали узатма, Н – вода, 6 - сателлит, 7 - ишчи барабан, 8 - ишчи барабан ишлаш режимини ўзгартирувчи

6-расм. Универсал планетар майдалагич а) ишчи йиғма чизмаси б) тайёрланган лаборатория намунаси

Ушбу лаборатория намунасини синовдан ўтказишда, бир хил хажмда олинган минерал хомашёни майдалашда майдалаш вақтини қисқариши ҳисобига унинг энергия истеъмоли оддий шарли майдалагичга нисбатан икки баробар камлигини кўрсатди.

Ротацион турдаги юритмали майдалагичларни майдаланаётган материал сифатини яхшилаш имконини берадиган дисмембратор конструкциясини модернизациялаш учун 7-расмда келтирилган янги конструкцияси таклиф этилди.



7-расм. Ротацион типдаги минерал хомашё майдалагич ишчи органининг таклиф қилинаётган янги конструкцияси

Бу конструкция майдаланаётган материал характеристикаси бўйича майдалаш даражасини таъминловчи ротацион типдаги майдалагичда майдалашнинг технологик жараёнини тўхтатмасдан кўзгалмас диск бармоқлари орасидаги тирқиш катталигини бошқаришни енгиллаштириш имконини беради. Бу конструкция Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал Мулк Агентлиги томонидан берилган фойдали модель учун патент (№FAP 01328) билан ҳимояланган.

ХУЛОСА

«Минерал хомашёларни майдалайдиган ротацион турдаги юритмаларнинг кинематикаси ва динамикасини моделлаштириш» мавзuidaги техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича ўтказилган тадқиқот натижалари қуйидагилардан иборат:

1. Майдалаш механизмларини ротацион турдаги юритмаларнинг назарий асослари ва янги қурилмаларини ишлаб чиқишда замонавий компьютер дастурларидан фойдаланишга асосланди. Ушбу натижа технологик жараёнларга мос янги авлод ротацион механизм қурилмаларини ишлаб чиқишда, ҳисоблаш усулларини енгиллаштиришга хизмат қилади.

2. Ротацион турдаги майдалагичнинг оддий ҳаракатланувчи ишчи органининг масса маркази инерция радиуси ўзгарувчан бўлган ҳол учун

кинематик ва динамик моделлари ишлаб чиқилди. Ҳисоблашлар асосида барабан ишчи органи таянчларидаги реакциялар қиймати 70,08 дан 5156,3 H гача ортиши аниқланди. Ушбу натижалар ротацион юритмали механизм звеноларини динамик мустақамликка ҳисоблаш, таянч подшипникларини аниқ танлаш имконини беради.

3. Планетар механизм ишчи органи учун сателлитга боғланган ҳолда ишлов берилётган материал масса марказининг кинематик параметрларини аниқлаш учун аналитик ифодалар ишлаб чиқилган. Натижалар таҳлили водиланинг бурчак тезлиги 20 дан 80 c^{-1} га ортиши билан ишлов берилётган материал масса маркази тезлиги абсолют қиймати 28,54 дан 114,15 m/c гача ўсишини, шу билан бирга тезланиш абсолют қиймати 3983 дан 63730 m/c^2 га ортишини кўрсатди. Тезланишнинг бундай ўзгариши майдалаш вақтини қисқартириб, хомашёни майдалаш жараёни сифатини яхшилашга олиб келади.

4. Радиус-вектори ўзгарувчан ишчи органли планетар механизм кинетостатикасининг математик модели тузилди. Ҳисоблаш асосида водиланинг бурчак тезлиги 5 дан 20 c^{-1} гача ортиши билан сателлитга қўзғалмас ғилдирак томонидан олий кинематик жуфтларида реакциясининг максимал қиймати $0,23 \cdot 10^4$ дан $3,78 \cdot 10^4 H$ га ортиши аниқланди. Бу натижа билан звенолар мустақамликка ҳисобланади ва таянч подшипниклари аниқ танланади.

5. Ротацион турдаги диссMEMБРАТОР ишчи органида минерал хомашёни майдалашда мувозанатлаш талаб қилинади. Бунда ишчи орган вазни 75 кг бўлганда, 250 gr массали дебаланс айланиш ўқидан 300 mm радиус масофада аниқланган нуқтага маҳкамланиб, мувозанатлашга эришилди.

6. Минерал хомашёларни майдалашда рационал планетар юритмали майдалагич конструкцияси ишлаб чиқилди. Ушбу конструкция мавжуд ротацион юритмали планетар майдалагичларнинг камчиликларини бартараф этишга имкон беради. Ушбу конструкциядан фойдаланиш тоғ-кон рудаларини бойитишга тайёрлаш учун майдалаш жараёнида вақт, металл ва энергия тежамкорлигини таъминлайди.

7. Ўзбекистон Республикаси Давлат геология қўмитаси тасарруфидаги «Минерал ресурслар институти» Давлат корхонасининг лабораториясида тажриба синовлари ўтказилган универсал планетар майдалагич конструкциясининг параметрлари асосланди. Қурилманинг оддий ва мураккаб ҳаракатида ишлаш режимлари таққосланиб, рационал режимлари аниқланди. Натижада майдалаш жараёнларида фойдали иш коэффициентини 7-10% га ортди. Битта универсал планетар майдалагич қурилмасининг кутилаётган йиллик умумий иқтисодий самарадорлиги 50 млн. сўмни ташкил этди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.28.02.2018.Т.03.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ И НАЦИОНАЛЬНОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

НЕМАТОВ ЭРКИНЖОН ХАМРОЕВИЧ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ ПРИВОДОВ
РОТАЦИОННОГО ТИПА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ МИНЕРАЛЬНОГО
СЫРЬЯ**

05.02.02 – Теория механизмов и машин, машиноведение и детали машин

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам**

Ташкент – 2019

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №В2017.3.PhD/Т360.

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 «Ziyounet» по адресу www.ziyounet.uz.

Научный руководитель:	Каримов Расул Исмокович доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Алимухамедов Шавкат Пирмухамедович доктор технических наук, профессор Умурзаков Акрамжон Хакимович доктор технических наук, доцент
Ведущая организация:	Институт механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т. Уразбаева

Защита диссертации состоится «12» октября 2019 года в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.28.02.2018.Т.03.04 при Ташкентском государственном техническом и национальном университетах. Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская 2. Тел./факс: (99871) 246-46-00 / 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано №109). (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-03-41).

Автореферат диссертации разослан «28» сентября 2019 г.
(реестр протокола рассылки №98 от «28» сентября 2019 г.)

К.А. Каримов
Председатель Научного
совета по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

Н.Д. Тураходжаев
Ученый секретарь Научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

А.А. Ризаев
Заместитель председателя Научного семинара
при Научном совете по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире развитие машиностроительной промышленности, создание для всех отраслей производства высоких технологий, новых установок механизмов и машин, соответствующих мировым стандартам, проведение теоретических исследований, решение актуальных научно-практических задач приобретают особое значение. Вместе с тем, одной из важных задач современной теории механизмов и машин является моделирование кинематики и динамики приводов ротационного типа. В этом отношении в ряде научно-исследовательских центров развитых стран, в том числе Англии, Швеции, Китае, России, Индии и других уделяется особое внимание на проектирование приводов ротационного типа с переменным моментом инерции. Актуальность таких задач определяется сложностью математических моделей, при решении которых необходимо использование методов и средств современных компьютерных технологий. Международная организация (IFToMM) по механизмам и машинам в своих решениях неоднократно отмечала о необходимости развития научных исследований по приводам ротационного типа. В современных технологических машинах широко используются ротационные приводы, звенья которых совершают сложное движение. Уделяется особое внимание на проведение исследований этих приводов с учетом переменности момента инерции рабочего органа, связанного с технологическими процессами.

В мире широко применяются современные машины ротационного типа для измельчения минерального сырья. В широком аспекте ведутся исследования по созданию конструкций ротационного типа, а также методов расчета машин и механизмов. Применению этих механизмов в технологических машинах уделяется особое внимание. Считаются необходимым разработку высокопроизводительных измельчительных машин с улучшенными технологическими показателями, создание новых поколений техники и технологий по переработке минерального сырья, обеспечение рациональных режимов и показателей работы приобретают важное значение в горной, пищевой и строительной промышленности, в фармацевтике и других отраслях.

В нашей Республике проводится ряд мероприятий по разработке новых теоретических методов расчета и созданию приводных механизмов ротационного типа, а также по развитию дальнейших научных в этом направлении исследований. В рамках Стратегии действий развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах определены задачи, в частности по «...повышению конкурентоспособности национальной экономики, уменьшению расходов энергии и ресурсов, широкому внедрению энергосберегающих технологий»¹. В связи с этим важными задачами

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

являются разработка новой конструкции перспективного планетарного привода измельчителя минерального сырья, определение основных конструктивных параметров для изготовления деталей планетарного привода измельчителя минерального сырья с ресурсосберегающими узлами, снижение энергопотребления, создание технологии изготовления новых конструкций узлов.

Настоящее диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан ПП №4947 от 7 февраля 2017 года «Стратегия действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах», ПП №2698 от 26 декабря 2016 года «О мерах по дальнейшей реализации перспективных проектов локализации производства готовых видов продукции, комплектующих изделий и материалов на 2017-2019 годы», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики по направлению II. «Энергетика, энергия и энергосбережение».

Степень изученности проблемы. В мире учеными проведены исследования по развитию структуры, кинематики и динамики ротационных механизмов. Ведущие ученые мира занимаются по направлению «Теория машин и механизмов». В частности David Irwin в своих научных работах разработал динамическую и математическую модели одномассового ротационного механизма и рассчитал нагрузки, действующие на валы этих механизмов. А. Trzynadlowski в своей работе исследовал ротационные механизмы в виде машинного агрегата. В качестве привода машинного агрегата был применен асинхронный электродвигатель. Были использованы статические и динамические характеристики асинхронного электродвигателя. Шведскими учеными L. Wanbamar, G.J. Lipovski и другими была рассмотрена динамика двухмассовых ротационных механизмов. Ими был принят неизменным движущий момент, действующий на одну массу. Кроме этого, были также разработаны методы управления ротационными механизмами. Индийскими учеными N.K. Sinba, M.M. Gupta были разработаны кинематические и динамические модели ротационных систем, в которых ведомое звено движется вокруг оси ведущего звена. Разработаны программы для вычисления на компьютере математических моделей. В результате определены скорость, ускорение, силы реакции в кинематических парах звеньев механизмов. Китайские ученые Ni Xi, Tu Ji и другие в своих научных работах проанализировали кинематику и динамику ротационных механизмов, разработав динамическую и математическую модели для многомассовых ротационных систем, решили задачи равновесия ротационных систем.

Российским ученым И.И. Артоболевским приведены кинематические схемы многих ротационных механизмов и области применения этих

механизмов. Ученым разработана кинематика и динамика предложенных механизмов. С.Н. Кожевниковым разработана общая теория многомассовых ротационных механизмов. В этих работах приведены методы разработки динамических и математических моделей. Определены скорости и ускорения каждой массы и крутящие моменты между массами. Научные результаты применены в проектировании и производстве современных прокатных станков. А.П. Бессонов развил исследования в области динамики ротационных машин с переменной массой звеньев с одной и двумя степенями свободы, решил задачи динамики машинных агрегатов. И.И. Вульфсон посвятив свои научные работы динамике одно- и многомассовых ротационных механизмов, разработал динамическую и математическую модели ротационных механизмов. Составил математические выражения для определения частоты многомассовых ротационных механизмов. Результаты научных исследований были внедрены в проектирование и производство швейных машин в легкой промышленности.

В Республике Узбекистан ведутся интенсивные исследования по кинематике и динамике механизмов ротационного типа. При этом большой вклад в развитие этого направления внесли научные исследования, проведенные академиком Х.Х. Усманходжаевым и его учениками - проф. Г.С. Кузибаевым, Ш.У. Рахматкариевым, А. Жураевым, Ш.П. Алимухаммедовым, К.А. Каримовым, Р.И. Каримовым, А.А. Ризаевым, Г.А. Бахадировым и др.

В настоящее время в мировой науке по теории механизмов и машин представлены достаточно в полной степени научные исследования в области машинных агрегатов, рабочие органы которых совершают простые и сложные движения. Однако следует отметить, что теория машинных агрегатов, рабочие органы которых совершают ротационные движения и радиус-вектор центра масс которых является переменным, имеют закономерности переменных моментов инерции двужущих ротационных механизмов, которые исследованы в недостаточной степени. Практически не получили освещение закономерности изменений перемещения, скорости, ускорений машин, радиус-вектор центра масс которых является переменным. Особенно это в значительной степени касается планетарных приводов рабочих органов машинных агрегатов ротационных механизмов. Поэтому на сегодняшний день считается важным проведение теоретических и практических исследований по разработке ротационных конструкций, а также расчета на основе параметров рабочих органов новых конструкций и проведение обоснованных научных исследований.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ прикладных проектов Ташкентского государственного технического университета А-13-227 «Разработка и создание высокопроизводительного и экспортоориентированного дисмембратора (машин) для получения высокодисперсных

ингредиентов из минерального сырья и промышленных отходов для промышленного производства композиционных материалов различного назначения» (2006-2008 гг.) и хозяйственного договора «Разработка и изготовление кулачковых копиров и чашечного резца для нарезания на токарно-винторезном станке винтовых калибров бандажных валков с целью прокатки шаров диаметром в 70 мм». (АО «Узметкомбинат», 2017–2019 гг.).

Целью исследования является моделирование кинематики и динамики приводов ротационного типа измельчителей минерального сырья, усовершенствование методов расчёта приводов рабочих органов технологических машин, совершающих простые и сложные движения при учёте переменности координаты центра массы обрабатываемого материала, разработка конструкции и создание промышленного образца планетарного привода ротационной мельницы.

Задачи исследования:

- разработка аналитических выражений для определения кинематических параметров центра масс обрабатываемого материала для рабочего органа, совершающего простые и сложные движения применительно к измельчителям минерального сырья;

- изучение аналитических выражений на ЭВМ, установление законов движения центра масс обрабатываемого материала и анализ факторов, влияющих на эти закономерности;

- обоснование и создание математических моделей кинестатики приводов рабочего органа ротационного типа при переменности радиус-вектора центра масс обрабатываемого материала;

- разработка программ для реализации полученных аналитических выражений на ЭВМ и установление закономерностей изменения реакции кинематических пар привода рабочего органа, совершающего простое движение, а также планетарных приводов с одной и двумя степенями подвижности;

- разработка способа балансировки дисмембратора ротационного типа с простым движением рабочего органа;

- разработка конструкции измельчителей минерального сырья с планетарным приводом рабочего органа.

Объектом исследования являются приводы ротационного типа измельчителей минерального сырья.

Предметом исследования являются модели кинематики и динамики приводов ротационного типа с простыми и сложными движениями рабочих органов при переменном радиус-векторе центра масс обрабатываемого материала.

Методы исследования. В ходе исследования использованы методы теоретической механики, теории механизмов и машин, математического моделирования, компьютерного программирования в среде Mathcad15 и стендовых испытаний.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствованы аналитические выражения для определения кинематических параметров центра масс обрабатываемого материала для рабочего органа, совершающего простые и сложные движения;

созданы кинестатические уравнения закономерностей изменений радиуса-вектора центра масс обрабатываемого материала приводов рабочего органа измельчителя ротационного типа;

разработана программа для реализации полученных аналитических выражений на компьютере, разработаны методы определения закономерностей изменений реакций в кинематических парах планетарных приводов с одной и двумя степенями подвижности, а также привода рабочего органа, совершающего простое движение;

разработаны условия равновесия дисмембратора ротационного типа с простым и быстрым движением рабочего органа.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

в результате проведённых научных исследований разработана конструкция, изготовлен и испытан в лабораторных условиях опытный образец измельчителя минерального сырья с планетарным приводом рабочего органа;

усовершенствована конструкция измельчителя с приводом ротационного типа, которая защищена патентами на полезную модель Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (FAP 00716 и FAP 01328);

создана конструкция универсального планетарного измельчителя, качественно измельчающего руду для подготовки её к обогащению в горнодобывающей промышленности.

Достоверность результатов исследования. Достоверность полученных результатов подтверждается положительными результатами лабораторных испытаний разработанной на основе теоретических и практических исследований конструкции планетарного привода, измельчителя минерального сырья, согласием полученных результатов на разработанных программ и стандартных приборах измерения.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в том, что смоделирована кинематика и динамика приводов ротационного типа с простыми и сложными движениями ведомого звена с переменным радиус-вектором центра масс и разработаны программы расчета для определения кинематических характеристик рабочего органа ротационного привода.

Практическая значимость исследований обусловлена разработкой усовершенствованной конструкции измельчителя минерального сырья, защищенной двумя патентами на полезную модель Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов исследования по моделированию кинематики и динамики ротационных приводов механизмов для мельницы, направленных на

разработку нового вида привода и повышение производительности выпуска помольного сырья:

усовершенствованная конструкция универсального измельчителя для измельчения руды внедрена в Государственном предприятии «Институт минеральных ресурсов» (справка Госкомгеологии Республики Узбекистан №05/11 от 27 мая 2019 года). В результате универсальный измельчитель минерального сырья уменьшил время измельчения руды в 2 раза;

метод перевода результатов испытания конструкции универсального планетарного измельчителя для подготовки руды к ее обогащению внедрена в Государственном предприятии «Институт минеральных ресурсов» для разработки новых измельчителей ротационного типа (справка Госкомгеологии Республики Узбекистан №05/11 от 27 мая 2019 года). В результате этим методом достигнута экономия электроэнергии на 40-45% в процессе измельчения руды;

метод применения преобразователя частоты в универсальном планетарном измельчителе внедрена в Государственном предприятии «Институт минеральных ресурсов» для разработки новых измельчителей ротационного типа (справка Госкомгеологии Республики Узбекистан №05/11 от 27 мая 2019 года). В результате этим методом достигнут контроль кинематических и динамических характеристик измельчителя.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены на 10 научно-практических конференциях, в том числе на 3 международных и 7 республиканских.

Публикация результатов исследования. По теме исследования опубликованы 19 научных трудов: 6 научных статей, в том числе 5 в республиканских и 1 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации, получены 2 патента на полезные модели и 1 свидетельство на программный продукт, выданные Агентством по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 115 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 теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены перечень внедрений результатов исследования в практику, сведения об опубликованных работах и структура диссертации.

В первой главе «Состояние проблемы и задачи исследования» диссертации приведен обзор работ по научным исследованиям, посвящённых кинематике и динамике ротационных механизмов с простыми и сложными движениями звеньев, а также обзор работ по конструкциям измельчителей минерального сырья.

Анализ научных исследований по ротационным приводам рабочих органов технологических машин, совершающих простые и сложные движения показал, что несмотря на значительное количество работ по этим приводам, такие задачи как определение кинематических параметров рабочих органов, радиусы-векторы центра масс которых являются переменные, практически не рассмотрены. Не исследованы задачи кинестатики этих ротационных систем. Требуется более детальное изучение этих приводов в составе машинного агрегата.

Вторая глава «Моделирование кинематики и динамики приводов рабочих органов измельчителей минерального сырья» диссертации посвящена разработке аналитических выражений для определения перемещений, скоростей и ускорений центра масс обрабатываемого материала, определению перемещений, скоростей и ускорений центра масс обрабатываемого материала, нагруженности звеньев привода рабочего органа измельчителя минерального сырья, исследованию динамики машинного агрегата с исполнительным механизмом ротационного типа.

В настоящее время в технологических машинах строительной, горной промышленности и других отраслей производства широкое применение получили мельницы ротационного типа. Необходимо отметить, что ротационные механизмы исследованы в достаточной степени. Однако, в ротационных механизмах, в которых рабочие органы имеют переменный момент инерции, исследованы в недостаточной степени. Это объясняется тем, что радиус центра масс изменяется, это приводит к необходимости создания сложных математических моделей. В литературе по мельницам ротационного типа, как правило, переменность момента инерции практически не учитывается.

Для определения проекций центра масс на оси координат обрабатываемого материала ротационной мельницы с простым движением рабочего органа получены следующие аналитические выражения:

$$x_c(t) = R_m(t) \cos(\omega t), \quad (1)$$

$$y_c(t) = R_m(t) \sin(\omega t), \quad (2)$$

где $x_c(t)$, $y_c(t)$ – проекции центра масс обрабатываемого материала на оси координат; $R_m(t)$ – переменный радиус центра масс обрабатываемого материала: зависящие от конструктивных параметров рабочего барабана, $R_m(t) = K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega t)$; R_0 – средней радиус центра масс обрабатываемого материала; ω – угловая скорость рабочего барабана; K_1, K_2, K_3 – постоянные коэффициенты.

$$\vartheta_{CX}(t) = K_2 K_3 R_0 \omega \cos(K_3 \omega t) \cos(\omega t) - \omega \sin(\omega t) (K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega t)), \quad (3)$$

$$\mathcal{G}_{CY}(t) = \omega \cos(\omega t)(K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega t)) + K_2 K_3 R_0 \omega \cos(K_3 \omega t) \sin(\omega t), \quad (4)$$

$$\mathcal{G}_c(t) = \sqrt{\mathcal{G}_{CX}^2(t) + \mathcal{G}_{CY}^2(t)}, \quad (5)$$

где \mathcal{G}_{CX} , \mathcal{G}_{CY} - проекции скоростей на оси координат, \mathcal{G}_c - абсолютная величина скорости центра масс обрабатываемого материала;

$$a_{CX}(t) = \omega^2 \cos(\omega t)(K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega t)) - 2K_2 K_3 R_0 \omega^2 \cos(K_3 \omega t) \sin(\omega t) - K_2 K_3^2 R_0 \omega^2 \sin(K_3 \omega t) \cos(\omega t), \quad (6)$$

$$a_{CY}(t) = 2K_2 K_3 R_0 \omega^2 \cos(K_3 \omega t) \cos(\omega t) - \omega^2 \sin(\omega t)(K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega t) - K_2 K_3^2 R_0 \omega^2 \sin(K_3 \omega t) \sin(\omega t)), \quad (7)$$

$$a_c(t) = \sqrt{a_{CX}^2(t) + a_{CY}^2(t)}, \quad (8)$$

где a_{CX} , a_{CY} - проекции вектора ускорения на оси координат; a_c - абсолютная величина ускорения центра масс обрабатываемого материала.

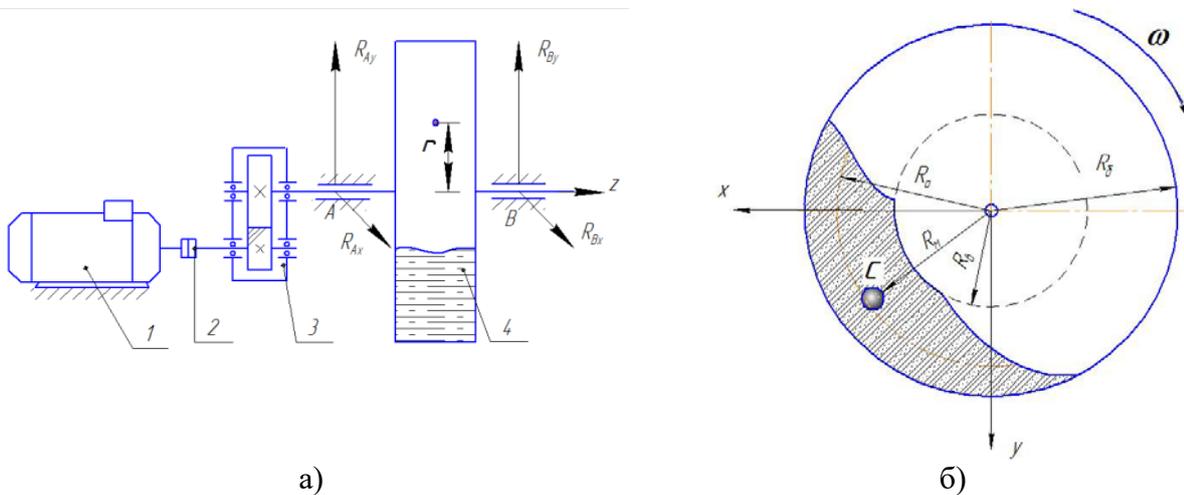


Рис. 1. Кинематическая схема (а) ротационного механизма с переменным радиус-вектором центра масс обрабатываемого материала (б)

Определение сил, действующих в кинематических парах ротационного механизма, имеет важное значение для его рационального проектирования. Расчёт сил, действующих на различные звенья механизма при его движении, может быть сделан в том случае, если известны законы движения всех звеньев механизма и внешних сил и моментов, приложенных к звеньям механизма.

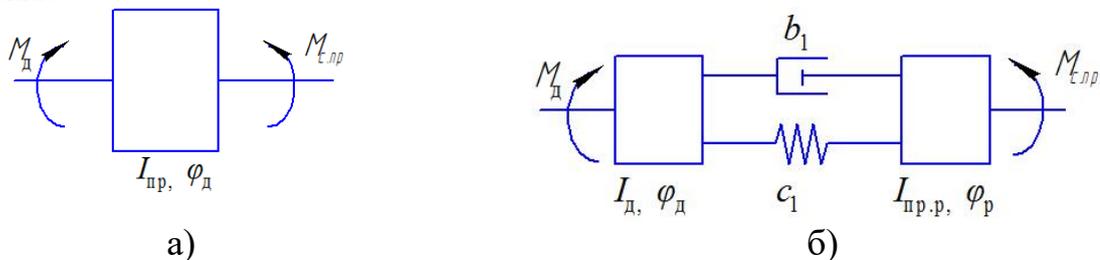


Рис. 2. Одно и двухмассовые динамические модели дисмембратора при абсолютно жестких звеньях (а); при учёте упругости муфты (б)

Для машинного агрегата при абсолютно жестких звеньях составлены следующие уравнения:

$$\frac{dM_{\phi}}{dt} = 2M_{\kappa}\omega_c - 2PM_{\kappa}\dot{\phi}_1 u_{\phi 1} - \omega_c s_{\kappa} M_{\phi},$$

$$J_{np}\ddot{\phi}_1 + \frac{\dot{\phi}_1^2}{2} \frac{dJ_{np}}{d\phi_1} = M_{\phi,np} - M_{c,np}.$$
(9)

Математическая модель машинного агрегата при учёте упругости муфты имеет следующий вид:

$$I_{\phi}\ddot{\phi}_{\phi} = M_{\phi} + b_1(\dot{\phi}_p - \dot{\phi}_{\phi}) + c_1(\phi_p - \phi_{\phi}),$$

$$I_{np,p}\ddot{\phi}_p = -b_1(\dot{\phi}_p - \dot{\phi}_{\phi}) - c_1(\phi_p - \phi_{\phi}) - M_{c,np}.$$
(10)

Уравнения (1)-(10) были реализованы на компьютере в среде MathCAD 15. Анализ результатов расчетов на компьютере показал, что при $r_0 = 0,5$ м, $m = 10$ кг с увеличением средней угловой скорости вала рабочего барабана с 10 до 100 c^{-1} размах колебаний реакций в опорах рабочего барабана возрастает с 70,08 до 5156,3 Н.

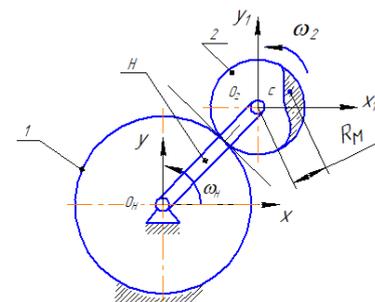
Результаты расчетов могут быть использованы при проектировании новых шаровых мельниц.

В третьей главе «**Моделирование кинематики и динамики планетарных приводов рабочих органов измельчителей минерального сырья**» диссертации приведены результаты по моделированию кинематики и динамики планетарных приводов рабочих органов измельчителей минерального сырья.

Для измельчения минерального сырья в небольших порциях широко используются планетарные мельницы. Рабочий орган в этих мельницах связан с сателлитом планетарного механизма. Следует отметить, что теории исследования и проектирования планетарных механизмов исследованы в достаточной степени. Планетарные механизмы с переменным моментом инерции сателлита в литературе практически не освещены. Поэтому вопросы проектирования планетарных механизмов с переменным моментом инерции имеют важное значение для усовершенствования методов проектирования планетарных мельниц. В планетарных мельницах переменность момента инерции рабочего органа, связанного с сателлитом, возникает из-за переменности радиус-вектора центра масс обрабатываемого материала.

Рассмотрим планетарную мельницу, кинематическая схема которой приведена на рис. 3.

В данном механизме угловое перемещение сателлита 2 приводит в движение рабочий барабан, внутри



1 - неподвижное центральное колесо, Н - водило, 2 - сателлит,
 R_m - радиус-вектора обрабатываемого материала,
 ω_n - угловая скорость водила,
 С - центр масс обрабатываемого материала.

Рис. 3. Кинематическая схема планетарного механизма с переменным центром масс обрабатываемого материала

которого находится обрабатываемый материал. Угловая скорость сателлита 2 соответствует угловой скорости рабочего барабана. Данный механизм обладает одной степенью подвижности, т.е. задавая угловую скорость водила можно однозначно определить угловую скорость сателлита.

Для определения кинематических параметров центра масс обрабатываемого материала предложены следующие аналитические выражения

$$x_c(t) = A \cos(\omega_H t) - R_m(t) \cos(u_{2H} \omega_H t), \quad (11)$$

$$y_c(t) = A \sin(\omega_H t) - R_m(t) \sin(u_{2H} \omega_H t), \quad (12)$$

где

$$R_m(t) = K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega_2 t), \quad A = (R_1 + R_2);$$

$\omega_2 = \omega_H (1 - u_{21}^{(H)})$ на основе формулы Виллиса, $R_m(t)$ - переменный радиус центра масс обрабатываемого материала; A - длина водила; R_1, R_2 - радиусы делительных окружностей зубчатых колёс; R_0 - средний радиус центра масс обрабатываемого материала; K_1, K_2, K_3 - постоянные коэффициенты, значения которых зависят от состава обрабатываемого материала и конструктивных параметров барабана; $x_c(t), y_c(t)$ - проекции центра масс обрабатываемого материала на оси координат.

Проекция скорости центра масс обрабатываемого материала на оси координат определяли по следующим выражениям:

$$\mathcal{G}_{cx}(t) = u_{2H} \omega_H \sin(u_{2H} \omega_H t) (K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega_2 t)) - A \omega_H \sin(\omega_H t) - K_2 K_3 R_0 \omega_2 \cos(u_{2H} \omega_H t), \quad (13)$$

$$\mathcal{G}_{cy}(t) = A \omega_H \cos(\omega_H t) - u_{2H} \omega_H \cos(u_{2H} \omega_H t) (K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega_2 t)) - K_2 K_3 R_0 \omega_2 \cos(K_3 \omega_2 t) \sin(u_{2H} \omega_H t). \quad (14)$$

Абсолютная скорость центра масс обрабатываемого материала определялась по формуле:

$$\mathcal{G}_c = \sqrt{\mathcal{G}_{cx}^2 + \mathcal{G}_{cy}^2}. \quad (15)$$

Проекция ускорения центра масс обрабатываемого материала на оси координат определялись по следующим выражениям:

$$a_{cx}(t) = u_{2H}^2 \omega_H^2 \cos(u_{2H} \omega_H t) (K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega_2 t)) - A \omega_H^2 \cos(\omega_H t) - K_2 K_3^2 R_0 \omega_2^2 \sin(K_3 \omega_2 t) \cos(u_{2H} \omega_H t) + 2 K_2 K_3 R_0 u_{2H} \omega_2 \omega_H \cos(K_3 \omega_2 t) \sin(u_{2H} \omega_H t), \quad (16)$$

$$a_{cy}(t) = u_{2H}^2 \omega_H^2 \sin(u_{2H} \omega_H t) (K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 \omega_2 t)) - A \omega_H^2 \sin(\omega_H t) + K_2 K_3^2 R_0 \omega_2^2 \sin(K_3 \omega_2 t) \sin(u_{2H} \omega_H t) - 2 K_2 K_3 R_0 u_{2H} \omega_2 \omega_H \cos(K_3 \omega_2 t) \cos(u_{2H} \omega_H t). \quad (17)$$

Абсолютное ускорение центра масс обрабатываемого материала определялось по формуле:

$$a_c = \sqrt{a_{cx}^2 + a_{cy}^2}. \quad (18)$$

Аналитические выражения (11)-(18) были реализованы на компьютере в среде MathCAD 15. По результатам расчётов были определены закономерности изменений $x_c(t)$, $y_c(t)$, $\mathcal{G}_{cx}(t)$, $\mathcal{G}_{cy}(t)$, \mathcal{G}_c , $a_{cx}(t)$, $a_{cy}(t)$, a_c как в численной так и в графических формах.

Анализ полученных результатов показал, что с увеличением угловой скорости водила с 20 до 80 rad/c размах колебаний абсолютных величин скорости центра масс обрабатываемого материала возрастает с 28,54 до 114,15 m/c , в то же время размах колебаний абсолютного ускорения увеличивается с 3983 до 63730 m/c^2 . Следует отметить, что такие колебания ускорения центра масс обрабатываемого материала приводят к существенному улучшению процесса измельчения обрабатываемого сырья, а также к значительному сокращению времени измельчения.

Рассмотрим сателлит 2 и водило Н (рис. 4.), на которые действуют следующие силы и моменты.

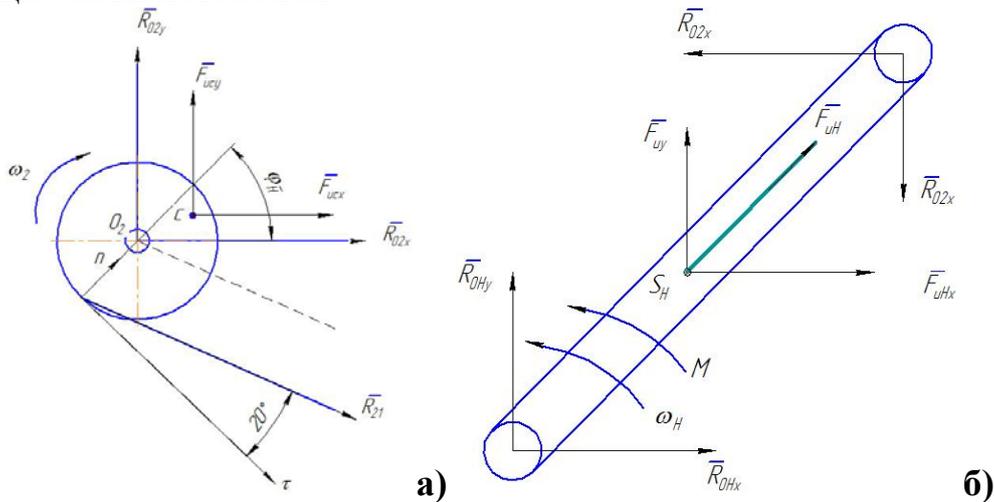


Рис. 4. Расчетная схема для силового расчета сателлита (а) и водила (б)

На рис. 4 R_{21} - реакция, действующая со стороны неподвижного колеса на сателлит 2; R_{o2x} , R_{o2y} - составляющие силы реакции, действующие на опоры сателлита; F_{ucx} , F_{ucy} - составляющие силы инерции, действующие на центр масс обрабатываемого материала; R_{2H}^x , R_{2H}^y - составляющие силы реакции, действующие на водило со стороны сателлита; R_{H2}^x , R_{H2}^y - составляющие силы реакции, действующие на опору водила; F_{uHx} , F_{uHy} - составляющие силы инерции, действующие на центр масс водила Н; M_y - уравнивающий момент, действующий на водило, $\varphi_H = \omega_H t$: ω_H - угловая скорость водила; t - время, $F_{ucx} = -m_2 a_{cx}$; $F_{ucy} = -m_2 a_{cy}$; $m_2 = m_b + m_c$; m_2 - масса обрабатываемого материала.

Получена система уравнений, описывающая кинестатику планетарного механизма с переменным моментом инерции сателлита.

Система алгебраических уравнений (19) решалась на компьютере в среде MathCAD 15.

По результатам расчетов были определены закономерности изменения составляющих и полных реакций, действующих на опору сателлита в высшей кинематической паре R_{21} , составляющую полную реакцию на опоре водила и уравнивающий момент на валу водила.

$$\begin{cases} r_2 R_{21} \cos \alpha - F_{u_{Cx}} r \sin(1 + z_1/z_2) \varphi_H + F_{u_{Cy}} r \cos(1 + z_1/z_2) \varphi_H = 0, \\ R_{21} \cos \alpha \cos(\pi/2 - \varphi_H) - R_{21} \sin \alpha \cos \varphi_H + R_{o_{2x}} + F_{ucx} = 0, \\ -R_{21} \cos \alpha \sin(\pi/2 - \varphi_H) + R_{21} \sin \alpha \sin \varphi_H + R_{o_{2y}} + F_{ucy} = 0, \\ M_y + F_{u_{Hx}} H/2 \cos \varphi_H - F_{u_{Hy}} H/2 \sin \varphi_H - R_{o_{Hx}} H \cos \varphi_H + R_{o_{Hy}} H \sin \varphi_H = 0, \\ R_{o_{Hx}} - R_{o_{2x}} + F_{u_{Hx}} = 0, \\ R_{o_{Hy}} - R_{o_{2y}} + F_{u_{Hy}} = 0. \end{cases} \quad (19)$$

С целью изучения влияния параметров рассматриваемого планетарного механизма на нагруженность кинематических пар реакции в кинематических парах определялись при вариации угловой скорости водила H , массы обрабатываемого материала m_2 , среднего радиуса центра масс обрабатываемого материала.

Важным значением при проектировании планетарных механизмов имеет величина реакции в высшей кинематической паре, т.к. контакт между зубьями осуществляется в лучшем случае по линии.

Таким образом, анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

1) с увеличением угловой скорости водила ω_H с 5 до 20 c^{-1} максимальная величина реакции R_{21} действия со стороны неподвижного колеса на сателлит 2 возрастает с $0,23 \cdot 10^4$ до $3,78 \cdot 10^4 H$;

2) увеличение массы обрабатываемого материала m_2 с 5 до 20 кг приводит к возрастанию реакции R_{21} с $0,788 \cdot 10^4$ до $3,15 \cdot 10^4 H$.

С целью определения действительных законов движения звеньев планетарного привода измельчителя рассматривалась данная система в виде машинного агрегата:

$$\begin{aligned} \frac{dM_\delta}{dt} &= 2M_\kappa \omega_c - 2PM_\kappa \dot{\varphi}_H u_{\delta H} - \omega_c s_\kappa M_\delta, \\ J_{np.H} \ddot{\varphi}_H + \frac{\dot{\varphi}_H^2}{2} \frac{dJ_{np.H}}{d\varphi_H} &= M_{\delta.np.H} - M_{c.np.H}; \end{aligned} \quad (20)$$

где J_δ – момент инерции ротора электродвигателя; $J_{np.ред}$ – приведённый к валу водила момент инерции вращающихся масс редуктора; J_H – момент инерции водила относительно его оси вращения; J_c – момент инерции сателлита относительно его собственной оси; $J_{p.б}$ – момент инерции барабана относительно собственной оси сателлита; $u_{2H}^{(1)} = (1 + R_1/R_2)$ – передаточное отношение между валом сателлита и валом водила; $m_c, m_{p.б}, m_{o.m}$ – массы соответственно сателлита, рабочего барабана и обрабатываемого материала.

Для этого составлена одномассовая динамическая модель машинного агрегата с планетарным исполнительным механизмом. При составлении динамической модели все звенья механизма были приняты абсолютно жёсткими. В качестве звена приведения был использован вал водила. Для составленной динамической модели построена математическая модель

данного машинного агрегата при учёте линеаризованной динамической характеристики асинхронного электродвигателя. При составлении уравнений, описывающих механическую часть привода, было использовано известное уравнение движения машинного агрегата в виде моментов. Особенностью рассматриваемого машинного агрегата является переменность приведенного момента инерции. Полученная система дифференциальных уравнений была реализована на компьютере в среде MathCAD 15. По результатам расчётов на компьютере определены момент, развиваемый асинхронным электродвигателем по действующим законам изменения угловой скорости и ускорения, а также размах колебаний этих величин.

По результатам расчетов установлено, что с увеличением передаточного отношения с $u_{\partial H} = 5$ до $u_{\partial H} = 18,64$ размах колебаний движущего момента на валу ротора электродвигателя увеличивается с 1,42 до 4,82 Нм. Вместе с тем было выявлено, что размах колебаний угловой скорости вала водила ω_H возрастает с 0,32 до 1,07 c^{-1} , а размах колебаний углового ускорения водила ε_H возрастает соответственно с 8,24 до 27,8 c^{-2} .

Сравнительный анализ кинематических и динамических параметров машинного агрегата с планетарным исполнительным механизмом показал, что переменность момента инерции сателлита, связанного с рабочим барабаном, оказывает существенное влияние на кинематику и динамику планетарного механизма по сравнению с планетарным исполнительным механизмом при постоянном моменте инерции сателлита:

$$J_{np.H} = J_{\partial} u_{\partial H}^2 + J_{np.ред} + J_H + (m_c + m_{p.б} + m_{o.м})(r_1 + r_2)^2 + J_c (u_{2H}^1)^2 + J_{p.б} (u_{2H}^1)^2 + m_{o.м} R_m(t) (u_{2H}^1)^2, \quad (21)$$

$$\frac{dJ_{np.H}}{d\phi_H} = 2K_2 K_3 R_0 u_{2H} \cos(K_3 u_{2H} \phi_H) (K_1 R_0 + K_2 R_0 \sin(K_3 u_{2H} \phi_H)). \quad (22)$$

Таким образом, установлено, что в отличие от обычного планетарного механизма данный планетарный механизм с переменным моментом инерции сателлита имеет переменный приведенный момент инерции. Эту особенность необходимо учитывать при исследовании динамики планетарных мельниц в виде машинного агрегата.

В четвёртой главе диссертации «**Экспериментальные исследования и разработка перспективных конструкций приводов рабочего органа измельчителей минерального сырья**» рассмотрены задачи статической балансировки ротора дисмембратора; проектирование универсального измельчителя минерального сырья, а также пути модернизации дисмембраторов.

Статическую балансировку ротора проводили по известной методике.

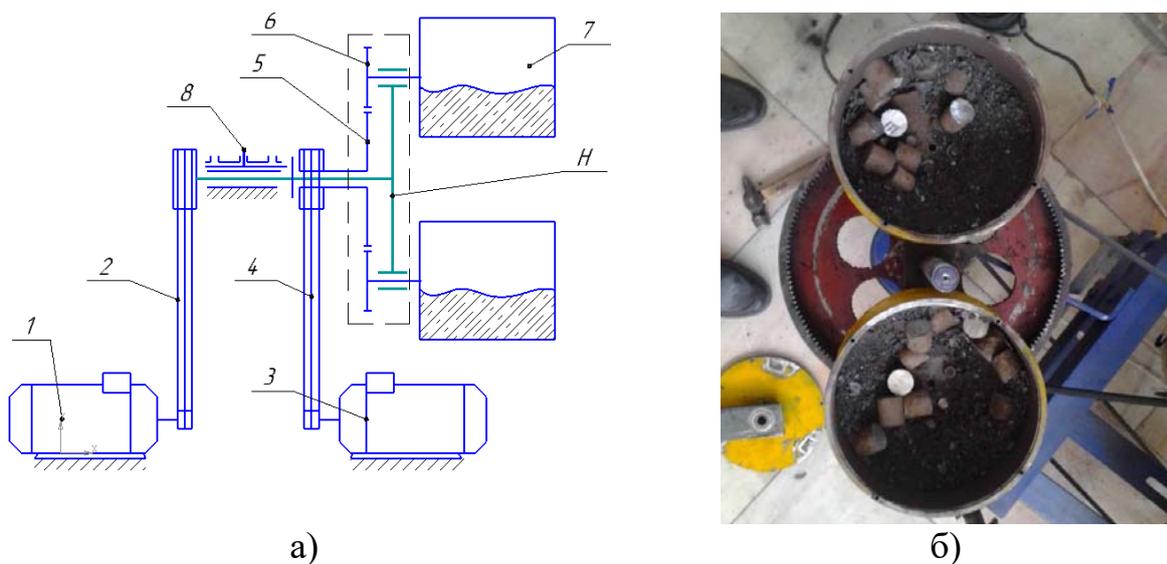
По результатам статической балансировки ротора дисмембратора определена дополнительная масса $m=250$ гр и радиус установки дополнительной массы 300 мм.



Рис. 5. Ротор дисмембратора

С учётом недостатка планетарных мельниц предложена конструкция универсального измельчителя минерального сырья, которая показана на рис. 6. Особенностью данной конструкции является то, что она может работать как обычная шаровая мельница, так и как планетарная мельница. Кроме этого, планетарная часть привода может иметь одну или две степени подвижности.

На основе известных методов теории механизмов и машин произведён синтез параметров предлагаемой универсальной мельницы. В частности, числа зубьев зубчатых колёс, параметры зубчатых колёс, а также передаточные отношения между звеньями универсальной планетарной мельницы. Разработаны рабочие чертежи универсальной планетарной мельницы. Учитывая вышеизложенное, изготовлен лабораторный образец универсальной планетарной мельницы, который показан на рис. 6.



1 - электродвигатель для привода водила планетарного механизма, 2 - ременная передача для привода водила, 3 - электродвигатель для привода центрального подвижного колеса 5, 4 - ременная передача для привода центрального колеса 5, Н – водило, 6 - сателлит, 7 - рабочий барабан, 8 – переключатель режимов работы рабочего барабана.

Рис. 6. Разработанная универсальная планетарная мельница кинематическая схема (а) промышленный образец универсальной планетарной мельницы (б)

Испытание указанного выше лабораторного образца показало, что его энергопотребление в два раза ниже шаровой мельницы при том же объёме измельчаемого материала за счёт сокращения времени измельчения.

Для модернизации конструкции дисмембратора предложена новая конструкция, позволяющая улучшить качество измельчаемого материала, которая показана на рис. 7.

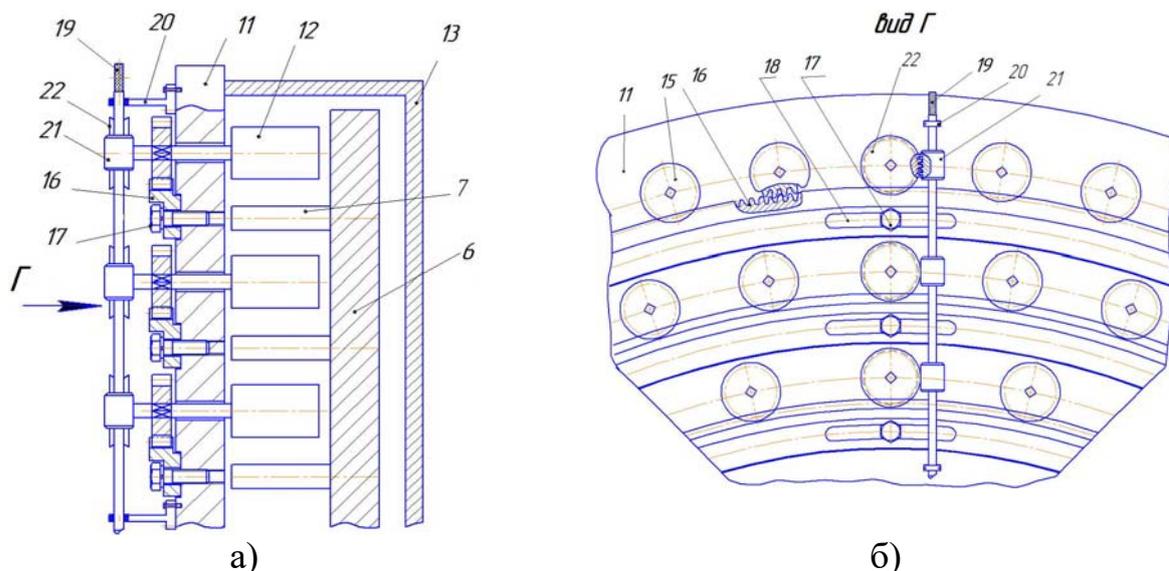


Рис. 7. Предлагаемая новая конструкция рабочего органа измельчителя минерального сырья ротационного типа

Указанная на рис. 7 конструкция позволяет облегчить регулировку величины зазора между пальцами неподвижного диска, обеспечивающего степень помола от характеристики измельчаемого материала, не останавливая технологический процесс помола в измельчителе минерального сырья ротационного типа. Данная конструкция защищена патентом на полезную модель Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан №FAP 01328.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по диссертационной работе доктора философии (PhD) на тему «Моделирование кинематики и динамики приводов ротационного типа измельчителей минерального сырья» получены следующие результаты:

1. Обосновано использование современных компьютерных программ в разработке теоретических основ приводов ротационного типа измельчительных механизмов и их новых конструкций. Этот результат служит для облегчения разработки конструкций ротационных механизмов нового поколения, подходящих технологических процессов и методов расчета.

2. Разработаны кинематические и динамические модели для случая переменности радиуса инерции центра масс рабочего органа, совершающего простое движение измельчителя ротационного типа. На основе расчетов установлено, что реакция в опорах рабочего барабана возрастает с 70,08 до 5156,3 Н. Данные результаты дают возможность рассчитать звенья механизма ротационного типа на динамическую прочность, выполнить точный выбор подшипников опор.

3. Разработаны аналитические выражения для определения кинематических параметров центра масс обрабатываемого материала для

случая, когда рабочий орган является сателлитом планетарного механизма. Анализ полученных результатов показал, что с увеличением угловой скорости водила с 20 до 80 с^{-1} размах колебаний абсолютных величин скорости центра масс обрабатываемого материала возрастает с 28,54 до 114,15 м/с , вместе с тем размах колебаний абсолютных ускорений увеличивается с 3983 до 63730 м/с^2 . Следует отметить, что такие колебания ускорений центра масс обрабатываемого материала приводят к существенному улучшению процесса измельчения обрабатываемого сырья, а также к значительному сокращению времени измельчения.

4. Составлены математические модели кинестатики планетарного механизма с рабочим органом, при учёте переменности радиус-вектора обрабатываемого материала. По результатам расчётов установлено, что с увеличением угловой скорости водила ω_H с 5 до 20 с^{-1} максимальная величина реакции действия высшей кинематической пары возрастает с $0,23 \cdot 10^4$ до $3,78 \cdot 10^4 \text{ Н}$. С помощью этого результата рассчитываются звенья механизма на прочность и точно определяются подшипники опор.

5. Проведена статическая балансировка рабочего органа дисмембратора измельчителя минерального сырья с рабочим органом ротационного типа. При этом вес рабочего органа составлял 75 кг, радиус установки противовеса равен 300 мм, значение дополнительной массы составляет 250 гр.

6. Разработана конструкция перспективного планетарного привода измельчителя минерального сырья. Данная конструкция дает возможность устранить недостатки существующих ротационных приводов планетарных измельчителей. Такая конструкция обеспечивает экономию энергии, металла и времени измельчения горной руды для подготовки ее к обогащению.

7. Обоснованы параметры конструкции универсального планетарного измельчителя, прошедшей опытные испытания в лаборатории ГП «Институт минеральных ресурсов» при Государственном комитете геологии Республики Узбекистан. Сравнив рабочие режимы при простом и сложном движении конструкции, были определены рациональные режимы работы измельчителя. В результате коэффициент полезного действия в процессе измельчения увеличился на 7-10%. Ожидаемая годовая общая экономическая эффективность одной конструкции универсального планетарного измельчителя составила 50 млн. сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.28.02.2018.T.03.04 ON AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL
UNIVERSITY AND NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

NEMATOV ERKINJON HAMROEVICH

**MODELING OF KINEMATICS AND DYNAMICS OF DRIVES OF
ROTATIONAL TYPE OF CRUSHERS OF MINERAL RAW MATERIALS**

05.02.02 – Theory of mechanisms and mashines. Engineering science and machine parts

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

Tashkent – 2019

The theme of dissertation doctor of philosophy on technical sciences (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number № B2017.3.PhD/T360.

The dissertation is carried out at Tashkent state technical university

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on web-page of Scientific Council at the address (www.titli.uz) and information-educational portal Ziyonet at the address (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser:	Karimov Rasul Ishokovich doctor of technical sciences, professor
Official opponents:	Alimammedov SHavkat Pirmammedovich doctor of technical sciences, professor Umirzakov Akromjon Hakimovich doctor of technical sciences, dosent
Leading organization:	Institute of mechanics and seismic stability of structures named after M.T. Urazbaev

The defense of the dissertation will take place on «12» October 2019 at 14⁰⁰ o'clock at a meeting of Scientific council DSc.28.02.2018.T.03.04 at Tashkent State technical university named after Islam Karimov (Address: 100095, Tashkent, University street, 2. Tel./fax: (+99871) 246-46-00/(+99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

The dissertation is registreted in Information-resource center (IRC) of Tashkent State technical university (registration number 109). Address: 100095, Tashkent, University street, 2. Phone: (+99871) 246-46-00, fax: (+99871) 227-10-32.

Abstract of the dissertation sent out on «28» September 2019 year.
(mailing report №98 on «28» September 2019 year).

K.A. Karimov
Chairman of the scientific council on
awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor

N.D. Turakhodjaev
Scientific secretary of scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor

A.A.Rizaev
Depty chairman of the academic seminar under
the scientific council awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work is to simulate the kinematics and dynamics of rotary drives rotary type grinders of mineral raw materials, improve calculation methods for drives of working bodies of technological machines, performing simple and complex movements taking into account the variability of the coordinates of the center of mass of the processed material, design and create an industrial design of the planetary drive of a rotary mill.

Research Objectives:

development of analytical expressions for determining the kinematic parameters of the center of mass of the processed material for a working body, making simple and complex movements applied to grinders of mineral raw materials;

the study of analytical expressions on a ECM, the establishment of the laws of motion of the center of mass of the processed material and the analysis of factors affecting these laws;

grounding and creation of mathematical models of kinetostatics of drives of the rotary type working body with variability of the radius-vector of the center of mass of the processed material;

development of programs for the implementation of the obtained analytical expressions on a ECM and the establishment of patterns of change in the reaction of kinematic pairs of the drive of a working body, performing a simple movement, as well as planetary drives with one and two degrees of mobility;

development of a method for balancing a rotational dismembrator with a simple movement of the working body;

development of the design of grinders of mineral raw materials with a planetary drive of the working body.

The object of the research work is rotary drives of the grinders of mineral raw materials.

Scientific novelty of the research work is following:

have improved analytical expressions for determine the kinematic parameters of the center of mass of the processed material for a working body, performing simple and complex movements;

created kinetostatic equations of regularities of changes in the radius-vector of the center of mass of the processed material drives of the working body with chopper rotary-type;

developed by program for implementing the obtained analytical expressions on a computer, developed methods for determining the patterns of changes in reactions in kinematic pairs of planetary drives with one or two degrees of mobility, as well as the drive of a working body that performs a simple movement;

developed the equilibrium conditions of a rotational dismembrator with simple and quick movement of the working body.

Implement of research results. Based on the results of a study on the modeling of the kinematics and dynamics of rotary drives of mechanisms for a

mill, aimed at developing a new type of drive and increasing the output of grinding raw materials:

Advanced design of a universal grinder for grinding ore was introduced at the State Enterprise “Institute of Mineral Resources” (certificate of the State Committee for Geology of the Republic of Uzbekistan No. 05/11 of May 27, 2019). As a result, the universal shredder of mineral raw materials reduced the time of ore grinding by 2 times;

The method of translating the results of testing the design of a universal planetary grinder to prepare ore for its enrichment was introduced at the State Enterprise “Institute of Mineral Resources” to obtain new rotary grinders (certificate of the State Committee for Geology of the Republic of Uzbekistan No. 05/11 of May 27, 2019). As a result, this method achieved energy savings of 40-45% in the process of grinding ore.

The method of using a frequency converter in a universal planetary grinder was introduced at the State Enterprise “Institute of Mineral Resources” to obtain new rotary choppers (certificate of the State Committee for Geology of the Republic of Uzbekistan No. 05/11 of May 27, 2019). As a result, this method achieved control of the kinematic and dynamic characteristics of the grinder.

The structure and volume of the thesis. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, bibliography of titles and applications. The total volume of the dissertation contains 115 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Каримов Р.И., Нематов Э.Х. Определение законов движения машинного агрегата с упругой муфтой // Узбекский журнал «Вестник ТашГТУ» №4.2007. – С. 42-44. (05.00.00; №16).
2. Каримов Р.И., Нематов Э.Х. Исследование нагруженности кинематических пар планетарного механизма с переменным моментом инерции сателлита // Узбекский журнал «Вестник ТашГТУ» №4.2017. – С. 75-79. (05.00.00; №16).
3. Каримов Р.И., Нематов Э.Х., Баратов Н.Б., Шахобутдинов Р.Э., Ахмедов А.Х. Determination of kinematic parameters, the reduced moment of inertia and its derivative of the planetary mechanism with the variable moment of inertia of the lanet pinion // «Austrian Journal of Technical and Natural Sciences» 2016. № 9–10. - P. 58-60 (05.00.00; №3).
4. Каримов Р.И., Нематов Э.Х. Определение кинематических параметров центра масс измельчителя с планетарным приводом. Узбекский научно-технический и производственный журнал «Композиционные материалы» 2017. №4. - С.62-64 (05.00.00; №13).
5. Каримов Р.И., Нематов Э.Х., Сафаров Т.Т. Исследование динамики планетарного механизма с переменным моментом инерции сателлита // Узбекский журнал «Проблемы механики», №1, 2017. - С.55-57 (05.00.00; №6).
6. Каримов Р.И., Нематов Э.Х. Определение кинематических параметров центра масс бисателита измельчителя минерального сырья // Узбекский научно-технический и производственный журнал «Композиционные материалы» 2018, №3. – С. 56-59. (05.00.00; №13).

II бўлим (II часть; II part)

7. Нематов Э.Х. Исследование нагруженности привода рабочего органа дисмембратора в режим пуска // Центрально-азиатская международная конференция по химической технологии. - Москва, 2012. - С. 415-418.
8. Каримов Р.И., Нематов Э.Х. Исследование процесса взаимодействия била с куском дробимого материала в дисмембраторе, работающем на основе ударно-раскалывающе-истеряющего способа // Сборник трудов республиканской научно-технической конференции «Технологии переработки местного сырья и продуктов», ТКТИ - Ташкент, 2008. - С. 365-367.
9. Каримов Р.И., Нематов Э.Х., Бегимов Н.Н. Исследование динамики привода рабочего органа дисмембратора ротационного типа // Материалы XXII международной научно-технической конференции «Прикладные задачи математики», Севастополь (Россия), 15-19

- сентября 2014. - С.68-71.
10. Нематов Э.Х., Усмонов Б.А. Моделирование процесса измельчения ударом и истиранием в дисмембраторе ротационного типа. //Материалы международной научно-технической конференции «теория машин и механизмов». - Самарканд, 2007. – С. 102-104.
 11. Каримов Р.И., Нематов Э.Х. К модернизации дисмембратора, работающего на основе ударно-раскалывающе-истирающего принципа для производства композиционных материалов различного назначения // IX Международная научно-техническая конференции: «Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса». - Навои, 2017. - С. 216.
 12. Каримов Р.И., Нематов Э.Х. Разработка кинематических схем привода рабочих органов дисмембратора, работающего на основе ударно-раскалывающе-истирающего принципа для производства композиционных материалов различного назначения. – Джизак, 2017. – С. 254-256.
 13. Каримов Р.И., Нематов Э.Х. Кинетостатический расчет дифференциального механизма с переменным моментом инерции сателлита // XXV международная научно-техническая конференция Прикладные задачи математики. - Севастополь, 2017. - С.75-78.
 14. Каримов Р.И., Нематов Э.Х. Исследование динамики ротационной системы с переменным моментом инерции // III международная научно-практическая конференция «Современные материалы, техника и технология в машиностроении». – Андижан, 2016. - С. 49-51.
 15. Каримов Р.И., Нематов Э.Х. К определению разрушающей скорости при измельчении ударом // Проблемы повышения эффективности работы современного производства и энерго-ресурсосбережения // Международная научно-практическая конференция. – Андижан, 2018. - С. 179-182.
 16. Каримов Р.И., Нематов Э.Х. Разработка нового дифференциального привода рабочего органа измельчителя минерального сырья // Международная научная конференция: Инновация-2018. – Ташкент, 2018. - С. 99-100.
 17. Патент на полезную модель № FAP 00716 от 26/03/2012. Дисмембратор / Р.И. Каримов, Н.Б. Баратов, Э.Х.Нематов.
 18. Патент на полезную модель, № FAP 01328 от 28/09/2018. Дисмембратор / Р.И. Каримов, Э.Х. Нематов, Н.Б. Баратов, Р.Э. Шахобутдинов.
 19. Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин. № DGU 04135 / Р.И. Каримов, Э.Х. Нематов.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз тилларидаги матнлар мослиги текширилди.

Бичими 60x84¹/₁₆. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 81.

Гувоҳнома реестр № 10-3719
“Тошкент кимё технология институти” босмахонасида чоп этилган.
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.