

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ  
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ  
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ**

**ТАШЕВА ХАДИЧА ТУЙБОЕВНА**

**РУДАНИ МАЙДАЛАШНИНГ ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИНИ  
ОШИРИШ (“Олмалиқ кон-металлургия комбинати” АЖ мисолида)**

**05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари**

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

**Тошкент – 2024**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
автореферати мундарижаси**  
**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам**  
**Contents of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

**Ташева Хадича Туйбоевна**

Рудани майдалашнинг энергия самарадорлигини ошириш (“Олмалик кон-  
металлургия комбинати” АЖ мисолида).....3

**Ташева Хадича Туйбоевна**

Повышение энергетической эффективности измельчения руды (на примере  
АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат») .....27

**Tasheva Khadicha Tuyboyevna**

Improving the energy efficiency of ore crushing (using the example of Almalyk  
Mining and Metallurgical Combine JSC) .....49

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works.....52

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ  
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ  
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ**

**ТАШЕВА ХАДИЧА ТУЙБОЕВНА**

**РУДАНИ МАЙДАЛАШНИНГ ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИНИ  
ОШИРИШ (“Олмалиқ кон-металлургия комбинати” АЖ мисолида)**

**05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари**

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

**Тошкент – 2024**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2021.4.PhD/T2507 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институтида бажарилган.

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

<b>Илмий раҳбар:</b>	<b>Ишназаров Ойбек Хайрилаевич</b> техника фанлари доктори, профессор
<b>Расмий оппонентлар:</b>	<b>Арипов Назиржан Мукарамович</b> техника фанлари доктори, профессор
	<b>Халиков Солихджан Субханович</b> техника фанлари номзоди, доцент.
<b>Етакчи ташкилот:</b>	<b>Навоий Давлат кончилиқ</b> <b>ва технологиялари университети.</b>

Диссертация ҳимояси Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институти ҳузуридаги DSc.02/30.12.2021.T.143.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2024 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ соат \_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100164, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 40. Тел.: (99897) 480-28-07; e-mail: energetika\_in@umail.uz).

Диссертация билан Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин ( \_\_ рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100164, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 40. Тел.: (99897) 480-28-07).

Диссертация автореферати 2024 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ да тарқатилди.

(2024 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ даги \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси).

**Х.М. Муратов**

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

**Ж.Н. Толипов**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, техника фанлари бўйича фалсафа доктори PhD, катта илмий ходим

**Ш.В. Хамидов**

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 кон-металлургия саноатидаги мавжуд технологик жараёнларни бошқариш, уларнинг техник кўрсаткичларини яхшилаш ва рудани майдалаш жараёнида энергия самарадорлигини оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган мамлакатларда “...дунёдаги энергия сарфининг 3,5%ни кон-металлургия саноатига, шундан 1% майдалаш жараёнига тўғри келади. Бу борада тегирмонларнинг иш режимларини ростлаш орқали энергия ресурсларнинг сарфини тежаши имкониятлари аниқланган”<sup>1</sup>. Жумладан, майдалаш тегирмонининг ростланувчи электр юритмасининг математик модели ва структура схемасини ишлаб чиқиш, технологик жараёнларнинг рационал режимларини таъминловчи частотавий ростланувчи электр юритмалар тизимини такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Бутун дунёда рудани майдалаш жараёнларида ҳўл ўзи майдалаш тегирмонларининг электр юритма самарадорлигини ошириш, шунингдек барабанни руда билан тўлдириш даражасига қараб юқори кучланишли синхрон двигателларни равон ишга туширишга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда жумладан, ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг оптимал иш режимлари, кираётган руданинг таркибига қараб тегирмоннинг тезлиги ва қаршилиқ моментини аниқлаш, руданинг қаттиқлиги ва зичлигини, шунингдек унинг тўлдирилишини ҳисобга олган ҳолда, майдалаш тегирмонининг частотали ростланадиган электр юритмасининг тизимини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотлар устувор ҳисобланади. Шу билан бирга, синхрон машиналарни ишга тушириш, электр энергия сарфига таъсир этувчи омилларни аниқлаш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Республикамызда ишлаб чиқарилаётган маҳсулотлар таннархини камайтириш мақсадида энергия ресурсларининг ишлатилиши самарадорлигини ошириш, янги технологик ечимларни яратиш ва такомиллаштириш ҳамда жорий этишга доир кенг кўламли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида “Иқтисодиётни электр энергияси билан узлуксиз таъминлаш ҳамда “Яшил иқтисодиёт” технологияларини барча соҳаларга фаол жорий этиш, иқтисодиётнинг энергия самарадорлигини 20 фоизга ошириш” бўйича вазифалар белгиланган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда синхрон машиналарнинг иш режимларини ростлаш орқали энергия самарадорлигини ошириш, оптимал тезлиги ва ишга тушириш жаддаллигини аниқлаш масалаларини ечишга қаратилган илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш муҳим ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон “2022 – 2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида” ги Фармони, 2023 йил 16 февралдаги ПҚ-57-сон “2023

---

<sup>1</sup><https://www.ceecthefuture.org/resources/mining-energy-consumption-2021#:~:text=Published%20information%20indicates%20that%20the,total%20final%20energy%20consumption%20globally.>

йилда қайта тикланувчи энергия манбаларини ва энергия тежовчи технологияларни жорий этишни жадаллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги, 2016 йил 22 декабрдаги ПҚ-2692 сон “Саноат тармоқлари корхоналарининг жисмоний ишдан чиққан ва маънавий эскирган машина-ускуналарини жадал янгилаш, шунингдек, ишлаб чиқариш харажатларини камайтиришга оид қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”ги, 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422-сон “Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида”ги, 2020 йил 10 июлдаги ПҚ-4779-сон “Иқтисодиётнинг энергия самарадорлигини ошириш ва мавжуд ресурсларни жалб этиш орқали иқтисодиёт тармоқларининг ёқилғи энергетика маҳсулотларига қарамлигини камайтиришга доир қўшимча чора-тадбирлари тўғрисида”ги қарорлари ҳамда мазкур соҳага тегишли меъёрий-ҳукукий 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 тежамкорлик ва муқобил энергия манбалари” устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммони ўрганганлик даражаси.** Жаҳон олимлари томонидан майдалаш тегирмонларининг шаршара режимини таъминлаш ва айланиш тезлигини ростлаш асосида энергия тежамкор режими аниқлаш бўйича кўплаб етакчи илмий марказларда ва олий таълим муассасаларида, жумладан Molycorp (АҚШ), Massachusetts Institute of Tehnologiy (АҚШ), University of Michigan (АҚШ), University of Waterloo (Канада), Great Westem Mineral Group (Жанубий Африка), Mount Weld (Австралия) Tokyo Technology Institute (Япония), Бутун Россия электроэнергетика илмий-тадқиқот институти (Россия), Миллий тадқиқот униерситети (Россия) ва Тошкент Давлат техника университетиди (Ўзбекистон) кенг қамровли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Дунё олимлари томонидан тегирмонларнинг мослашувчан бошқариш тизимини ишлаб чиқиш ва технологик кўрсаткичларни ошириш, синхрон машиналар учун қўзғатиш тизимларини такомиллаштириш ишлаб чиқиш, самарадорлигини ошириш ва тадқиқот қилишга бир қатор олимлар, жумладан: Ф.Бонд, С.Е.Андреев, Е.Е.Линч, К.Луан, П.В.Маляров, Б.К.Мисра, С.Моррелл, В.А.Олевский, В.А.Перов, Р.К.Раджимани, К.А.Разумов, Е.Е.Серго ва бошқалар катта ҳисса қўшдилар.

Республикамизда саноат корхоналарининг энергия истеъмоли режимларини оптималлаштириш ва энергия самарадорлигини оширишга қаратилган илмий муаммоларни ҳал қилиш учун маҳаллий олимлардан М.З.Хамудханов, Т.С.Камалов, А.А.Хошимов, Н.М.Арипов, К.Муминов, Ф.А.Хошимов, К.Т.Алимходжаев, М.К.Бобожанов, О.Х.Ишназаров, О.З.Тоиров, Ж.А.Мавлонов ва бошқа олимлар томонидан ҳам тегишли

тадқиқотлар олиб борилган. Илмий изланишлар натижасида электр юритмаларни частотавий ростлаш тизимларининг самарадорлигини ошириш бўйича сезиларли натижаларга эришилган.

Эришилган муваффақиятларга қарамай, майдалаш тегирмонларининг юқори кучланишли синхрон машиналарининг энергия ва ресурсларни тежаш режимларини ишлаб чиқиш ва самарадорлигини ошириш, майдалаш тегирмонининг энергия истеъмоли ва иш режимларига саноат ва технологик омилларнинг таъсири, “синхрон машина - ҳўл ўзи майдалаш тегирмони” тизимининг математик модели, структура схемасини яратиш бўйича етарли изланишлар олиб борилмаган.

**Тадқиқотнинг диссертация бажарилган муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқотлари Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институтининг илмий-тадқиқот режасига мувофиқ, АЗ-ФА-Ф106 “Саноатда (тоғ-металлургия) ва қишлоқ хўжалигида (машинали суғориш тизимларининг насос станциялари) энергия ва ресурстежамкор технологияларни, ишлаб чиқаришда технологик жараёнларнинг рационал режимларини таъминловчи андозавий механизмларга адаптациялашган частотавий ростланувчи электр юритмалар асосида ишлаб чиқиш” (2012-2014), ФА-АЗ-90053 “Иқтисодиёт соҳаларининг энергияни кўп истеъмол қиладиган объектларида энергия сарфининг энерго-ресурс тежамкор режимларини ишлаб чиқиш” (2015-2017) ва БВ-Атех-2018-27 “Олмалиқ КМК” АЖ бўлинмаларининг энергия сиғимли объектларида кучли энергетик ускуналарнинг энергия-ресурс тежамкорлик мониторинги: Мисни эритиш заводи ва бошқа бўлинмаларида ишлаб чиқаришни истиқболли ривожлантириш дастури бўйича янгитдан ишга туширилаётган кучли энергетика ускуналарининг мониторинги” (2018-2020) фундаментал ва амалий лойиҳалар доирасида олиб борилди.

**Тадқиқотнинг мақсади** тегирмон қурилмалари томонидан рудани майдалаш жараёнида электр энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини оширишдан иборат.

**Тадқиқот вазифалари:**

майдалаш жараёни параметрларининг ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг электр истеъмолига таъсирини аниқлаш;

ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг ростланувчи электр юритмасининг математик модели ва структуравий схемасини ишлаб чиқиш;

ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг энергия тежамкор режимини аниқлаш;

ҳўл ўзи майдалаш тегирмонини ишга тушириш усулини такомиллаштириш;

ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг қаршилик моментини ҳисоблаш ва оптимал айланиш тезлигини аниқлаш усулини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг электр истеъмоли ва иш режимлари олинган.

**Тадқиқот предмети** ҳўл ўзи майдалаш тегирмонини бошқариш усулини такомиллаштириш ва шаршара режимини таъминлаш ҳамда энергия

самарадорлигини ошириш учун оптимал айланиш тезлигини аниқлаш моделларидан ташкил топган.

**Тадқиқот усуллари.** Тадқиқот жараёнида электр юритма ва автоматик бошқарув назариялари, градиент усули, математик статистика, математик ва компьютер моделлаштириш усуллари, шунингдек экспериментал тадқиқот усулларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

айланиш тезлигининг ўзгариши, руданинг қаттиқлиги ва суюқликнинг қаттиқ фазага нисбатини ҳисобга олган ҳолда ҳўл ўзи майдалаш тегирмони электр энергиясини истеъмол қилишининг математик модели ишлаб чиқилган;

руданинг қаттиқлиги ва зичлигини, шунингдек унинг тўлдирилишини ҳисобга олган ҳолда, Bond тегирмони модели асосида ҳўл ўзи майдалаш тегирмонини частотали бошқариладиган электр юритмасининг математик модели ва структуравий схемаси ишлаб чиқилган;

шаршара режимини таъминлаш ва айланиш тезлигини ростлаш асосида ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг энергия тежамкор режими аниқланган;

оптимал жаддаллаштириш ва асинхрон ишга тушириш усули асосида ҳўл ўзи майдалаш тегирмонини частотавий ишга тушириш усули такомиллаштирилган;

ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг қаршилик моментини ҳисоблаш усули ва оптимал айланиш тезлиги технологик кўрсаткичлар ҳамда градиент тушиш усули асосида ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

электр балансини ташкил этувчи алоҳида элементлардан ташкил топган ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг электр истеъмоли структураси аниқланди;

ҳўл ўзи майдалаш тегирмонидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш имкониятлари ва унинг электр юритмасига рудани майдалаш технологик жараёнининг талаблари аниқланди;

бошқарув объекти сифатида “частота ўзгартиргичи – синхрон машина – ҳўл ўзи майдалаш тегирмони” тизими ўрганилди ва шаршара режимини ва белгиланган талаблар асосида технологик жараённинг энергия ва ресурсларни тежашни таъминлайдиган рационал структуравий схемаси аниқланди.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги** максимал унумдорликни ҳисоблаш усуллари, асосий қонунлар, руда қаршилигини ҳисоблаш назариялари ва усуллари тўғри қўллаш билан асосланади, шунингдек назарий, компьютер ва экспериментал натижаларнинг мос келиши билан тасдиқланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти унинг иш режимига таъсир қилувчи омилларни ҳисобга олган ҳолда “частота ўзгартиргичи – синхрон машина – ҳўл ўзи майдалаш тегирмони” тизимини моделлаштириш назариясини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқот натижаларининг илмий моҳияти билан; шаршара режимини ва энергия сарфини камайтиришни таъминлайдиган ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг айланиш тезлигини



аниқлаш; ҳисоблаш тажрибаларини режалаштириш ва амалий қўллаш учун шароит яратиш билан тавсифланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шаршара режимини таъминлаш ва технологик ускуналарнинг энергия самарадорлигини ошириш учун ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг частотавий бошқариладиган электр юритмасини ишлаб чиқиш; ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг қаршилиқ моменти ҳисоблаш методикасини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқот натижаларини жорий қилиниши.** Ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг айланиш тезлигини ростлаш ва равон ишга тушириш, иш режимларини оптималлаштириш ҳамда энергия сарфини камайтириш бўйича илмий натижалари асосида:

ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг энергия тежамкор иш режими ва рудани майдалаш технологик жараёнининг математик модели “Олмалиқ КМК” нинг Мисни бойитиш фабрикасида жорий этилди (Олмалиқ КМК АЖ 2022 йил 12 октябрдаги жорий этиш тўғрисидаги 61-СГЭ-СНХ -22-10-0159-сон маълумотномаси). Натижада электр энергияси сарфини йилига 277,820 кВт\*соатга камайтириш имкони яратилган;

ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг юқори кучланишли синхрон машинани равон ишга тушириш тизими “Олмалиқ КМК” нинг Мисни бойитиш фабрикасида жорий этилди (Олмалиқ КМК АЖ 2022 йил 12 октябрдаги жорий этиш тўғрисидаги 61-СГЭ-СНХ-22-10-0159-сон маълумотномаси). Натижада иқтисодий самарадорлик йилига 125 019 000 сўмни ташкил этди.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси:** Диссертация иши бўйича тадқиқотлар 3та халқаро ва 8та республика илмий-техник анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича 19та илмий иш чоп этилган, жумладан тадқиқот мавзуси доирасида Ўзбекистон Республикаси ОАК томонидан тавсия этилган илмий нашрларда 7та илмий мақола, шундан 5та республика ва 2та халқаро журналларида чоп этилган. Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлигидан 1 та ЭҲМ дастурига гувоҳнома олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 109 бетни ташкил этади.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган. Тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикасидаги фан ва технологиялари ривожланишнинг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган. Тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари, олинган натижаларнинг ишончлилиги ва тадқиқот натижаларини амалиётга жорий

этилиши, ишнинг апробация натижалари, нашр этилган илмий ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациясининг **“Рудани майдалашнинг ҳозирги ҳолати ва ривожланиш истиқболлари”** номли биринчи бобида ҳўл ўзи майдалаш тегирмонларида (ММС) рудани майдалашнинг ҳозирги ҳолати ва ривожланиш истиқболлари таҳлил қилинган ва минерал хом ашёни майдалаш технологияси кўрсатилган. Рудани майдалашнинг қисқача характеристикаси берилган. Адабиётларни таҳлил қилиш ҳўл ўзи майдалаш тегирмонларининг энергия самарадорлигини оширишнинг турли усуллари ва ёндашувларини кўриб чиқишга имкон берди. Нашрларни ўрганиш бундай тегирмонларда энергия истеъмолини оптималлаштириш учун шаршара режимини ушлаб туриш учун ростланадиган электр юритмаларнинг муҳимлигини тасдиқлади.

Ҳўл ўзи майдалаш тегирмонида қаршилик моменти ҳисоблаш методикаси руда параметрларини, руданинг ўлчамларини ва барабаннинг айланиш тезлигини ҳисобга олган ҳолда аниқланди. Олинган натижалар талаб қилинган қаршилик моменти ва рудани майдалаш даражасидан келиб чиқиб, электр юритманинг оптимал иш режимини танлаш муҳимлигини кўрсатади.

Ҳўл ўзи майдалаш тегирмонлари технологик жараёнининг хусусиятлари ва унинг электр ҳайдовчи билан ўзаро алоқаси ўрганилди. Айланиш тезлигининг юқори ростланиши, ишончилиги, нам муҳитга чидамлилиги ва юқори юкланиш каби электр юритмага қўйиладиган асосий талаблар аниқланди. Энергия истеъмолини оптималлаштириш ва майдалаш самарадорлигини ошириш учун ростланадиган электр юритмалардан фойдаланишнинг аҳамияти тасдиқланди.

Шаршара режими майдалаш жараёнини яхшиши ва энергия ҳаражатини камайтириши аниқланди, айниқса қаттиқ материалларни қайта ишлашда. Шаршара режими энергия сарфини камайтириш ва жараённинг умумий унумдорлигини ошириш потенциалини намоиш этадиган паст энергия ҳаражатларида рудани майдалашнинг оптимал даражасига имкон беради.

Диссертациясининг **“Ҳўл ўзи майдалаш тегирмонларининг иш режими”** номли иккинчи бобида ҳўл ўзи майдалаш тегирмонларининг ишлаш хусусиятлари, ҳўл ўзи майдалаш тегирмонларининг самарадорлигини оширишда ростланадиган электр юритмаларнинг ўрни таҳлил қилинган, шунингдек ҳўл ўзи майдалаш тегирмонларининг шаршара режимини таъминлаш масалалари ёритилган.

Тадқиқот давомида ҳўл ўзи майдалаш тегирмонларининг иш режими билан боғлиқ масалалар кўриб чиқилди. Ўтказилган регрессион таҳлил айланиш тезлиги ( $n$ ), руда қаттиқлиги ( $t_R$ ) ва суюқликнинг қаттиқ фазаси ( $S$ ) га нисбатига қараб ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг электр энергияси истеъмоли моделини ўрнатишга имкон берди.

Ҳўл ўзи майдалаш руда тегирмонлари минералларни қайта ишлашнинг муҳим бўғини бўлиб, уларнинг самарали ишлаши руда материалларини бойитиш учун муҳим аҳамиятга эга. Бундай тегирмонларнинг ишлашига

таъсир қилувчи асосий омиллардан бири бу ускунанинг унумдорлиги ва энергия самарадорлигини белгилайдиган қувватдир.

Ҳўл ўзи майдалаш тегирмонларининг ишлашини чуқурроқ тушуниш учун жараёни математик моделлаштириш амалга оширилди. Жараёни тавсифловчи асосий формулалардан бири майдалаш самарадорлиги тенгламасидир:

$$\Xi = \frac{D_{80}}{D_{50}}, \quad (1)$$

бу ерда  $\Xi$  – майдалаш самарадорлиги,  $D_{80}$  – материалнинг 80% майдаланган заррача диаметри,  $D_{50}$  – материалнинг 50% майдаланган заррача диаметри.

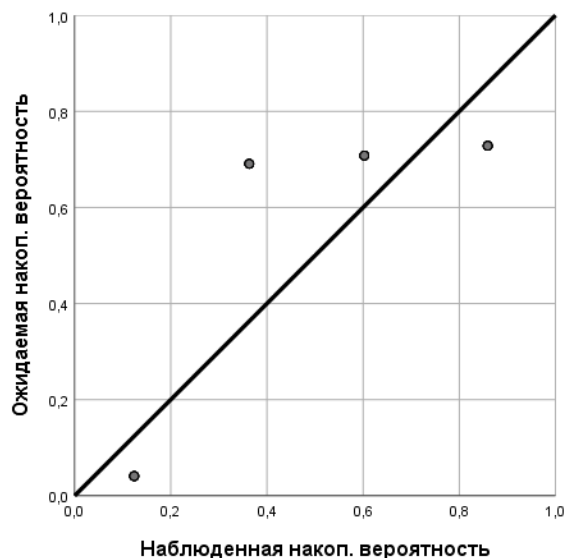
Ушбу тенглама жараёнининг самарадорлигини баҳолаш ва керакли майдалаш даражасига эришиш учун тегирмоннинг оптимал параметрларини аниқлаш имконини беради.

Олинган модель етарли даражада аниқлик ва адекватликка эга эканлиги аниқланди, бу регрессия коэффицентларининг аҳамияти билан тасдиқланади. Олинган коэффицент қийматлари ҳар бир омилнинг (айланиш тезлиги, руда қаттиқлиги, фаза нисбати) электр энергиясига сарфига таъсирини қилади.

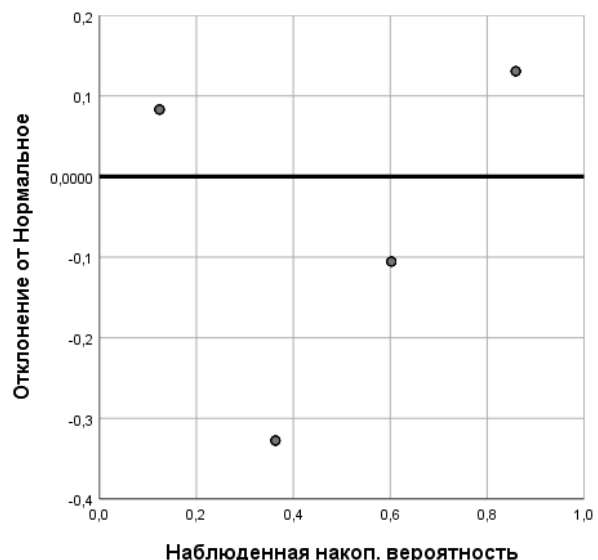
Барабаннинг айланиш тезлигини ( $n$ , айл/мин), Роквелл шкаласидаги руданинг қаттиқлигини ( $t_R$ , HRC), суюқликнинг қаттиқ фазага нисбатини ( $S$ , %), ва қувват сарфини ( $P$ , кВт) ҳисобга оладиган модель;

$$P(n, t_R, S) = k_1 \cdot n + k_2 \cdot t_R + k_3 \cdot S, \quad (2)$$

бу ерда  $k_1, k_2, k_3$  – тегирмоннинг иш шароитларига боғлиқ бўлган коэффицентлар.

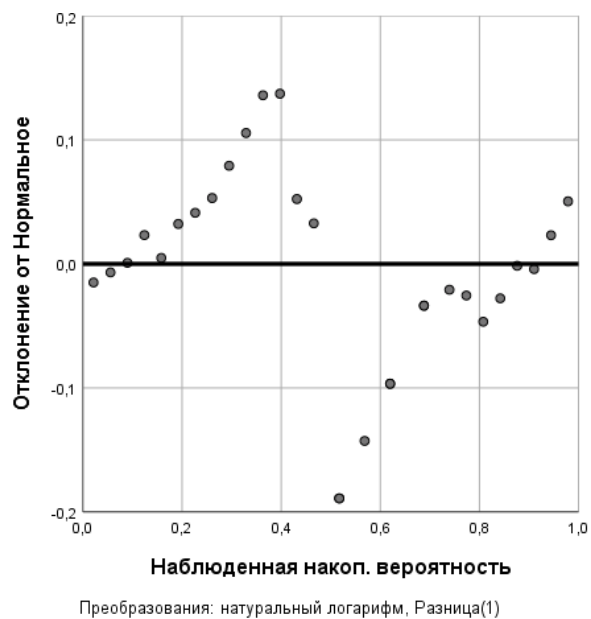
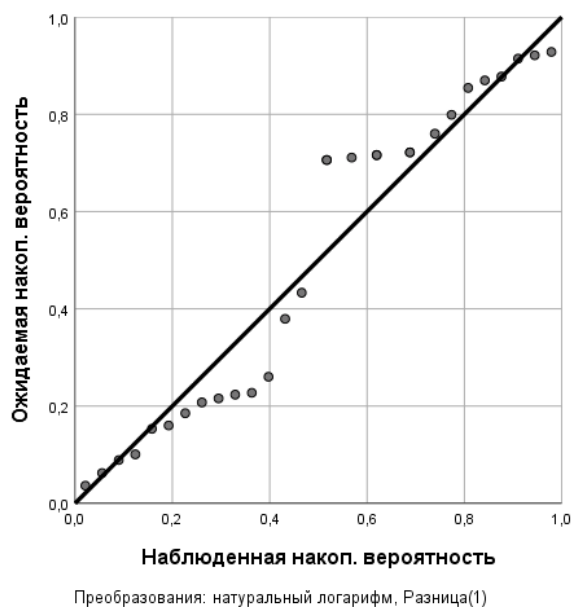


Преобразования: натуральный логарифм, Разница(1)

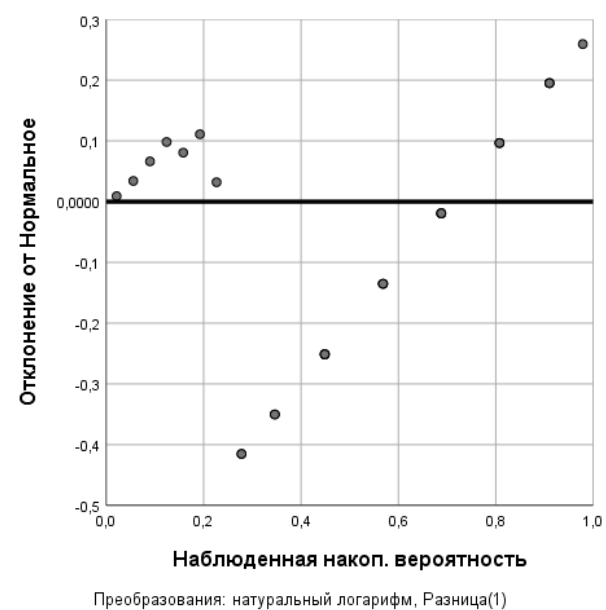
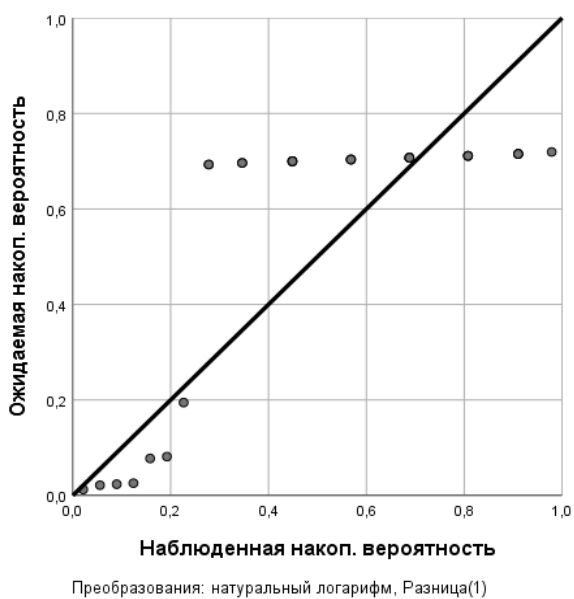


Преобразования: натуральный логарифм, Разница(1)

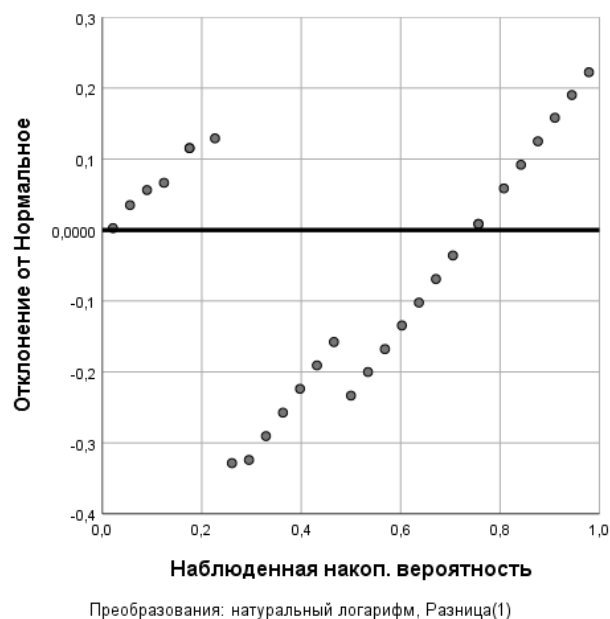
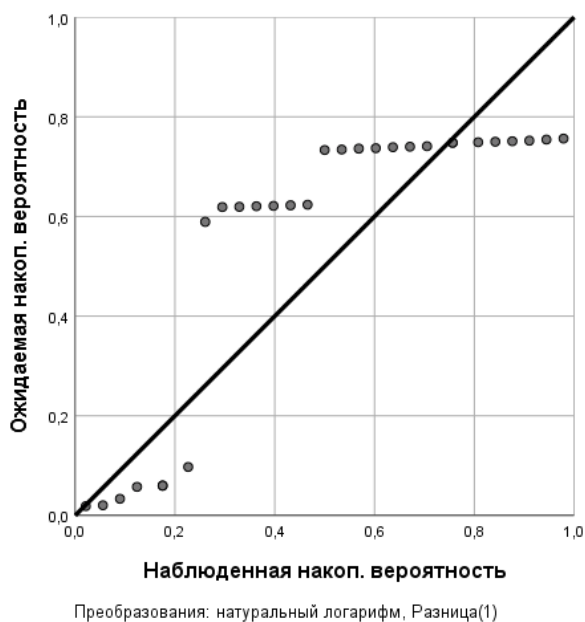
**1 – расм. Айланиш тезлиги учун P-P тарқатиш графиглари (нормал ва масофавий тренд билан нормал)**



**2 – расм. Руда қаттиқлиги учун Р-Р тарқатиш графиклари  
(нормал ва масофавий тренд билан нормал)**



**3 – расм. Суюклик ва қаттиқ фазанинг нисбати учун Р-Р тарқатиш графиклари  
(нормал ва масофавий тренд билан нормал)**



**4 – расм. Қувват истеъмоли учун Р-Р тарқатиш графиклари (нормал ва масофавий тренд билан нормал)**

Электр юритмалар ва тезликни ростлаш тизимлари ҳўл ўзи майдалаш тегирмонларининг самарадорлигини оширишда муҳим аҳамиятга эғалиги исботланди. Ушбу қурилмалар қайта ишлаш жараёнида оптимал мувофиқликни таъминлайди, шунингдек унумдорлик ва энергия истеъмоли ўртасидаги мувозанатга эришишга қўмаклашади.

Маълумки, ҳўл ўзи майдалаш тегирмонлари рудаларни майдалаш жараёнларида муҳим ускуна ҳисобланади. Уларнинг унумдорлиги ва самарадорлигини белгиловчи асосий омиллардан бири бу нафақат барабаннинг айланишини, балки унинг тезлигини ростлашни ҳам таъминлайдиган электр юритмадир.

Шундай қилиб, ўтказилган регрессия таҳлили айланиш тезлиги ( $n$ ), руда қаттиқлиги ( $t_R$ ) ва суюқликнинг қаттиқ фазаси ( $S$ ) га нисбатига қараб ҳўл ўзи майдалаш тегирмонлари қувват сарфининг қуйидаги моделини аниқлаш имконини берди:

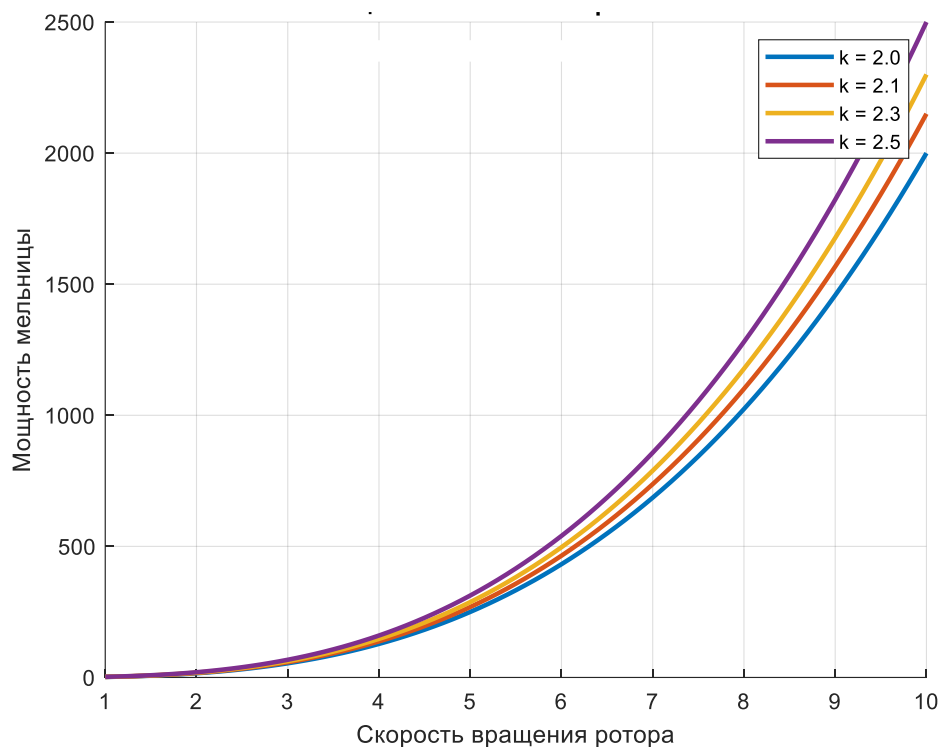
$$P = 741,604 + 37,907n - 1,337t_R + 22,444S. \quad (3)$$

Ҳўл ўзини майдалаш тегирмони барабанининг айланиш тезлигини ростлаш рудани қайта ишлаш самарадорлигини оширишга ёрдам берадиган бир нечта асосий афзалликларга эришишга имкон беради.

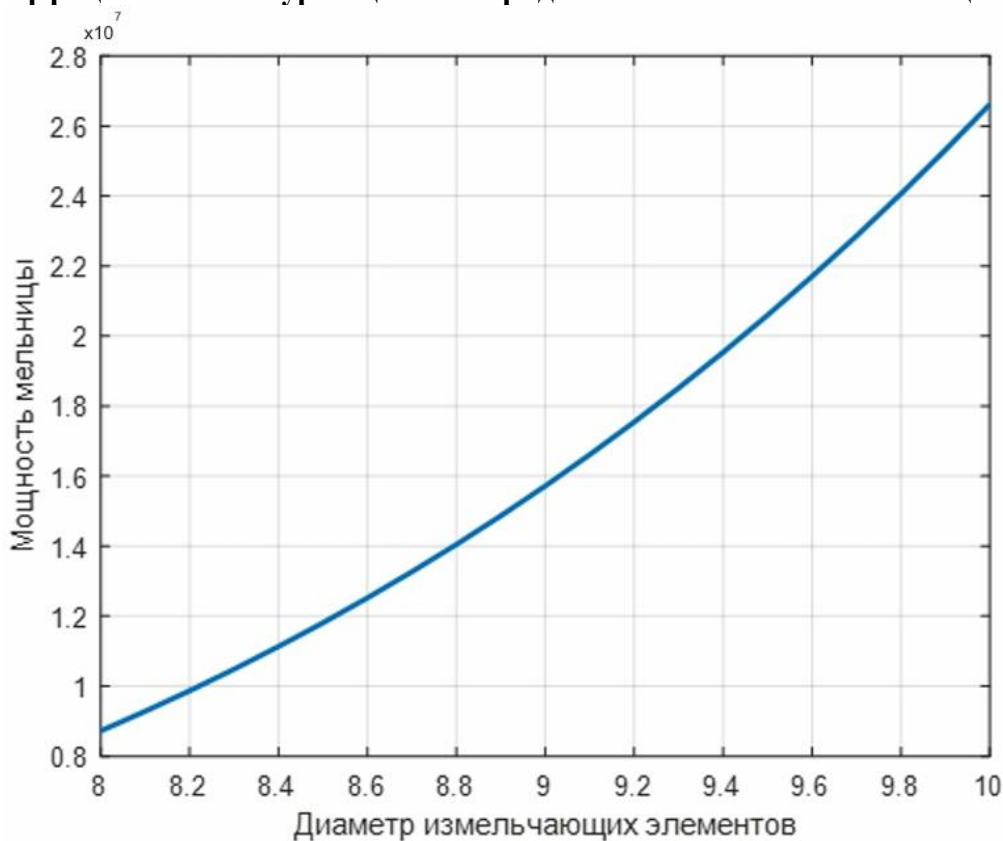
Барабаннинг айланиш тезлигини ўзгартириб, оптимал майдалаш жадаллигига эришиш мумкин, бу заррача ўлчамларининг бир текис тақсимланишига ва қимматли компонентлар ҳосилдорлигининг ошишига олиб келади. Ҳўл ўзини майдалаш тегирмонининг самарали ишлашини қуйидаги формула билан ифодалаш мумкин:

$$P = k \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^2 \cdot V, \quad (4)$$

бу ерда  $P$  – тегирмон қуввати,  $k$  – самарадорлик коэффиценти,  $\rho$  – руда зичлиги,  $n$  – барабаннинг айланиш тезлиги,  $D$  – майдалаш элементларининг диаметри,  $V$  – материал ҳажми.



5 – расм. Хўл ўзи майдалаш тегирмони истеъмол қувватининг самарадорлик коэффицентиининг турли қийматларида айланиш тезлигига боғлиқлиги



6 – расм. Хўл ўзи майдалаш тегирмони истеъмол қувватининг майдалаш элементларининг диаметрига боғлиқлиги

Хўл ўзи майдалаш тегирмони истеъмол қувватининг самарадорлик коэффициентининг турли қийматларида айланиш тезлигига боғлиқлиги 5 – расмда келтирилган. 6 – расмда эса хўл ўзини майдалаш тегирмони истеъмол қувватининг майдалаш элементларининг диаметрига боғлиқлиги кўрсатилган.

Майдалаш жараёнида хўл ўзини майдалаш тегирмонидаги заррачаларнинг ўртача тезлигини аниқлаш учун қуйидаги формуладан фойдаланамиз:

$$v_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{u}, \quad (5)$$

бу ерда  $v_{cp}$  – рудани майдалаш жарайнида заррачаларнинг ўртача тезлиги;  $v_i$  – заррача тезлиги;  $u$  – майдаланадиган заррачаларнинг ҳажми.

Бундан ташқари, тегирмоннинг айланиш тезлигини самарали бошқариш учун частота ўзгартиргичи ёрдамида ростланадиган электр юритмани қуриш имконияти ўрганилди. Олинган натижалар хўл ўзини майдалаш жараёни устидан назоратни яхшилаш имкониятини тасдиқлайди.

Бундан ташқари, хўл ўзи майдалаш тегирмонларининг шаршара режимига эришиш майдалаш самарадорлиги ва энергия сарфини оптималлаштириш учун жуда муҳим эканлиги исботланган. Тегирмоннинг айланиш тезлиги, майдалаш муҳитини тўлдириш даражаси, суспензиянинг ёпишқоқлиги ва материалларнинг хусусиятлари каби турли омилларни ҳисобга олган ҳолда, таклиф қилинган формулалар тегирмоннинг оптимал параметрларини аниқлаш учун бошланғич нуқта деб тахмин қилиш мумкин.

Диссертациянинг “**Хўл ўзи майдалаш тегирмонининг частотали ростланадиган электр юритмаси**” номли учинчи боби хўл ўзи майдалаш тегирмонининг ростланувчи электр юритмасининг математик моделини ишлаб чиқишга бағишланган, двигатель валига келтирилган тегирмоннинг инерция моменти аниқланади.

Bond тегирмони модели руданинг қаттиқлиги ва зичлигига, шунингдек унинг тўлиқлигига қараб тегирмоннинг унумдорлигини ифодалайди. Bond тегирмони тенгламаси қуйидагича кўринишда бўлади:

$$W_m = \frac{10}{W_i} \left( \left( \frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \cdot (K_2 \cdot \sqrt{P_s} \cdot n - \sqrt{W_i}) \right) \quad (6)$$

бу ерда:  $W_m$  – тегирмоннинг энергия истеъмоли (майдалаш учун зарур бўлган энергия);  $W_i$  – руда учун Bond ишининг индекси;  $P_{80}$  – материалнинг 80% тегирмон орқали ўтадиган заррача ўлчами (кирувчи материал учун);  $F_{80}$  – материалнинг 80% тегирмон орқали ўтадиган заррача ҳажми (чиқувчи материал учун);  $K_2$  – маълум бир тегирмоннинг конструкцияси ва характеристикасига боғлиқ бўлган коэффициент;  $P_s$  – тегирмоннинг фойдали қуввати;  $n$  – тегирмоннинг айланиш частотаси;  $W_i$  – материал учун Bond ишлаш индекси.

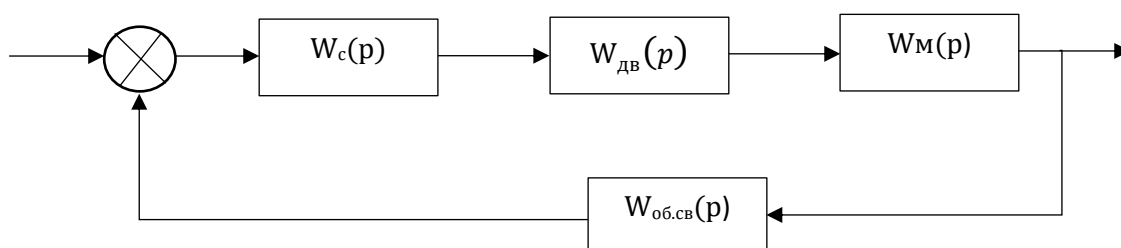
Тегирмонни тўлдириш тенгламаси: руда билан тегирмонни тўлдириш ( $F_I$ ) руда ҳажмининг тегирмон ҳажмига нисбати сифатида тавсифланиши мумкин.

$$F_3 = \frac{V_{\text{руда}}}{V_{\text{мельница}}}, \quad (7)$$

бу ерда:  $V_{\text{руда}}$  – тегирмондаги руда ҳажми,  $V_{\text{мельница}}$  – тегирмон ҳажми.

Ушбу модель тегирмоннинг самарадорлигини руда билан тўлдирилганлигини ҳисобга олган ҳолда аниқлашга имкон беради.

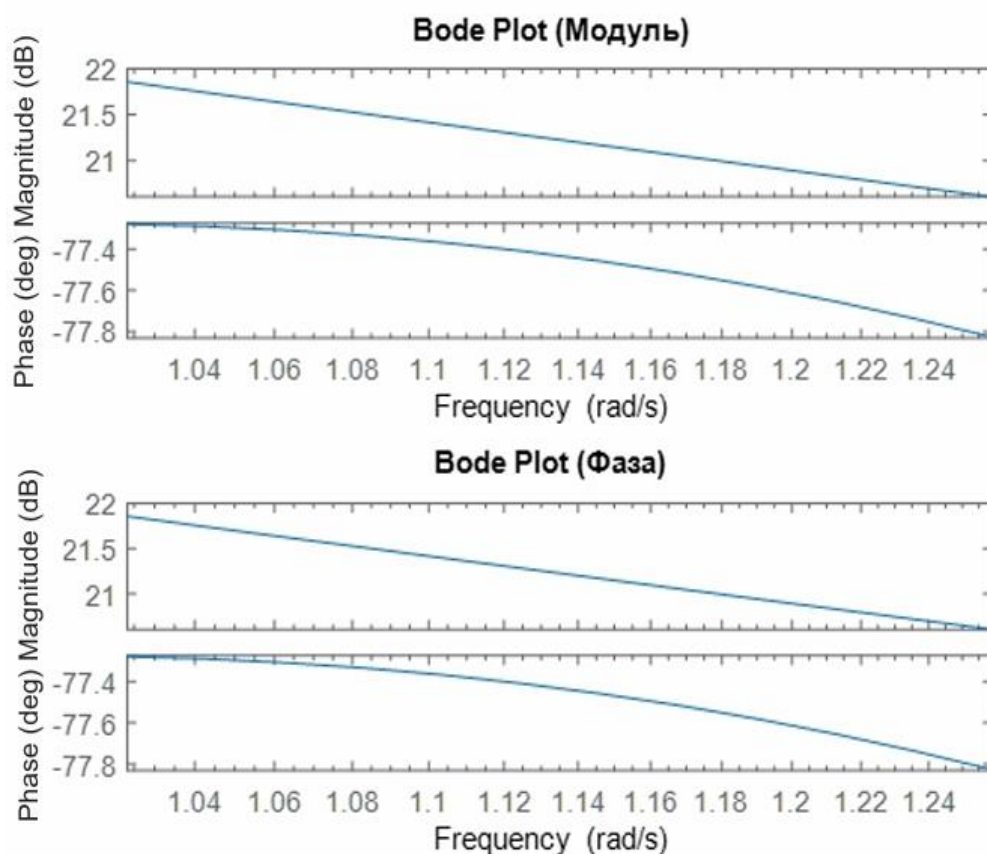
7-расмда "Частота ўзгартиргичи – синхрон машина – ҳўл ўзи майдалаш тегирмони" тизимининг узатиш функцияси кўрсатилган. 8-расмда Bode (Bodeplot) графиги, яъни чизиқли, вақт ўзгармайдиган тизимнинг частотали характеристикасининг график тасвири кўрсатилган. 9-расмда Step response графиги кўрсатилган (битта қадам таъсирига жавоб).



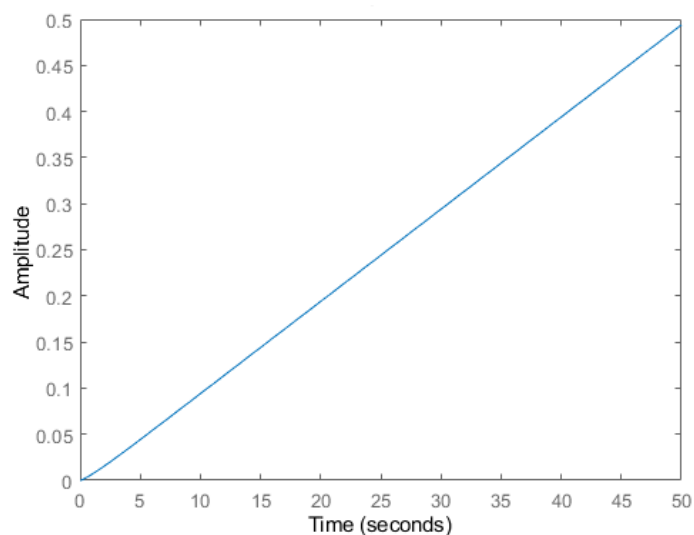
**7 – расм. “Частота ўзгартиргичи – синхрон машина – ҳўл ўзи майдалаш тегирмони” тизимининг узатиш функцияси.**

Натижалар таҳлили шуни кўрсатадики, “Частота ўзгартиргичи – синхрон двигатель – ҳўл ўзи майдалаш тегирмони” тизими айланиш тезлигини ўзгартиришга имкон беради, нафақат юқори унумдорликни, балки энергия таъминотини минималлаштиришни ҳам таъминлайди. Баҳолаш натижалари тезликни ростлаш энергия сарфини камайтиришга ёрдам беришини тасдиқлайди, бу эса бевосита иқтисодий самара беради. Бундан ташқари, аниқ ростлаш тегирмон қопламаларининг эскиришини камайтиради, унинг хизмат кўрсатиш муддатини оширади ва операцион хавфларни камайтиради.



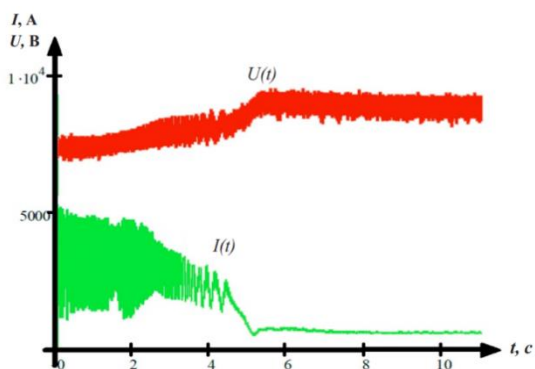


8 – расм. “Частота ўзгартиргичи – синхрон машина – ҳўл ўзи майдалаш тегирмони” тизимининг Bodeplot графиги

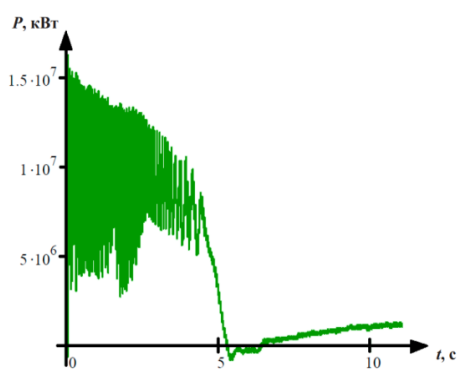


9 – расм. “Частота ўзгартиргичи – синхрон машина – ҳўл ўзи майдалаш тегирмони” тизимининг Step response графиги

СДни асинхрон режимда тўғридан-тўғри ишга тушириш ва синхронизмга киритиш 10- ва 11-расмларда кўрсатилган. 12-расмда электромагнит моментнинг вақтга боғлиқлиги кўрсатилган.

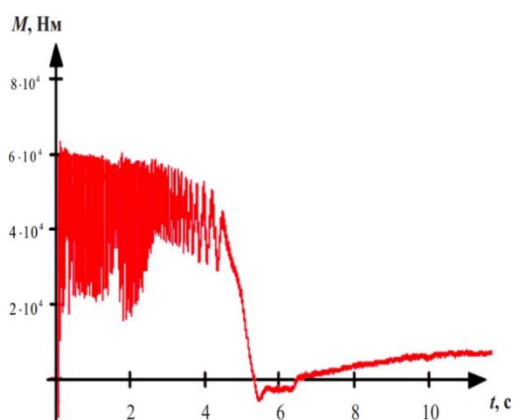


10 — расм. СД статорининг асинхрон ишга туширилиши ва синхронизмга тортилиши пайтида фазалараро кучланиш ва фаза токлари

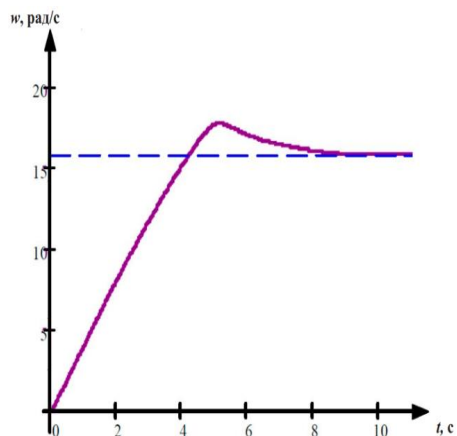


11 — расм. СД асинхрон ишга туширилиши ва синхронизмга тортилганда унинг уч фазали оний қуввати

13 — расмда асинхрон ишга тушириш ва синхронизмга кириш пайтида роторнинг бурчак айланиш частотасининг ҳисобланган вақтга боғлиқлиги келтирилган.



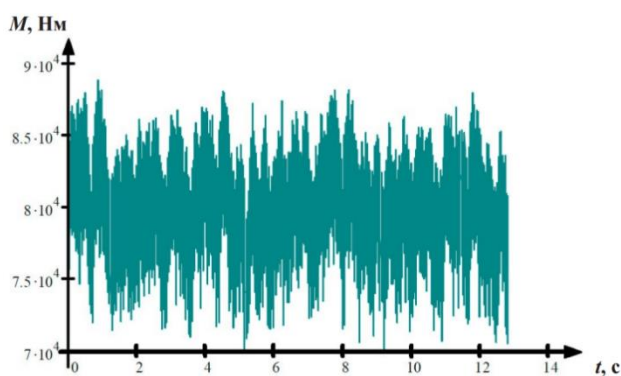
12 — расм. СДни асинхрон ишга тушириш ва синхронизмга тортилиши пайтида электромагнит моментининг  $m(t)$  ҳисобланган вақтга боғлиқлиги



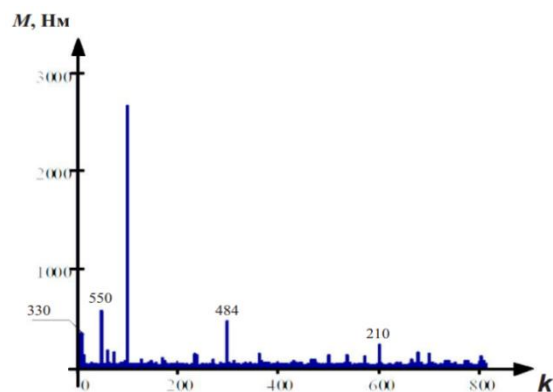
13 — расм. СДни асинхрон ишга тушириш ва синхронизмга кириш пайтида роторнинг бурчак айланиш частотасининг  $w(t)$  ҳисобланган вақтга боғлиқлиги

Шуни таъкидлаш керакки, СД электромагнит моментининг олинган қийматлари пулсацияланувчи характерга эга (14 — расм).

15 — расмдан кўриниб турибдики, моментнинг вақтга боғлиқлиги 50, 100, 300 ва 600 Гц частоталари билан бир қатор асосий гармоникаларни ўз ичига олган. СД электромагнит моментининг спектри.

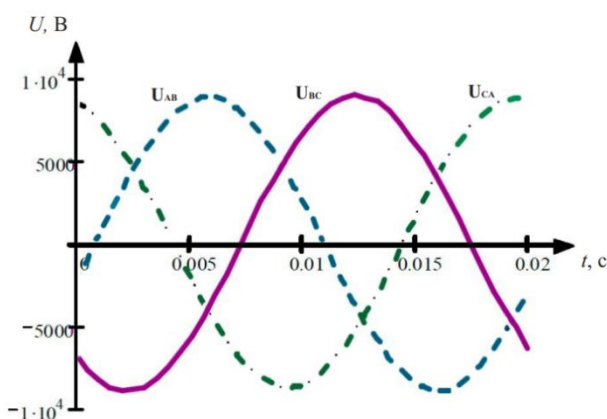


14 — расм, Ўрнатилган режимида СД электромагнит моментининг  $m(t)$  оний қийматлари

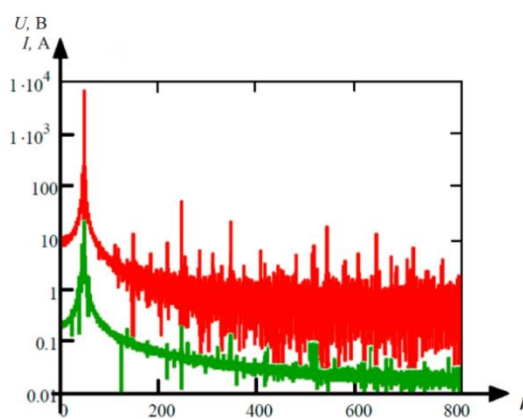


15 — расм. СД электромагнит моментининг спектри

16 — расмда СД статор қисқичларида фазалараро кучланишларнинг вақтга боғлиқлиги кўрсатилган. Спектрал таҳлил усуллари ёрдамида таъминловчи кучланишнинг параметрлари (17 — расм):



16 — расм. СД статор қисқичларида фазалараро кучланишларнинг вақтга боғлиқлиги



17 — расм. СД фазалараро кучланиш ва фаза тоқларининг спектрал таркиби

Олинган натижалар шуни кўрсатадики, тезлик датчигини ишлатмасдан экспериментал равишда ўлчанган кучланиш ва двигателъ фазаларининг тоқлари асосида СД роторининг momenti ва бурчак тезлигининг вақт характеристикаларини ҳисоблаш мумкин. Бурилиш бурчагига айлантирилган бурчак тезлигининг ҳисобланган қиймати роторнинг бурчак ҳолатини кузатиш учун ЧЎ-СД тизимларида ишлатилиши мумкин. Таъминловчи кучланишнинг ҳисобланган сифат кўрсаткичлари СДни хизмат кўрсатиш муддатини тахмин қилиш имконини беради.

ММС 70-23 туридаги хўл ўзи майдалаш тегирмони учун частотали ростланадиган синхрон электр юритманинг математик модели ишлаб чиқилган. Модель электр юритма ва тегирмон билан боғлиқ параметрларни ҳисобга олади ва турли шароитларда тизимнинг ишлашини рақамли моделлаштириш ва таҳлил қилиш учун ишлатилиши мумкин.

Асосий тенгламалар статор ва ротор тоқларининг динамикасини,

тегирмоннинг механик қувватини, шунингдек унинг айланиш тезлигини тавсифлайди. Ушбу тенгламалар ўзаро боғлиқ бўлиб, ўзгарувчан технологик жараён шароитида тегирмон ишининг самарадорлиги ва динамикасини баҳолашга имкон беради.

Ушбу модель частотавий ростланадиган электр юритмалар ёрдамида ҳўл ўзи майдалаш тегирмонларининг ишлашини оптималлаштириш бўйича тадқиқотлар ўтказиш учун асос бўлиб хизмат қилиши мумкин. Бундай электр юритмадан фойдаланиш замонавий тоғ-кон саноатининг асосий жиҳати бўлган рудани майдалаш жараёнининг самарадорлиги ва назоратини яхшилаши мумкин деб тахмин қилинади.

Электр юритмани ишга тушириш режимларини рақамли моделлаш натижалари қуйидаги асосий хулосаларни беради:

- Ишга тушириш тоқлари ва кучланишлари: вақтнинг дастлабки моментида, электр юритма уланганда юқори тоқлар ва кучланишлар пайдо бўлади, уларни эҳтиёткорлик билан кузатиш талаб қилади. Ушбу параметрларнинг таҳлили ишга тушириш стратегиясини оптималлаштириш ва ускунага таъсирини камайтириш имконини беради.

- Ишга тушириш моменти: муҳим жиҳати ишга тушириш моментини баҳолаш, чунки дастлабки ишқаланиш кучлари ва юкланишни енгилуш учун етарли бўлиши керак. Самарали бошланғич момент тегирмоннинг барқарор ва бошқариладиган ишга туширилишини таъминлайди.

Тезлик динамикаси: тизимнинг ишга тушириш динамикаси, шунингдек, ҳаддан ташқари юкланишга ёки жараённинг барқарорлигини йўқотишига олиб келадиган тезликнинг кескин ўзгаришига йўл қўймаслик учун муҳимдир.

Тегирмоннинг СДни ишга тушириш муаммосининг энг самарали ечими частотали ишга туширишдан фойдаланиш бўлиб, энг муҳим тадқиқот вазифаларидан бири СДни ишга тушириш шартларини аниқлашдан иборатдир.

Тегирмонни ишга туширишда қаршилиқ моменти мураккаб қийматдир, у бир нечта параметрларга боғлиқдир:

- барабаннинг конструктив маълумотлари;
- майдалаш воситаларининг массаси ва ҳажми;
- технологик жараённинг параметрлари (барабани тўлдириш ва бошқалар);
- барабаннинг айланиш тезлигига ва натижада тегирмоннинг иш режимларига боғлиқдир.

Тегирмоннинг ишга туширишда зарба моментининг пайдо бўлиши, ўрнатилган режимдан фарқли ўлароқ, юкланиш оғирлигининг материалнинг ажратилган қисмининг умумий оғирлиги миқдорига қисқа муддатли камайиши ва у тушганидан кейин юклаш оғирлигининг ошиши билан боғлиқ.

Ишлаб чиқилган тизим технологик жараён параметрлари кескин ўзгарганида ҳам барқарорликни таъминлайди. Ҳўл ўзи майдалаш тегирмони электр юритмасининг айланиш тезлигини бошқариш тизими турли хил иш режимларида юқори даражадаги барқарорликка эга.

Диссертациянинг “Ҳўл ўзини майдалаш тегирмонларининг иш

**режимларини оптималлаштириш”** номли тўртинчи боби рудани майдалаш жараёнининг математик моделини ишлаб чиқишга бағишланган бўлиб, унда тегирмон қурилмаси учун частотали бошқарилувчи электр юритмасини жорий этишнинг техник-иқтисодий самарадорлиги аниқланган.

Майдалаш жараёнида фойдаланадиган энергия сарфи умумий рудани бойитиш бўлими қисмининг 30 – 50 % ни ташкил этади. Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, рудани бойитишда фойдали компонентни олиш максимал самарадорлиги заррача ўлчами 0,074 мм бўлганда эришилади.

18 – расмдан кўриниб турибдики, руда тайёрлаш бир неча жараёнлардан иборат: рудани янчиш, рудани икки босқичли майдалаш, рудани таснифлаш. Шу билан бирга, жараён натижасида йирик фракция пульпаси ажралиб чиқади, бу эса қайта майдалашга қайтарилади.



**18 – расм. Руда тайёрлаш жараёни**

Бошқариш нуқтаи назаридан руда майдалашнинг узлуксиз жараёнлари энг муҳим ва мураккаб жараёнларлардан бири деб тан олинган. Бошқаришнинг мураккаблиги шундаки оптимал режим барқарорлик чегарасига яқин жойлашган, бу эса транспорт кечикишларини ҳисобга олган ҳолда уни қўллаб-қувватлаш вазифасини янада қийинлаштиради.

Тегирмонларнинг электр юритмаси учун частота ўзгартиргичини (ЧЎ) жорий этишнинг иқтисодий самарадорлиги.

Маълумки, ҳўл ўз-ўзини майдалаш тегирмонининг номинал истеъмол қилинадиган қуввати ўртача 2500 кВт\*соатни ташкил қилади. Шунга кўра, рудани майдалашнинг мавжуд технологияси бир соат ишлаганда электр энергияси сарфи тахминан 2450 кВт\*соатни ташкил этади.

Экспериментал маълумотларга кўра, тегирмоннинг ишлашида ЧУни қўллашда у бир дақиқада 9 дан 12 гача айланиш тезлигида айланади. Натижада, тегирмон барабанига юкланган руда каттиқлигига ҳамда суюқ ва каттиқ фазалари нисбатига қараб айланиш тезлигини тартибга солиш орқали энергия тежаллади.

Бу ҳолда бир соатлик ўртача электр энергия сарфини қуйидаги формула бўйича ҳисоблаш мумкин:

$$W = 78,5m + 1430$$

Тегирмон барабанининг бир дақиқадаги айланиш сонига мос келадиган бир соатлик ўртача электр энергия истеъмоли:

барабан бир дақиқада 9 марта айланиш барқарор ҳолатида бир соат учун:

$$W = 78,5 * 9 + 1430 = 2136,5 \text{ кВт*соат};$$

барабан бир дақиқада 10 марта айланиш барқарор ҳолатида бир соат

учун:

$$W = 78,5 * 10 + 1430 = 2215 \text{ кВт*соат};$$

барабан бир дақиқада 11 марта айланиш барқарор ҳолатида бир соат учун:

$$W = 78,5 * 11 + 1430 = 2293,5 \text{ кВт*соат};$$

барабан бир дақиқада 12 марта айланиш барқарор ҳолатида бир соат учун:

$$W = 78,5 * 12 + 1430 = 2372 \text{ кВт*соат}.$$

Шундай қилиб, тегирмоннинг ўртача соатлик энергия истеъмоли:

$$W_{\text{сред.час}} = (2136,5 + 2215 + 2293,5 + 2372) : 4 = 2254,25 \text{ кВт*ч}.$$

Тегирмоннинг аввалги ҳолатида номинал истеъмол қилинадиган қувват ўртача 2450 кВт\*соатни ташкил қилишига эътибор берадиган бўлсак, ЧЎ ўрнатиш ҳисобига энергия тежаш:

$$W_{\text{икт.соат}} = 2450 - 2254,25 = 195,75 \text{ кВт*соат}.$$

Бу ердан тегирмоннинг ўртача суткалик энергия истеъмолини аниқлаш мумкин:

$$W_{\text{ўрт.сут.}} = 24 \times 2254,25 = 54\,102 \text{ кВт*соат}.$$

Шунда бир ойдаги ўртача энергия истеъмоли:

$$W_{\text{ўрт.ой}} = 25 \times 54\,102 = 1\,352\,550 \text{ кВт*соат}.$$

Агар номинал энергия истеъмолини ўртача 2450 кВт\*соатга тенглигини ҳисобга олсак, мавжуд технология бўйича (частота ўзгартиргичсиз) сутка давомида тегирмоннинг умумий энергия истеъмоли:

$$W_{\text{сут.}} = 24 \times 2450 = 58\,800 \text{ кВт}.$$

Келтирилган ҳисоблардан кўриниб турибдики, частотали бошқарилувчи электр юритмасини қўллаганда сутка давомида энергия тежаш:

$$W_{\text{икт. сут.}} = W_{\text{сут.}} - W_{\text{ўрт.сут.}} = 58\,800 - 54\,102 = 4\,698 \text{ кВт*соат}.$$

Агар 1 кВт энергия нархи ўрнатилган тариф бўйича 450 сўм бўлса, бир сутка учун иқтисодий самарадорлик:

$$S_{\text{экон.сут.}} = 4\,698 \times 450 = 2\,114\,100 \text{ сўм}.$$

Мос равишда бир ой учун энергия тежаш:

$$S_{\text{экон. месяц}} = 2\,114\,100 \times 25 = 52\,852\,500 \text{ сўм}.$$

Юқорида келтирилган барча ҳисоблар 1-жадвалга жамланган.

Истеъмол қилинган электр энергиясининг ойлик қиймати мавжуд технология бўйича (частота ўзгартиргичсиз) қуйидагича бўлди:

$$S_{\text{мавжуд.ой}} = ((2450 \times 24) \times 25) \times 450 = 661\,500\,000 \text{ сўм},$$

Частота ўзгартиргич қўлланилганда эса:

$$S_{\text{ЧЎ.ой}} = ((2254,25 \times 24) \times 25) \times 450 = 608\,647\,500 \text{ сўм}.$$

Юқоридаги ҳисоб-китобларга мувофиқ, частота ўзгартиргичли электр юритмани қўллашда 1 ойлик иқтисодий самарадорлик қуйидагича бўлади:

$$661\,500\,000 - 608\,647\,500 = 52\,852\,500 \text{ сум}.$$

ММС 70-23 тегирмони учун частота ўзгартиргичини сотиб олиш ва ўрнатиш харажатлари ҳисоб-китоби 1-жадвалда келтирилган.

## Иқтисодий кўрсаткичларнинг умумлаштирилган жадвали

Параметрлар	Асосий кўрсаткичлар				Ўртача кўрсаткичлар	Пул ифодасида (1кВт*соат=450 сўм)
Тегирмон барабанининг ўртача айланиши (айл/дақ)	9	10	11	12	10,5	
Чў қўлланганда ўртача истеъмол қилинадиган қувват (кВт*соат)	2136,5	2215	2293,5	2372	2254,25	1 014 412,5
Чў қўлланганда электроэнергия тежамкорлиги (кВт*соат)	<b>2450</b> - 136,5 <b>=313,5</b>	<b>2450</b> -2215= <b>=235</b>	<b>2450</b> -93,5 <b>=156,5</b>	<b>2450</b> - 372 <b>=78</b>	<b>2450</b> -2254,25 <b>=195,75</b>	88 087,5
Чў қўлланганда суткалик электроэнергия тежамкорлиги (кВт*соат)	7524	5640	3756	1872	4698	2 114 100
Чў қўлланганда ойлик электроэнергия тежамкорлиги (кВт*соат)	188100	141000	93900	46800	117450	52 852 500

Systeme Electric брендининг 2500 кВт номинал қувватли частота ўзгартиргичларининг тахминий қиймати:

STV900M25N4 маркали қурилманинг нархи 30 642 600 Россия рубли;

Бугунги курс бўйича 1 Россия рубль = 137 сўм,

$$30642600 \cdot 137 = 4\,198\,036\,200 \text{ сўм.}$$

Частота ўзгартиргичини ўрнатиш бўйича қурилиш-монтаж ишларининг нархларини қурилманинг нархидан 7%га тенг деб қабул қилсак:

$$4\,198\,036\,200 \cdot 0,07 = 293\,862\,534 \text{ сўм.}$$

Ишга тушириш—созлаш ишларининг нархларини қурилманинг нархидан 5%га тенг деб қабул қилсак:

$$4\,198\,036\,200 \cdot 0,05 = 209\,901\,810 \text{ сўм.}$$

Бу ҳолатда қурилмани сотиб олиш ва ишга тушириш бўйича умумий харажатлар қуйидагича бўлади:

$$S_{\Sigma} = 4\,198\,036\,200 + 293\,862\,534 + 209\,901\,810 = 4\,701\,800\,544 \text{ сўм.}$$

Агар ММС 70-23 тегирмони учун частота ўзгартиргичини қўллаш иқтисодий самарадорлиги 1 суткада  $S_{\text{сут.}} = 2\,114\,100$  сўмга тенглигини инобатга олсак, умумий харажатларни қоплаш муддати:

$$4\,701\,800\,544 : 2\,114\,100 = 2\,224 \text{ кун.}$$

ММС 70-23 тегирмони учун частота ўзгартиргични жорий қилиш:

$$2\,224 : 365 = 6,1 \text{ йилда қопланади ва кейинчалик фойда келтиради.}$$

## ХУЛОСА

“Рудани майдалашнинг энергия самарадорлигини ошириш” (“Олмалик кон-металлургия комбинати” АЖ мисолида)” мавзусидаги техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича қуйидаги хулосалар тақдим этилган:

1. Руданинг параметрлари, руданинг ўлчамлари ва барабаннинг айланиш тезлигини ҳисобга олган ҳолда ҳўл ўзи майдалаш тегирмонида қаршилиқ моментини ҳисоблаш методикаси аниқланди. Олинган натижалар талаб қилинган қаршилиқ моменти ва рудани майдалаш даражасидан келиб чиққан ҳолда, электр юритманинг оптимал иш режимини танлаш муҳимлигини кўрсатади.

2. Ҳўл ўзи майдалаш тегирмонлари технологик жараёнларининг хусусиятлари ва унинг электр юритма билан ўзаро алоқаси ўрганилди. Электр юритмага қўйиладиган асосий талаблар аниқланди. Ҳўл ўзи майдалаш тегирмонларининг шаршара иш режими майдалаш жараёнини яхшилашга ва энергия ҳаражатларини камайтиришга ёрдам бериши аниқланди. Шаршара режими энергия ҳаражатларини камайтириш ва умумий жараённинг унумдорлигини ошириш потенциалини кўрсатиб, паст энергия ҳаражатларида рудани оптимал майдалаш даражасига эришишга имкон беради.

3. Ҳўл ўзи майдалаш тегирмонларининг иш режими билан боғлиқ масалалар кўриб чиқилди. Регрессион таҳлил айланиш тезлиги ( $n$ ), руда қаттиқлиги ( $t_R$ ) ва суюқликнинг қаттиқ фазаси ( $S$ )га нисбатига қараб ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг электр энергияси истеъмоли моделини яратишга имкон берди.

4. Шаршара режимини ушлаб туриш ва тегирмоннинг айланиш тезлигини самарали бошқариш учун частота ўзгартиргичи ёрдамида ростланадиган электр юритмани қуриш имконияти ўрганилди. Олинган натижалар ҳўл ўзи майдалаш жараёни устидан назоратни яхшилаш имкониятини тасдиқлайди. Бундан ташқари, ҳўл ўзи майдалаш тегирмонларининг шаршара режимига эришиш майдалаш самарадорлиги ва энергия сарфини оптималлаштириш учун жуда муҳим эканлиги исботланди. Тегирмоннинг айланиш тезлиги, майдалаш муҳитини тўлдириш даражаси, суспензиянинг ёпишқоқлиги ва материалларнинг хусусиятлари каби турли омилларни ҳисобга олган ҳолда, таклиф қилинган формулалар тегирмоннинг оптимал параметрларини аниқлаш учун бошланғич нуқтадир, деб тахмин қилиш мумкин.

5. ММС70-23 туридаги ҳўл ўзи майдалаш тегирмони учун частотали бошқариладиган синхрон электр юритманинг математик модели ишлаб чиқилган. Модель электр юритма ва тегирмон билан боғлиқ параметрларни ҳисобга олади ва турли шароитларда тизимнинг ишлашини рақамли моделлаштириш ва таҳлил қилиш учун ишлатилиши мумкин. Ишлаб чиқилган тизим технологик жараён параметрлари кескин ўзгарганда барқарорликни таъминлайди. Ҳўл ўзи майдалаш тегирмони электр юритмасининг айланиш тезлигини бошқариш тизими турли хил иш режимларида юқори даражадаги барқарорликка эга.



6. Руданинг физик характеристикаларига (қаттиқлиги ва зичлиги) қараб тегирмоннинг айланиш тезлигини ростлаш асосида параметрларни оптималлаштириш ҳўл ўзи майдалаш жараёнининг максимал самарадорлигига эришишга имкон беради. Энергия самарадорликни максимал даражада оширадиган тегирмоннинг оптимал айланиш тезлигини топиш учун градиент тушиш усули муваффақиятли қўлланилди.

7. Илмий тадқиқотлар натижаларига кўра, “Олмалиқ КМК” АЖда ҳўл ўзи майдалаш тегирмонининг частотавий ростланадиган электр юритмаси жорий этилди. Натижада 277 820 кВт\*соат электр энергияси тежалди ва бу йилига 125 019 000 сўмни ташкил этди. ММС 70-23 тегирмонлари учун частота ўзгартиргичини жорий этишнинг иқтисодий фойдасини баҳолаш 4,8 йиллик қоплаш муддатини, кейин эса фойда келтиришини кўрсатади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА НАУК DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 ПРИ ИНСТИТУТЕ  
ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ  
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

---

**АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ**

**ТАШЕВА ХАДИЧА ТУЙБОЕВНА**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДЫ**  
(на примере АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат»)

**05.05.01 – Энергетические системы и комплексы**

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

**Ташкент – 2024**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2021.4.PhD/T2507.**

Диссертация выполнена в Институте проблем энергетики Академии Наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации размещён на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) на сайте Научного совета ([www.energetika.uz](http://www.energetika.uz)) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:** **Ишназаров Ойбек Хайрилаевич**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Арипов Назиржан Мукарамович**  
доктор технических наук, профессор

**Халиков Солихджан Субханович**  
кандидат технических наук, доцент

**Ведущая организация:** **Навоийский государственный горно-технологический университет**

Защита диссертации состоится на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2021.T.143.01 при Институте проблем энергетики АН РУз в 2024 г. «\_\_\_» \_\_\_\_\_ в \_\_\_ часов. (Адрес: 100164, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 40. Тел.: (+99897) 480-28-07, e-mail: [energetika\\_in@umail.uz](mailto:energetika_in@umail.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института проблем энергетики АН РУз (зарегистрирован под номером \_\_\_\_). (Адрес: 100164, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 40. Тел.: (+99897) 480-28-07).

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 года.

(реестр протокола рассылки № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.).

**Х.М. Муратов**

Председатель Научного совета по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, профессор

**Ж.Н. Толипов**

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

**Ш.В. Хамидов**

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 диссертационной работы**

В мире особое внимание уделяется управлению существующими технологическими процессами в горно-металлургической промышленности, улучшению их технических показателей, повышению энергоэффективности в процессе измельчения руды. В настоящее время в развитых странах «...3,5% мирового потребления энергии идет на горно-металлургическую промышленность, из них 1% идет на процесс измельчения. В связи с этим определена возможность экономии потребления энергоресурсов за счет регулирования режимов работы мельниц»<sup>2</sup>. В связи с этим особое внимание уделяется разработке математической модели и структурной схемы регулируемого электропривода мельницы, в том числе совершенствованию системы частотно-регулируемого электропривода, обеспечивающей рациональные режимы технологических процессов.

В мире проводятся научные исследования, направленные на повышение эффективности мельниц мокрого самоизмельчения в процессе измельчения руды, а также плавный пуск высоковольтных синхронных двигателей в зависимости от степени заполнения барабана рудой. В этом направлении приоритетными считаются исследования по разработке системы частотно-регулируемого электропривода мельницы с учетом оптимальных режимов работы мельницы мокрого самоизмельчения, определения частоты вращения и момента сопротивления мельницы в зависимости от состава поступающей руды с учетом твердости и плотности руды, а также ее наполнения. В то же время актуальными задачами являются пуск синхронных машин и определение факторов, влияющих на потребление электроэнергии.

В Республике проводятся масштабные мероприятия по повышению эффективности использования энергоресурсов, созданию и совершенствованию новых технологических решений и их внедрению в целях снижения себестоимости продукции. В стратегии развития Узбекистана на 2022-2026 годы поставлены задачи, в том числе «бесперебойное энергоснабжение экономики и активное внедрение технологий «зеленой экономики» во всех сферах, повышение энергоэффективности экономики на 20%». При реализации этих задач, в частности, считается важным проведение научно-исследовательских работ, направленных на решение задач повышения энергоэффективности за счет регулирования режимов работы синхронных машин, определения оптимальной скорости и интенсивности пуска.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы», Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-57 от 16 февраля 2023 года «О мерах по ускорению

---

<sup>2</sup><https://www.dissercat.com/content/sovershenstvovanie-upravleniya-protsessom-izmelcheniya-rudnykh-materialov-s-primeneniem-prav>

внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023 году», № ПП 2692 от 22 декабря 2016 года «О дополнительных мерах по ускоренному обновлению физически изношенного и морально устаревшего оборудования, а также сокращению производственных затрат предприятий отраслей промышленности», № ПП-4422 от 22 августа 2019 года «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» и ПП-4779 от 10 июля 2020 года «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной области.

**Соответствие исследования приоритетам развития науки и технологий Республики Узбекистан.** Данное исследование проводилось в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики: II. «Энергетика, энерго- ресурсосбережение».

**Степень изученности проблемы.** Мировые учеными ведется масштабные исследования для обеспечения водопадного режима мельниц и определения режима энергосбережения с помощью регулирования скорости вращения синхронных двигателей во многих ведущих научных центрах и высших учебных заведениях, в том числе Molycorp (США), Массачусетском технологическом институте (США), Мичиганский университет (США), Университет Ватерлоо (Канада), Great West Mineral Group (ЮАР), Mount Weld (Австралия), Токийский технологический институт (Япония), Всероссийский научно-исследовательский институт электроэнергетики (Россия), Национальном исследовательском университете (Россия) и Ташкентском государственном техническом университете (Узбекистан) ведется обширная научно-исследовательская работа.

Ряд мировых ученых внесли свой вклад в разработку по повышению эффективности и исследованию гибкой системы управления мельницами, улучшению технологических показателей, совершенствованию систем возбуждения синхронных машин, в том числе: Ф.Бонд, С.Е.Андреев, Э.Э.Линч, Ка.Луан, П.В.Маляров, Б.К.Мисра, Значительный вклад внесли С.Моррелл, В.А.Олевский, В.А.Перов, Р.К.Раджимани, К.А.Разумов, Э.Э.Серго и другие.

Для решения научных задач, направленных на оптимизацию режимов энергопотребления промышленных предприятий нашей Республики и повышение энергоэффективности, отечественные ученые М.З.Хамудханов, Т.С.Камалов, А.А.Хошимов, Н.М.Арипов, К.Муминов, Ф.А.Хошимов, К.Т.Алимходжаев, М.К.Бобожанов, О.Х.Ишназаров, О.З.Тоиров, Ж.А.Мавлонов, а также другие ученые проводят соответствующие исследования. В результате научных исследований достигнуты значительные результаты по повышению эффективности системы частотного регулирования электроприводов.

Несмотря на значительные успехи, проведено недостаточно исследований по разработке и развитию энерго- и ресурсосберегающих режимов высоковольтных синхронных машин мельниц, а также влияние производственных и технологических факторов на эффективность, энергопотребление и режимы работы мельницы мокрого самоизмельчения, математическая модель системы «синхронная машина - мельница мокрого самоизмельчения», созданию структурной схемы.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом НИР Института проблем энергетики АН РУз в рамках фундаментальных и прикладных проектов: АЗ-ФА-Ф106 «Модернизация энерго- и ресурсосберегающих технологий в промышленности (горно-металлургической) и сельском хозяйстве (насосные станции систем машинного орошения) на базе частотно-регулируемых электроприводов, адаптированных к их типичным механизмам, обеспечивающие рациональные режимы технологического процесса производства» (2012-2014 гг.), ФА-АЗ-90053 «Разработка энерго-ресурсосберегающих режимов энергопотребления энергоемких объектов отраслей экономики» (2015-2017гг); БВ-Атех-2018-27 «Мониторинг энерго- и ресурсосбережения энергосилового оборудования энергоемких объектов АО «Алмалыкский ГМК» в подразделениях: Медеплавильный завод и вновь поступающего энергосилового оборудования по программе перспективного развития производства по другим подразделениям Алмалыкского ГМК» (2018-2020гг.).

**Целью исследования** является повышение эффективности использования электроэнергии в процессе измельчения руды мельничными установками.

**Задачи исследований:**

определение воздействия параметров процесса измельчения на электропотребление мельницы мокрого самоизмельчения;

разработка математической модели и структурной схемы регулируемого электропривода мельницы мокрого самоизмельчения;

выявление энергосберегающего режима работы мельницы мокрого самоизмельчения;

усовершенствование способа пуска мельницы мокрого самоизмельчения;

разработка метода расчета момента сопротивления мельницы мокрого самоизмельчения и определение оптимальной скорости вращения.

**Объектом исследования** является электропотребление и режим работы мельницы мокрого самоизмельчения.

**Предметом исследования** являются совершенствование метода управления мельницей мокрого самоизмельчения и создание моделей определения оптимальной скорости вращения для обеспечения водопадного режима и повышения энергоэффективности.

**Методы исследования.** В процессе исследования использованы теории электропривода и автоматического управления, градиентный метод, математическая статистика, методы математического и компьютерного моделирования, а также экспериментальные методы исследований.

**Научная новизна результатов состоит в следующем:**

разработана математическая модель потребления электрической энергии мельницы мокрого самоизмельчения с учетом изменения скорости вращения, твердости руды и соотношения жидкости и твердой фазы;

разработана математическая модель и структурная схема частотно-регулируемого электропривода мельницы мокрого самоизмельчения на основе модели мельницы Bond с учетом твердости и плотности руды, а также ее заполненности;

выявлен энергосберегающий режим работы мельницы мокрого самоизмельчения на основе обеспечения водопадного режима и регулирования скорости вращения;

усовершенствован метод частотного пуска мельницы мокрого самоизмельчения на основе оптимального ускорения и рационального закона асинхронного частотного пуска;

разработана методика расчета момента сопротивления мельницы мокрого самоизмельчения и определена оптимальная скорость вращения на основе технологических показателей и метода градиентного спуска.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

определена структура электропотребления мельницы мокрого самоизмельчения, состоящая из отдельных элементов, формирующих электрический баланс;

выявлены возможности повышения эффективности использования мельницы мокрого самоизмельчения и требования технологического процесса измельчения руды к его электроприводу;

изучена система «частотный преобразователь – синхронный двигатель – мельница мокрого самоизмельчения» как объект управления и определена рациональная структурная схема, обеспечивающая водопадный режим и энерго- и ресурсосбережение технологического процесса при заданных требованиях.

**Достоверность полученных результатов исследования** обосновывается правильным применением методов расчета максимальной производительности, основных законов, теорий и методов расчета сопротивления руды, а также подтверждается совпадением теоретических, компьютерных и экспериментальных результатов.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость полученных результатов исследований характеризуется научной сущностью результатов исследований по развитию теории моделирования системы «частотный преобразователь - синхронный двигатель – мельница мокрого самоизмельчения» с учетом факторов, влияющих на режим его работы; определением оптимальной скорости вращения мельницы мокрого самоизмельчения, обеспечивающего

водопадный режим и снижение энергозатрат, планированием вычислительных экспериментов и созданием условий практического применения.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке частотно-регулируемого электропривода мельницы мокрого самоизмельчения для обеспечения водопадного режима и повышения энергоэффективности работы технологического оборудования; разработке методики расчета момента сопротивления мельницы мокрого самоизмельчения.

#### **Внедрение результатов исследования.**

На основании научных результатов по регулированию скорости вращения и плавному пуску мельниц мокрого самоизмельчения, обеспечивающих оптимизацию режимов работы и снижение энергозатрат:

энергосберегающий режим работы мельницы мокрого самоизмельчения и математическая модель технологического процесса измельчения руды внедрены в Медно-обогатительной фабрике АО «Алмалыкский ГМК» (Справка о внедрении АО «Алмалыкский ГМК» за №61-СГЭ-СхХ-22-10-0159 от 12 октября 2022 года). В результате получена возможность снижения расхода электрической энергии на 277 820 кВт\*ч в год;

система плавного пуска высоковольтной синхронной машины мельницы мокрого самоизмельчения Внедрена в Медно-обогатительной фабрике АО «Алмалыкский ГМК» (Справка о внедрении АО «Алмалыкский ГМК» за №61-СГЭ-СхХ-22-10-0159 от 12 октября 2022 года). В результате экономическая эффективность составила 125019000 сум в год

**Апробация результатов исследования:** исследования по диссертационной работе апробированы в 3 международных и 8 республиканских конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 19 научно исследованных работ, в том числе 7 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК, из них опубликовано в 5 республиканских и 2 международных журналах, а также 1 свидетельство Министерства Юстиции Республики Узбекистан для программы, созданной для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертационной работы составляет 109 страниц.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во введении обосновываются актуальность и востребованность темы диссертации, цель исследования, характеризуются объект и предмет. Показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики Узбекистан. Излагаются научная новизна и практические результаты исследования, приводятся достоверность полученных результатов и внедрение в практику результатов исследования, итоги апробации работы, сведения по опубликованным научным работам и о структуре диссертации.



В первой главе диссертации **«Современное состояние и перспективы развития измельчения руды»** проведен анализ современного состояния и перспективы развития измельчения руды в мельницах ММС, показана технология измельчения минерального сырья. Дана краткая характеристика измельчения руды. Литературный обзор позволил рассмотреть различные методы и подходы к повышению энергетической эффективности мельниц мокрого самоизмельчения. Исследование публикаций подтвердило значимость регулируемых электроприводов для поддержания водопадного режима с целью оптимизации энергопотребления в таких мельницах.

Определена методика расчета момента сопротивления в мельнице мокрого самоизмельчения с учетом параметров руды, размеров руды и скорости вращения барабана. Полученные результаты указывают на важность оптимального выбора режима работы электропривода, исходя из требуемого момента сопротивления и уровня измельчения руды.

Изучены особенности технологического процесса мельниц мокрого самоизмельчения и его взаимосвязь с электроприводом. Выявлены ключевые требования к электроприводу, такие как высокая регулируемость скорости вращения, надежность, устойчивость к влажной среде и высокой загрузке. Подтверждена важность применения регулируемых электроприводов для оптимизации энергопотребления и повышения эффективности измельчения.

Выявлено, что водопадный режим способствует улучшению процесса размола и снижению энергозатрат, особенно при обработке твердых материалов. Водопадный режим позволяет добиться оптимальной степени измельчения руды при более низких энергозатратах, что демонстрирует потенциал для снижения энергетических издержек и повышения общей производительности процесса.

Во второй главе диссертации **«Режим работы мельничных установок мокрого самоизмельчения»** приведены анализ особенностей работы мельниц мокрого самоизмельчения руды, роль регулируемого электропривода в повышении эффективности мельниц мокрого самоизмельчения, а также освещены вопросы обеспечения водопадного режима работы мельниц мокрого самоизмельчения.

В ходе исследования были рассмотрены вопросы, связанные с режимом работы мельничных установок мокрого самоизмельчения. Проведенный регрессионный анализ позволил установить модель потребления электроэнергии ММС, зависящую от скорости вращения ( $n$ ), твердости руды ( $t_R$ ) и соотношения жидкости и твердой фазы ( $S$ ).

Мельницы мокрого самоизмельчения руды являются важным звеном в процессе обработки полезных ископаемых, их эффективная работа имеет ключевое значение для обогащения рудных материалов. Одним из основных факторов, влияющих на работу таких мельниц, является мощность, которая определяет производительность и энергетическую эффективность данного оборудования.

Для более глубокого понимания работы мельниц мокрого самоизмельчения проведено математическое моделирование процесса. Одной

из ключевых формул, описывающих процесс, является уравнение эффективности измельчения:

$$\Xi = \frac{D_{80}}{D_{50}}, \quad (1)$$

где  $\Xi$  – эффективность измельчения,  $D_{80}$  – диаметр частиц, при котором 80% материала измельчено,  $D_{50}$  – диаметр частиц, при котором 50% материала измельчено.

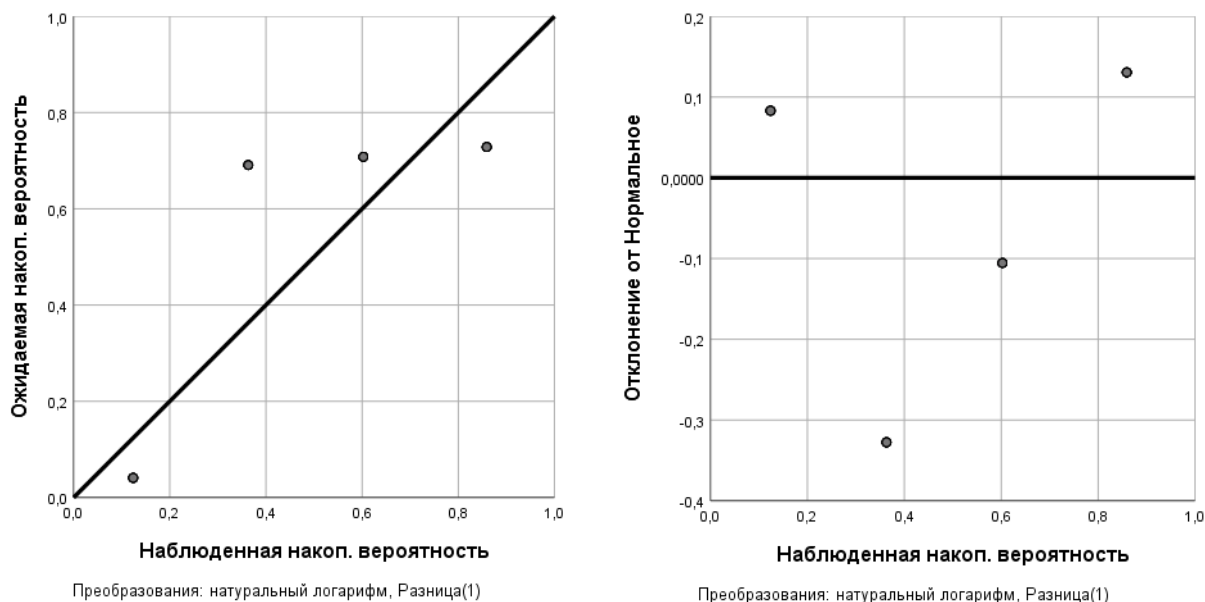
Это уравнение позволяет оценить эффективность процесса и определить оптимальные параметры мельницы для достижения требуемой степени измельчения.

Установлено, что полученная модель обладает достаточной степенью точности и адекватности, что подтверждается значимостью коэффициентов регрессии. Полученные значения коэффициентов подчеркивают влияние каждого из факторов (скорость вращения, твердость руды, соотношение фаз) на потребление электроэнергии.

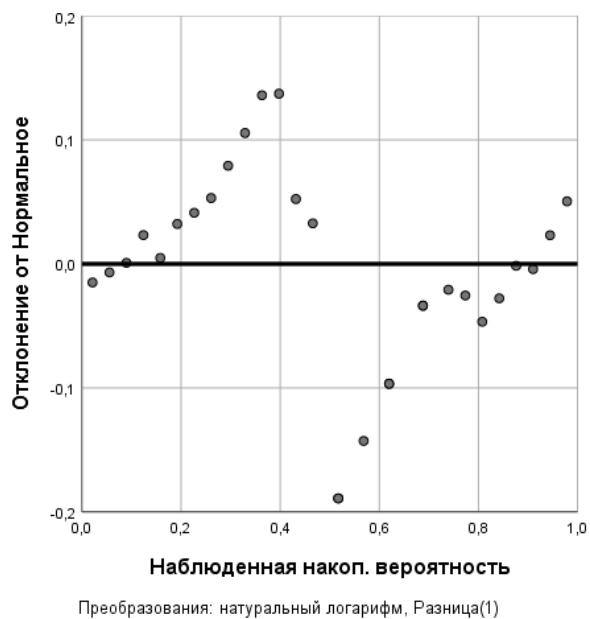
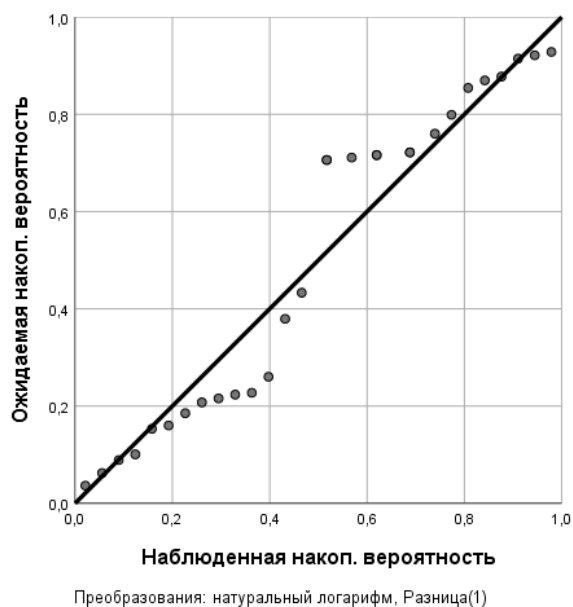
Модель, которая учитывает скорость вращения барабана ( $n$ , об/мин), твердость руды в шкале Роквелла ( $t_R$ , HRC), соотношение жидкости и твердой фазы ( $S$ , %), и потребляемая мощность ( $P$ , кВт).

$$P(n, t_R, S) = k_1 \cdot n + k_2 \cdot t_R + k_3 \cdot S, \quad (2)$$

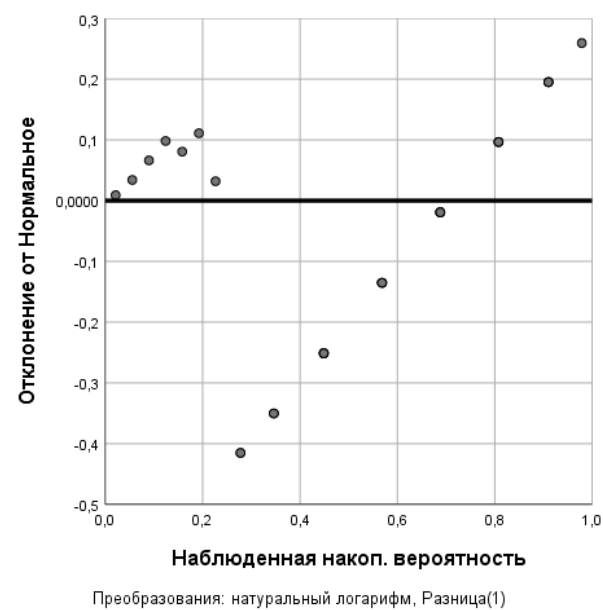
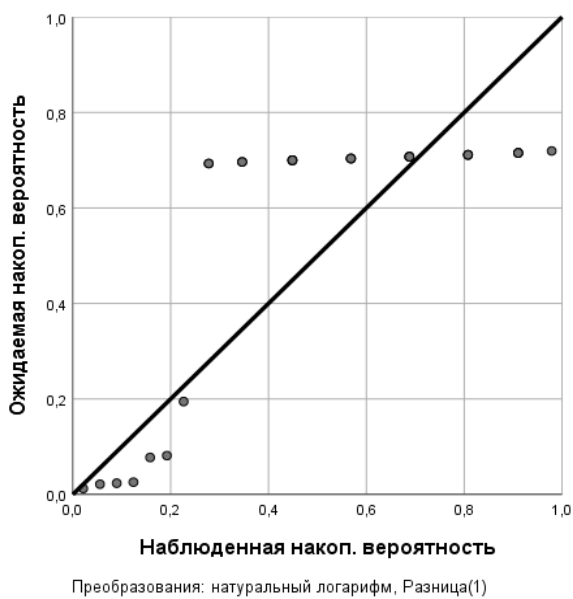
здесь  $k_1, k_2, k_3$  – коэффициенты, которые зависят от условий работы мельницы.



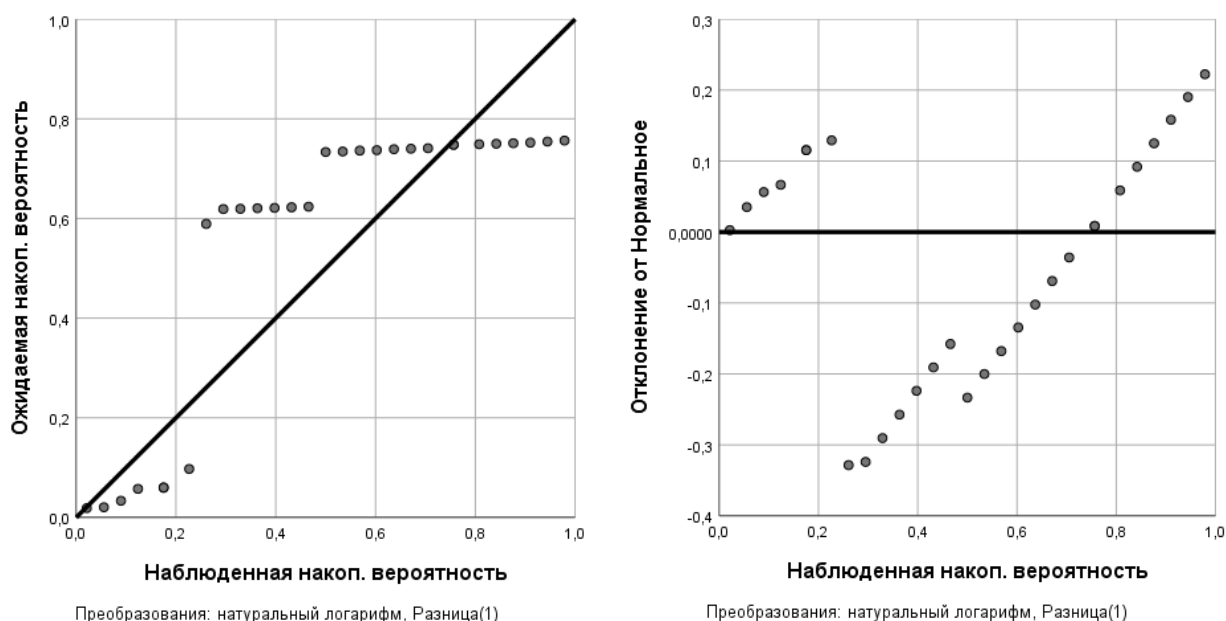
**Рис. 1. P-P графики распределения для скорости вращения (нормальное и нормальное с удаленным трендом)**



**Рис. 2. P-P графики распределения для твердости руды (нормальное и нормальное с удаленным трендом)**



**Рис. 3. P-P графики распределения для соотношения жидкости и твердой фазы (нормальное и нормальное с удаленным трендом)**



**Рис. 4. P-P графики распределения для потребляемой мощности (нормальное и нормальное с удаленным трендом)**

Доказано, что электроприводы и системы регулирования скорости играют ключевую роль в повышении эффективности мельниц мокрого самоизмельчения. Эти устройства обеспечивают оптимальное соответствие процессу обработки и способствуют достижению баланса между производительностью и энергопотреблением.

Общеизвестно, мельницы мокрого самоизмельчения являются важным оборудованием в процессах измельчения руды. Одним из ключевых факторов, определяющих их производительность и эффективность, является электропривод, который обеспечивает не только вращение барабана, но и регулирование его скорости.

Таким образом, проведенный регрессионный анализ позволил определить следующую модель потребления потребляемой мощности ММС  $P$ , зависящую от скорости вращения ( $n$ ), твердости руды ( $t_R$ ) и соотношения жидкости и твердой фазы ( $S$ )

$$P = 741,604 + 37,907n - 1,337t_R + 22,444S. \quad (3)$$

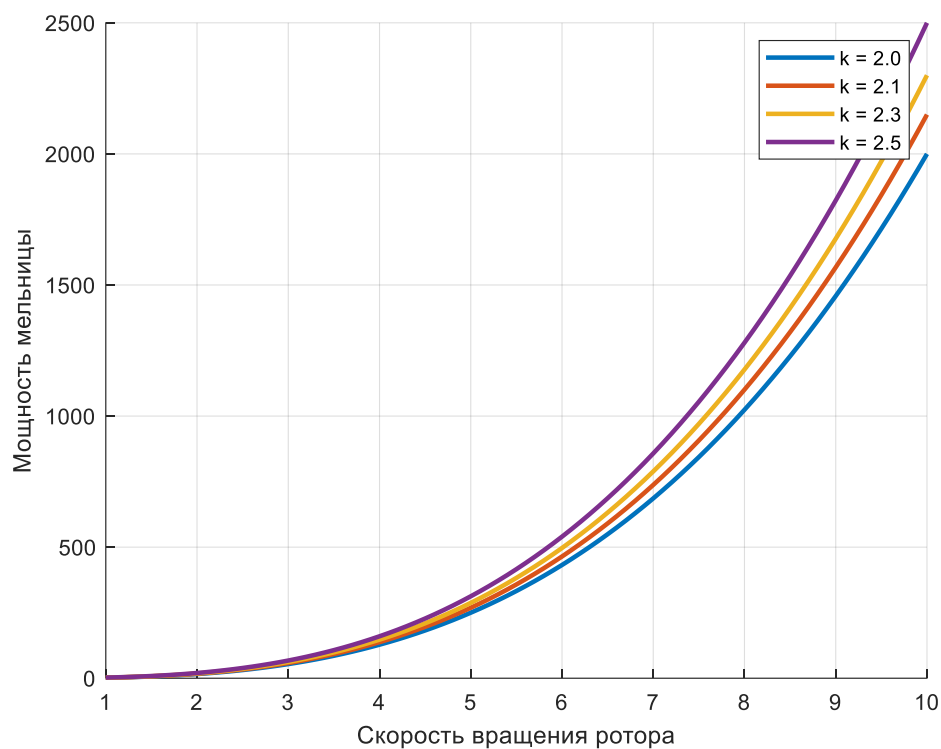
Регулирование скорости вращения барабана ММС позволяет достичь нескольких ключевых преимуществ, способствующих повышению эффективности обработки руды.

Путем изменения скорости вращения барабана можно достичь оптимальной интенсивности измельчения, что приводит к более равномерному распределению размеров частиц и увеличению выхода ценных компонентов. Эффективная работа мельницы мокрого самоизмельчения может быть описана следующей формулой:

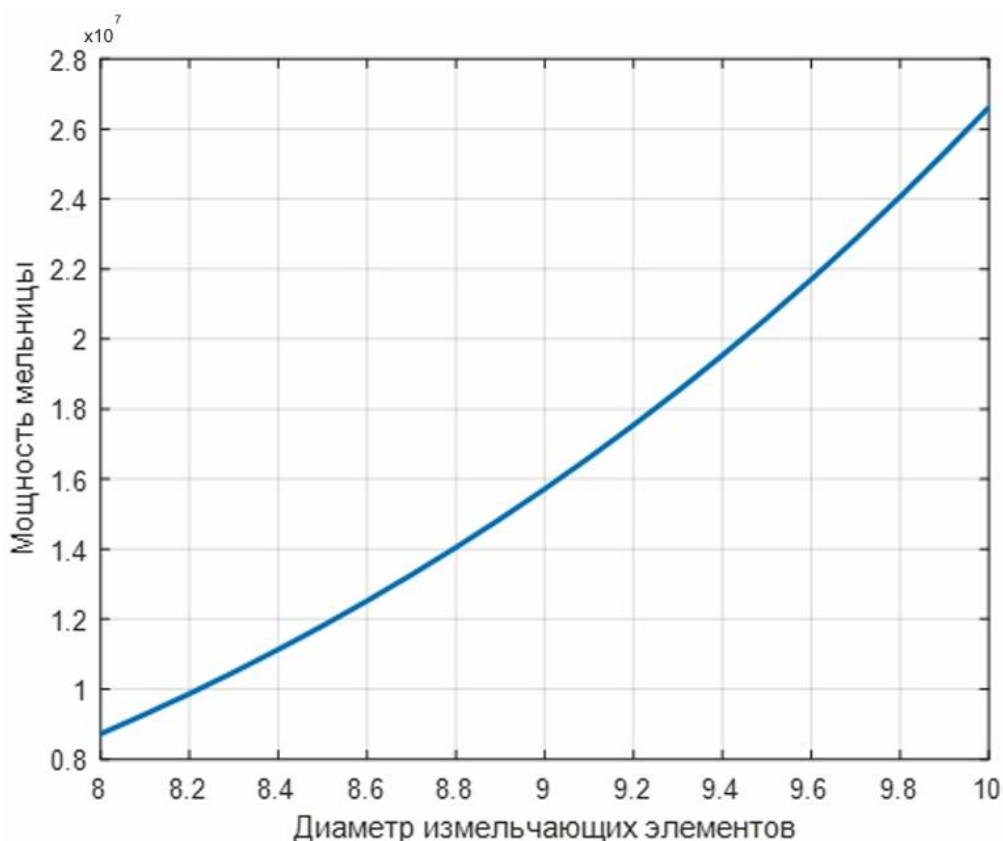
$$P = k \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^2 \cdot V, \quad (4)$$

где  $P$  – мощность мельницы,  $k$  – коэффициент эффективности,  $\rho$  – плотность руды,  $n$  – скорость вращения барабана,  $D$  – диаметр измельчающих элементов,  $V$  – объем подачи материала.

Зависимость потребляемой мощности ММС от скорости вращения при различных значениях эффективности представлен на рис. 5. А на рис. 6 приведена зависимость потребляемой мощности ММС от диаметра измельчающих элементов.



**Рис. 5. Зависимость потребляемой мощности ММС от скорости вращения при различных значениях коэффициента эффективности**



**Рис. 6. Зависимость потребляемой мощности ММС от диаметра измельчающих элементов**

Для определения средней скорости частиц в ММС в процессе измельчения воспользуемся формулой:

$$v_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{u}, \quad (5)$$

где  $v_{\text{ср}}$  – средняя скорость частиц в процессе измельчения руды;  $v_i$  – скорость частицы;  $u$  – объем измельчаемых частиц.

Далее, была исследована возможность построения регулируемого электропривода с использованием частотного преобразователя для эффективного контроля скорости вращения мельницы. Полученные результаты подтверждают возможность улучшения контроля над процессом мокрого самоизмельчения.

Кроме того, доказано, что достижение водопадного режима работы мельниц мокрого самоизмельчения имеет решающее значение для оптимизации эффективности измельчения и энергопотребления. Учитывая различные факторы, такие как скорость вращения мельницы, степень заполнения мелющих тел, вязкость суспензии и свойства материалов, можно предположить, что предложенные формулы являются отправной точкой для определения оптимальных параметров мельницы.

Третья глава диссертации «**Частотно-регулируемый электропривод мельницы мокрого самоизмельчения**» посвящена разработке математической модели регулируемого электропривода мельницы мокрого самоизмельчения, определяется момент инерции мельницы приведенный к валу двигателя.

Модель мельницы Bond описывает производительность мельницы в зависимости от твердости и плотности руды, а также ее заполненности. Уравнение мельницы Bond выглядит следующим образом:

$$W_m = \frac{10}{W_i} \left( \left( \frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \cdot (K_2 \cdot \sqrt{P_э} \cdot n - \sqrt{W_i}) \right) \quad (6)$$

где:  $W_m$  – энергопотребление мельницы (энергия, необходимая для измельчения);

$W_i$  – индекс работы Bond для руды;

$P_{80}$  – размер частиц, при котором 80% материала проходит через мельницу (для входящего материала);

$F_{80}$  – размер частиц, при котором 80% материала проходит через мельницу (для выходящего материала);

$K_2$  – коэффициент, зависящий от конструкции и характеристик конкретной мельницы;

$P_э$  – эффективная мощность мельницы;

$n$  – частота вращения мельницы;

$W_i$  – индекс работы Bond для материала.

Уравнение заполненности мельницы: Заполненность мельницы рудой ( $F_3$ ) можно описать как отношение объема руды к объему мельницы.

$$F_3 = \frac{V_{\text{руда}}}{V_{\text{мельница}}}, \quad (7)$$

где:  $V_{\text{руда}}$  – объем руды в мельнице,

$V_{\text{мельница}}$  – объем мельницы.

Эта модель будет позволять учитывать эффективность мельницы с учетом заполненности рудой.

На рисунке 7 приведена передаточная функция системы «Частотный преобразователь – синхронный двигатель – мельница мокрого самоизмельчения». На рисунке 8 приведен график Bode (Bodeplot), т.е. графическое представление частотной характеристики линейной, временно-инвариантной системы. На рисунке 9 приведен график Step response (ответ на единичное ступенчатое воздействие).

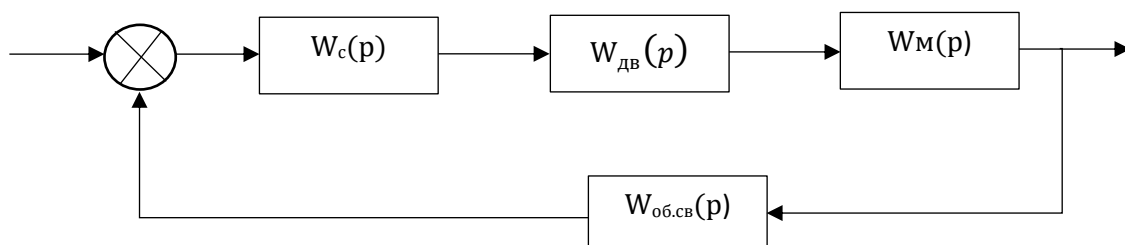
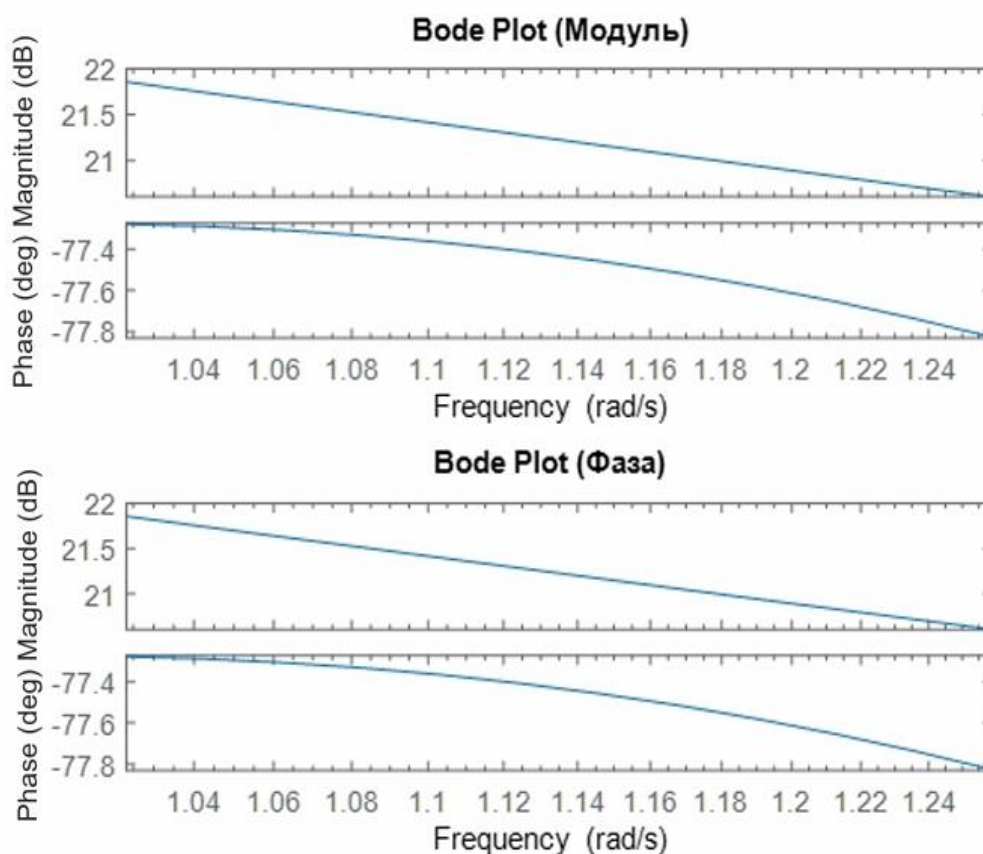
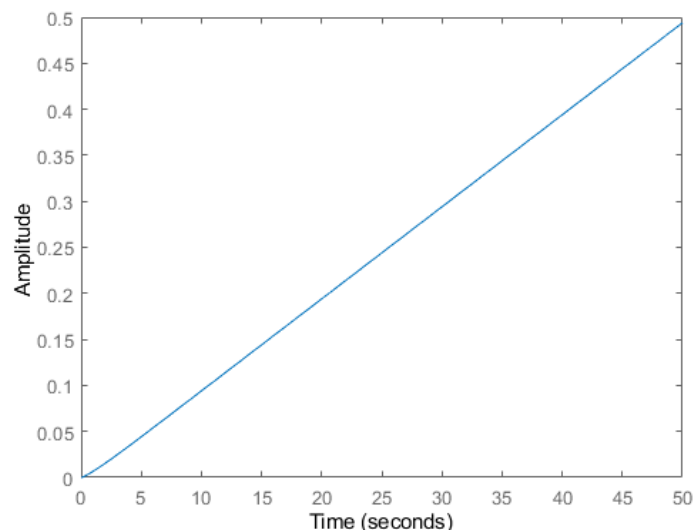


Рис. 7. Передаточная функция системы «Частотный преобразователь – синхронный двигатель – мельница мокрого самоизмельчения»



**Рис. 8. График Bodeplot системы «Частотный преобразователь – синхронный двигатель – мельница мокрого самоизмельчения»**



**Рис. 9. График Step response системы «Частотный преобразователь – синхронный двигатель – мельница мокрого самоизмельчения»**

Как показывает анализ полученных результатов, система «Частотный преобразователь – синхронный двигатель – мельница мокрого самоизмельчения» позволяет изменять скорость вращения, обеспечивая не только высокую производительность, но и минимизацию энергопотребления. Результаты оценки подтверждают, что регулирование скорости способствует снижению затрат на энергию, что имеет прямой экономический эффект. Кроме



того, точное регулирование позволяет уменьшить износ футеровок мельницы, повысив его срок службы и уменьшив операционные риски.

Показатели прямого пуска СД в асинхронном режиме и втягивание в синхронизм приведены на рис. 10 и 11. На рис. 12. приведена временная зависимость электромагнитного момента.

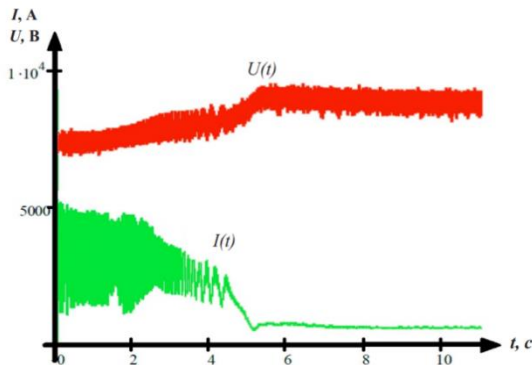


Рис. 10. Огибающие межфазных напряжений и токов фаз статора СД при его асинхронном пуске и втягивании в синхронизм

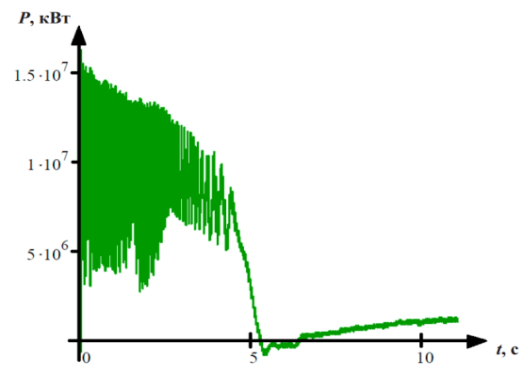


Рис. 11. Трехфазная мгновенная мощность СД при его асинхронном пуске и втягивании в синхронизм

На рис. 13. Приведена расчетная временная зависимость угловой частоты вращения ротора при асинхронном пуске и втягивании в синхронизм.

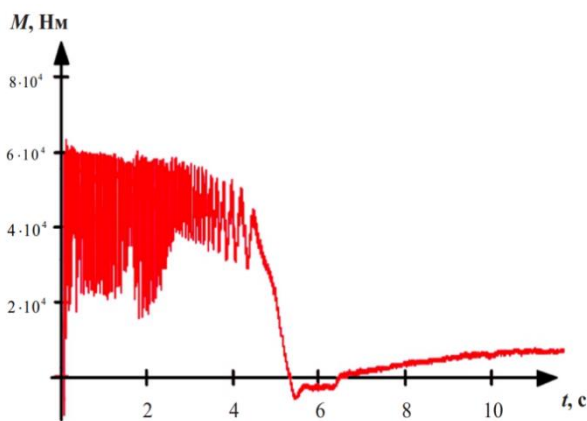


Рис. 12. Расчетная временная зависимость электромагнитного момента  $m(t)$  СД при его асинхронном пуске и втягивании в синхронизм

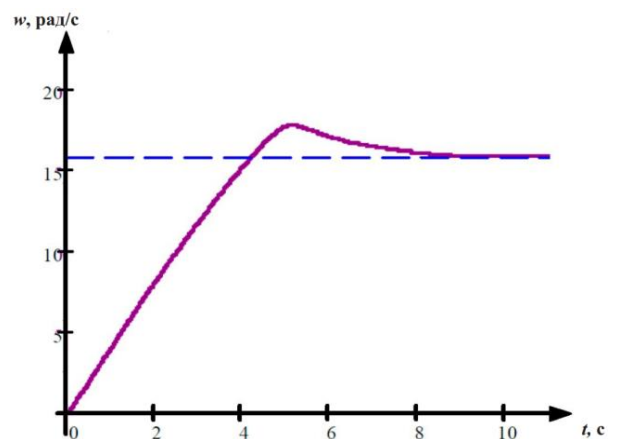
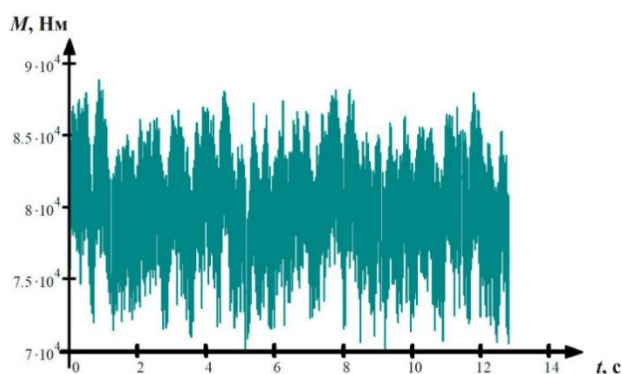


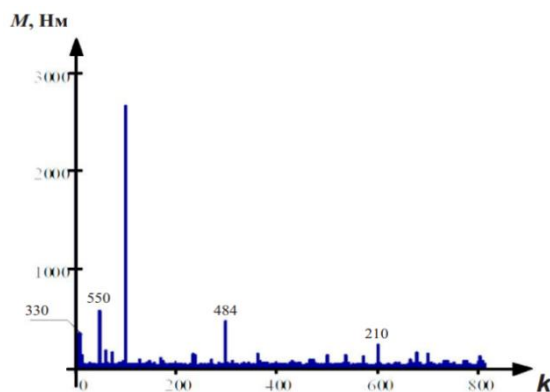
Рис. 13. Расчетная временная зависимость угловой частоты вращения ротора  $w(t)$  СД при его асинхронном пуске и втягивании в синхронизм

Следует отметить, что полученные значения электромагнитного момента СД имеют пульсирующий характер (рис 14).

Из рис. 15 видно, что временная зависимость момента содержит ряд основных гармоник с частотами 50, 100, 300 и 600 Гц. Спектр электромагнитного момента СД.

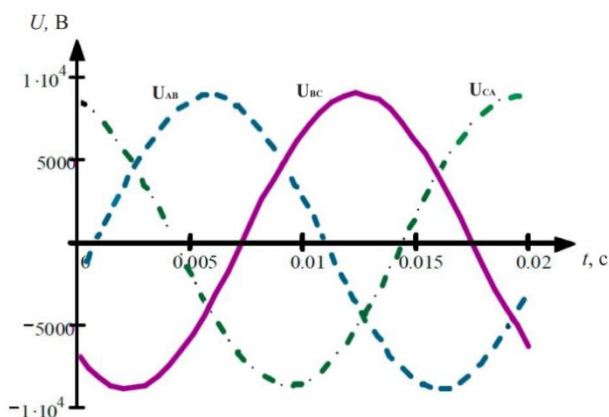


**Рис. 14. Мгновенные значения электромагнитного момента СД  $m(t)$  в установившемся режиме**

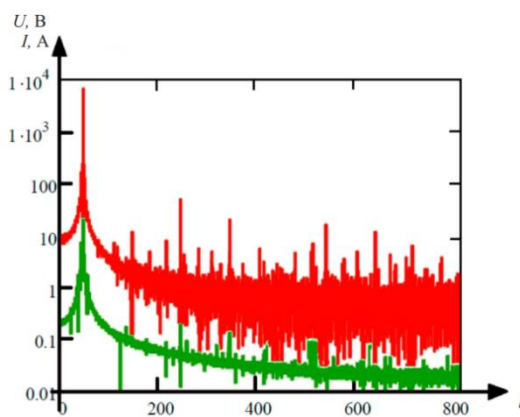


**Рис. 15. Спектр электромагнитного момента СД**

Временные зависимости межфазных напряжений на зажимах статора СД приведены на (рис. 16). Параметры питающего напряжения с использованием методов спектрального анализа (рис. 17):



**Рис. 16. Временные зависимости межфазных напряжений на зажимах статора СД**



**Рис. 17. Спектральный состав межфазных напряжений и фазных токов СД**

Полученные результаты показывают, что возможно рассчитать временные характеристики момента и угловой скорости вращения ротора СД, основываясь на экспериментально измеренных напряжениях и токах фаз двигателя без использования датчика скорости. Вычисленное значение угловой скорости, преобразованное в угол поворота, может быть применено в системах ПЧ-СД для мониторинга углового положения ротора. Рассчитанные показатели качества питающего напряжения позволяют оценить срок службы СД.

Была разработана математическая модель частотно-регулируемого синхронного электропривода для мельницы мокрого самоизмельчения типа ММС 70-23. Модель учитывает важные параметры и уравнения, связанные с электроприводом и мельницей, и может использоваться для численного моделирования и анализа работы системы в различных условиях.

Основные уравнения описывают динамику статорных и роторных токов, механическую мощность мельницы, а также её скорость вращения. Эти

уравнения взаимосвязаны и позволяют оценить эффективность и динамику работы мельницы при изменяющихся условиях технологического процесса. Данная модель может служить основой для проведения исследований по оптимизации работы мельниц мокрого самоизмельчения с использованием частотно-регулируемых электроприводов. Предполагается, что использование такого электропривода может улучшить эффективность и контроль процесса измельчения руды, что является ключевым аспектом в современной горнодобывающей промышленности.

Результаты численного моделирования пусковых режимов электропривода предоставляют следующие ключевые выводы:

- Пусковые токи и напряжения: В начальный момент времени при включении электропривода возникают высокие токи и напряжения, которые требуют внимательного контроля. Анализ этих параметров позволяет оптимизировать пусковые стратегии и уменьшить воздействие на оборудование.

- Пусковой момент: Важным аспектом является оценка пускового момента, который должен быть достаточным для преодоления начальных сил трения и нагрузки. Эффективный пусковой момент обеспечивает стабильный и контролируемый запуск мельницы.

Динамика изменения скорости: Пусковая динамика системы также важна для избежание резких изменений скорости, которые могут привести к перегрузкам или потере устойчивости процесса.

Наиболее эффективным решением проблемы пуска СД мельницы является применение частотного пуска, при этом одной из наиболее важных задач исследования является определение условий пуска СД.

Момент сопротивления мельницы при пуске является сложной величиной, зависящей от нескольких параметров:

- конструктивных данных барабана;
- массы и размера мелющих тел;
- параметров технологического процесса (заполнение барабана и т.п.)
- от скорости вращения барабана и, следовательно, режимов работы мельницы.

Возникновение ударного момента при пуске мельницы, в отличие от установившегося режима, обусловлено кратковременным уменьшением веса загрузки на величину суммарного веса оторвавшейся части материала, а после его падения приращением веса загрузки.

Разработанная система обеспечивает стабильность даже при резких изменениях параметров. Система регулирования скорости вращения электропривода ММС обладает высокой степенью устойчивости в различных режимах работы.

Четвёртая глава диссертации **«Оптимизация режимов работы мельниц мокрого самоизмельчения»** посвящена разработке математической модели процесса измельчения руды, определена технико-экономическая эффективность внедрения частотно-регулируемого электропривода для мельничной установки.

Энергозатраты на процесс измельчения занимают 30 - 50 % в общей себестоимости горно-обогатительного передела. Исследования показывают, что максимальная эффективность извлечения полезного компонента при обогащении руд достигается при крупности части 0,074 мм.

Как видно из рис.18 рудоподготовка состоит из нескольких процессов: дробление руды, двухстадиальное измельчение руды, классификация руды. При этом в результате процесса выделяется крупная фракция пульпы, которая возвращается на доизмельчение.

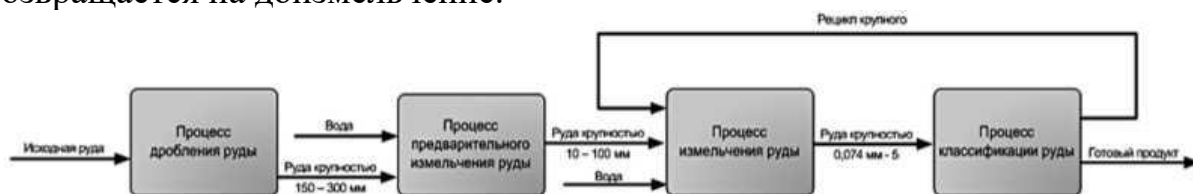


Рис. 18. Процесс рудоподготовки

С позиции управления наиболее важными и сложными являются непрерывные процессы измельчения руды. Сложность управления заключается в том, что оптимальный режим находится в непосредственной близости от предела устойчивости, что с учетом значительных транспортных запаздываний еще больше осложняет задачу его поддержания.

Экономическая эффективность внедрения преобразователя частоты для электропривода мельниц.

Известно, что номинальная потребляемая мощность мельницы мокрого самоизмельчения составляет в среднем 2500 кВт\*ч. Соответственно за час работы при существующей технологии измельчения руды расход электроэнергии составит около 2450кВт\*ч.

При применении преобразователя частоты в работе мельницы, по экспериментальным данным наблюдается, что она вращается с разной скоростью от 9 до 12 оборотов в минуту. В результате достигается экономия энергии за счет регулирования скорости вращения, зависимости твердости руды, загружаемой в барабан мельницы, соотношения жидкости и твердой фазы измельчаемой руды.

В этом случае средний расход электроэнергии за 1 час, можно рассчитать по формуле

$$W = 78,5m + 1430$$

Среднее потребление электроэнергии за 1 час, соответствующее числу оборотов барабана мельницы в минуту:

при вращении 9 раз в минуту в стабильном состоянии за час составит

$$W = 78,5 * 9 + 1430 = 2136,5 \text{ кВт*ч};$$

при вращении 10 раз в минуту в стабильном состоянии за час составит

$$W = 78,5 * 10 + 1430 = 2215 \text{ кВт*ч};$$

при вращении 11 раз в минуту в стабильном состоянии за час составит

$$W = 78,5 * 11 + 1430 = 2293,5 \text{ кВт*ч};$$

при вращении 12 раз в минуту в стабильном состоянии за час составит

$$W = 78,5 * 12 + 1430 = 2372 \text{ кВт*ч}.$$

Итак, тогда среднечасовое энергопотребление мельницы составит:

$$W_{\text{сред. час}} = (2136,5 + 2215 + 2293,5 + 2372) : 4 = 2254,25 \text{ кВт*ч.}$$

Учитывая, что номинальная потребляемая мощность мельницы в исходном состоянии в среднем составляет 2450 кВт, экономия электроэнергии за 1 час за счет установки преобразователя частоты составляет:

$$W_{\text{экон. час}} = 2450 - 2254,25 = 195,75 \text{ кВт*ч.}$$

Отсюда мы можем определить среднее суточное энергопотребление мельницы составит:

$$W_{\text{сред. сут.}} = 24 \times 2254,25 = 54\,102 \text{ кВт*ч.}$$

Очевидно, что средний расход электроэнергии за 1 месяц будет:

$$W_{\text{сред. месяц}} = 25 \times 54\,103,2 = 1\,352\,580 \text{ кВт*ч.}$$

Если принять во внимание номинальное энергопотребление в среднем 2450 кВт\*ч при существующей технологии (без использования преобразователя частоты), то общее количество энергии, потребляемой в течение суток на работу мельницы, составит:

$$W_{\text{сут.}} = 24 \times 2450 = 58\,800 \text{ кВт}$$

Как видно из приведенных расчетов, экономия электроэнергии при использовании частотно-регулируемого электропривода в течение суток равняется:

$$W_{\text{экон. сут.}} = W_{\text{сут.}} - W_{\text{сред. сут.}} = 58\,800 - 54\,102 = 4\,698 \text{ кВт*ч.}$$

В том случае, если стоимость 1 кВт\*ч электроэнергии составляет 450 сум по установленному тарифу, экономическая эффективность за 1 сутки составит:

$$S_{\text{экон. сут.}} = 4\,698 \times 450 = 2\,114\,100 \text{ сум.}$$

Соответственно экономия электроэнергии за 1 месяц составит:

$$S_{\text{экон. месяц}} = 2\,114\,100 \times 25 = 52\,852\,500 \text{ сум.}$$

Все приведенные выше расчеты сведены в таблицу-1.

Таблица-1.

Сводная таблица экономических показателей

Параметры	Основные показатели				Средние показатели	В денежном выражении (при стоимости 1кВт=450 сум)
Среднее вращение барабана мельницы (об/мин)	9	10	11	12	10,5	
Средняя потребляемая мощность при использовании ПЧ (кВт)	2136,5	2215	2293,5	2372	2254,25	1 014 412,5
Экономия электроэнергии при использовании ПЧ (кВт*ч)	2450 - 136,5 = 313,5	2450 - 2215 = 235	2450 - 2293,5 = 156,5	2450 - 2372 = 78	2450 - 2254,25 = 195,75	88087,5
Суточная экономия электроэнергии при использовании ПЧ (кВт*ч)	7524	5640	3756	1872	4698	2 114 100
Месячная экономия электроэнергии при использовании ПЧ (кВт*ч)	188100	141000	93900	46800	117450	52 852 500

Стоимость потребленной электроэнергии мельницей за месяц при существующей технологии (без использования преобразователя частоты) была:

$$S_{\text{исх.месяц}} = ((2450 \times 24) \times 25) \times 450 = 661500\,000 \text{ сум},$$

а при использовании ПЧ составляет:

$$S_{\text{ПЧ.месяц}} = ((2254,25 \times 24) \times 25) \times 450 = 608647\,500 \text{ сум}.$$

Согласно приведенным выше расчетам, при использовании частотно-регулируемого электропривода экономическая эффективность за 1 месяц составит

$$661500\,000 - 608647\,500 = 52\,852\,500 \text{ сум}.$$

Расчет затрат на приобретение и установку преобразователя частоты для мельницы ММС 70-23

Ориентировочная стоимость преобразователей частоты System Electric номинальной мощностью 2500 кВт:

Устройство марки STV900M25N4.

Цена 30 642 600 российских рублей;

По курсу 1 рубль = 137 сум (на сегодняшний день),

$$30642600 \times 137 = 4\,198\,036\,200 \text{ сум}.$$

Если принять стоимость строительно-монтажных работ по установке преобразователя частоты в пределах 7% от стоимости самого оборудования,

$$4\,198\,036\,200 \times 0,07 = 293\,862\,534 \text{ сум}.$$

Стоимость пуско-наладочных работ примем в пределах 5% от стоимости оборудования, т.е.

$$4\,198\,036\,200 \times 0,05 = 209\,901\,810 \text{ сум}.$$

Общая стоимость затрат на приобретение и введение в действие устройства будет:

$$S_{\Sigma} = 4\,198\,036\,200 + 293\,862\,534 + 209\,901\,810 = 4\,701\,800\,544 \text{ сум}.$$

Если учесть, что экономическая эффективность применения преобразователя частоты для мельницы ММС 70-23 за 1 сутки составляет  $S_{\text{сут.}}$  = 2 114 100 сум, то мы сможем полностью покрыть общие затраты за

$$4\,701\,800\,544 : 2\,114\,100 = 2\,224 \text{ дня}.$$

Внедрение преобразователя частоты для мельниц ММС 70-23 окупится за  $2\,224 : 365 = 6,1$  года, и в дальнейшем будет приносить прибыль.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По результатам проведенных исследований диссертационной работы (PhD) по техническим наукам на тему: “Повышение энерго-эффективности измельчения руды (на примере АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат»)»

1. Определена методика расчета момента сопротивления в мельнице мокрого самоизмельчения с учетом параметров руды, размеров руды и скорости вращения барабана. Полученные результаты указывают на важность оптимального выбора режима работы электропривода, исходя из требуемого момента сопротивления и уровня измельчения руды.

2. Изучены особенности технологического процесса мельниц мокрого самоизмельчения и его взаимосвязь с электроприводом. Выявлены ключевые

требования к электроприводу. Выявлено, что водопадный режим работы ММС способствует улучшению процесса размола и снижению энергозатрат. Водопадный режим позволяет добиться оптимальной степени измельчения руды при более низкой энергозатрате, что демонстрирует потенциал для снижения энергетических издержек и повышения общей производительности процесса.

3. Были рассмотрены вопросы, связанные с режимом работы мельничных установок мокрого самоизмельчения. Проведенный регрессионный анализ позволил установить модель потребления электроэнергии ММС, зависящую от скорости вращения ( $n$ ), твердости руды ( $t_R$ ) и соотношения жидкости и твердой фазы ( $S$ ).

4. Была исследована возможность построения регулируемого электропривода с использованием частотного преобразователя для поддержания водопадного режима и эффективного контроля скорости вращения мельницы. Полученные результаты подтверждают возможность улучшения контроля над процессом мокрого самоизмельчения. Кроме того, доказано, что достижение водопадного режима работы мельниц мокрого самоизмельчения имеет решающее значение для оптимизации эффективности измельчения и энергопотребления. Учитывая различные факторы, такие как скорость вращения мельницы, степень заполнения мелющих тел, вязкость суспензии и свойства материалов, можно предположить, что предложенные формулы являются отправной точкой для определения оптимальных параметров мельницы.

5. Разработана математическая модель частотно-регулируемого синхронного электропривода для мельницы мокрого самоизмельчения типа ММС 70-23. Модель учитывает параметры, связанные с электроприводом и мельницей, и может использоваться для численного моделирования и анализа работы системы в различных условиях. Разработанная система обеспечивает стабильность при резких изменениях параметров технологического процесса. Система регулирования скорости вращения электропривода ММС обладает высокой степенью устойчивости в различных режимах работы.

6. Оптимизация параметров, основанная на регулировке скорости вращения мельницы в зависимости от физических характеристик руды (твердость и плотность), позволяет достичь максимальной эффективности процесса мокрого самоизмельчения. Метод градиентного спуска успешно применен для нахождения оптимальной скорости вращения мельницы, максимизирующей энергетическую эффективность.

7. По результатам научных исследований в АО «Алмалыкский ГМК» был внедрен частотно-регулируемый электропривод мельницы мокрого самоизмельчения. В результате было сэкономлено 277 820 кВт·ч электроэнергии, что составило 125 019 000 сум в год. Оценка экономической выгоды внедрения преобразователя частоты для мельниц ММС 70-23 показывает окупаемость в течение 4,8 лет и в дальнейшем будет приносить прибыль.

**ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN  
INSTITUTE OF ENERGY PROBLEMS GRANT OF SCIENTIFIC  
DEGREES IN THE PRESENCE OF Sc.02/30.12.2021.T.143.01  
DIGITAL SCIENTIFIC COUNCIL**

---

**ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN  
INSTITUTE OF ENERGY PROBLEMS**

**TASHEVA KHADICHA TUYBOYEVNA**

**INCREASING ENERGY EFFICIENCY ORE GRINDING  
(using the example of Almalyk Mining and Metallurgical Combine JSC)**

**05.05.01 – Energy systems and complexes**

**ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2024**



**The topic of dissertation of doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2021.4hD/T2507.**

Dissertation has been prepared at the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of Scientific council ([www.energetika.uz](http://www.energetika.uz)) and on Information-educational portal «ZiyoNet» ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Scientific supervisor:**

**Ishnazarov Oybek Khayrilayevich**  
Doctor of technical sciences, Professor

**Official opponents:**

**Aripov Nazirjan Mukaramovich**  
Doctor of technical sciences, Professor

**Khalikov Salikhdjan Subhanovich**  
Doctor of Philosophy in Technical Sciences (PhD)

**Leading organization:**

**Navoi state university of mining and technologies**

The defense will take «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 y. in \_\_\_\_ at the meeting of Scientific Council DSc 02/30.12.2021.T.143.01 at the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan. (Address: 40, Durmon yuli str., Tashkent, 100164, Uzbekistan. Phone number: (+99897) 480-28-07, e-mail: [energetika\\_in@umail.uz](mailto:energetika_in@umail.uz)).

The dissertation can be found at the Information Resource Centre of the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Registration number \_\_\_\_). (Address: 40, Durmon yuli str., Tashkent, 100164, Uzbekistan. Phone number: (+99897) 480-28-07).

Abstract of the dissertation was distributed on «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 year.

(mailing report № «\_\_» on «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 year).

**Kh.M. Muratov**

Chairman of the Scientific Council for the awarding scientific degrees, Doctor of technical sciences, Professor

**J.N. Tolipov**

Scientific secretary of the scientific council for awarding scientific degrees, Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Senior researcher

**Sh.V. Khamidov**

Deputy Chairman of the Scientific Council for the Award of Scientists degrees Doctor of technical sciences, Professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

**The purpose of the research** is to enhance the efficiency of electricity utilisation in the process of ore grinding by mill plants.

**Tasks of the research:**

determination of the impact of grinding process parameters on the electrical consumption of a wet self-crushing mill;

development of the mathematical model and structural scheme of the regulated electric drive of the wet self-crushing mill;

identification of the energy-saving mode of operation of the wet self-crushing mill;

improvement of the method of starting the wet self-crushing mill;

development of the method of calculation of the moment of resistance of the wet self-crushing mill and determination of the optimum speed of rotation.

**The object of the study** is the power consumption and operating mode of the wet self-crushing mill.

**The subject of the study** is the models of improvement of the control method of the wet self-crushing mill and determination of the optimum speed of rotation to ensure waterfall mode, and increase energy efficiency.

**Research methods.** The theories of electric drive and automatic control, gradient method, mathematical statistics, methods of mathematical and computer modelling, as well as experimental research methods were used in the research process.

**The scientific novelty of the results consists in the following:**

a mathematical model of electrical energy consumption of a wet self-crushing mill has been developed, taking into account the variation of rotation speed, ore hardness and liquid-to-solid phase ratio;

mathematical model and structural scheme of frequency-controlled electric drive of wet self-crushing mill on the basis of Bond mill model taking into account hardness and density of ore as well as its filling;

the energy-saving mode of operation of the wet self-crushing mill on the basis of waterfall mode provision and rotation speed regulation is revealed;

the method of frequency start of the wet self-crushing mill on the basis of optimal acceleration and rational law of asynchronous frequency start has been improved;

the method of calculation of the moment of resistance of the wet self-crushing mill was developed and the optimum speed of rotation was determined on the basis of the method of gradient descent.

**The practical results of the research are as follows:**

The structure of power consumption for the wet autogenous grinding mill has been determined, consisting of individual elements that form the electrical balance.

Opportunities to improve the efficiency of the wet autogenous grinding mill and requirements of the ore grinding process for its electric drive have been identified.

The system “frequency converter – synchronous motor – wet autogenous grinding mill” has been studied as a control object, and an optimal structural scheme has been determined, ensuring the cascading mode as well as energy and resource savings in the technological process under the given requirements.

**The practical results of the study are as follows:** based on the scientific results concerning speed control and soft start of wet autogenous grinding mills, which optimize operating modes and reduce energy consumption:

The energy-saving operating mode of the wet autogenous grinding mill and the mathematical model of the ore grinding process were implemented at the Copper Concentration Plant of JSC “Almalyk MMC” (Implementation certificate from JSC “Almalyk MMC” No. 61-CTЭ-ChX-22-10-0159 dated October 12, 2022). As a result, it became possible to reduce electricity consumption by 277,820 kWh per year.

The soft start system of the high-voltage synchronous machine for the wet autogenous grinding mill was implemented at the Copper Concentration Plant of JSC “Almalyk MMC” (Implementation certificate from JSC “Almalyk MMC” No. 61-CTЭ-ChX-22-10-0159 dated October 12, 2022). As a result, the economic benefit amounted to 125,019,000 UZS per year.

**Approval of the results of the study.** The research for the dissertation has been presented at 3 international and 8 national conferences.

**Publication of the research results.** A total of 19 scientific papers have been published on the topic of the dissertation, including 7 articles in academic journals recommended by the Higher Attestation Commission (HAC), with 5 articles published in national journals and 2 in international journals. Additionally, 1 certificate was issued by the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan for a computer program developed as part of the research.

**Structure and scope of the thesis.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and an appendix. The dissertation is 109 pages in length.

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

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Kamalov T.S., Tasheva Kh. Self-grinding mills synchronous motor startup mode // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 7, Issue 7, July 2020, pp. 14191-14439 (05.00.00; №8).
2. Tasheva Kh. Study of starting modes of synchronous drives of mining and metallurgical enterprises // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 7, Issue 7, July 2020, pp. 14436-14439 (05.00.00; №8).
3. Камалов Т.С., Ким Д., Ташева Х.Т. Энергоемкость производства медного концентрата при переработке руды // Узбекский журнал Проблемы информатики и энергетики, 2020г. №4, С. 35-43 (05.00.00; №5).
4. Камалов Т.С., Ташева Х.Т. О пуске синхронного двигателя барабанных мельниц самоизмельчения // Узбекский журнал Проблемы информатики и энергетики, 2003г. №2. С.39-44 (05.00.00; №5).
5. Камалов Т.С., Муминов К., Ташева Х.Т. К частотному пуску синхронного двигателя в асинхронном режиме при ограничении величины пускового тока // Узбекский журнал Проблемы информатики и энергетики, 2006. №4. С.54-60 (05.00.00; №5).
6. Камалов Т.С., Ким Д., Тоиров О.З., Ташева Х.Т., Шавазов А.А., Тошпулатов Ж.Н., Сайфуллаева Л.И. Энергоаудит медно обогатительной фабрики ОАО «Алмалыкский ГМК» и пути повышения энергоэффективности // Узбекский журнал Проблемы информатики и энергетики, 2014г. №1-2. С.66-72 (05.00.00; №5).
7. Камалов Т.С., Ниязов У.У., Ташева Х.Т. Режимы работы синхронных электродвигателей на АО «NAVOIYAZOT» и их совершенствование // Узбекский журнал Проблемы информатики и энергетики, 2014г. №3-4. С.68-74 (05.00.00; №5).

**II бўлим (II часть; II part)**

1. Ishnazarov O., Tasheva Kh. Intensification of the wet autogenous grinding process based on control over ore properties // Jubilee International Conference “70 Years UCTM”. Bulgaria, 2023, p. 24.
2. Камалов Т.С., Ташева Х.Т. О законах регулирования возбуждения синхронных двигателей при питании от сети и автономного источника энергии // Материалы трудов XX Всероссийской научно-

технической конференции «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность». Т 1. Томск 2-4 декабря 2014 г. С. 135-137.

3. Ташева Х.Т. Особенности пусковых режимов мельничных установок горно-рудной промышленности // Материалы международной научно-практической конференции «Научно-практические исследования» Электронный научный журнал, №7-2 (30) Омск 2020. С.8-10.
4. Ташева Х.Т. К методу расчета удельной нормы расхода энергетических ресурсов при измельчении руды // Материалы межрегионального форума «Женщины – ученые в науке и в технологии – 2023». – Навои, НГГТУ, 2023. С. 92-95.
5. Камалов Т.С., Ташева Х.Т. Выбор оптимальной схемы пуска синхронного двигателя электропривода мельницы ММС-70-23 // Сборник тезисов республиканской научно-практической конференции магистров «Вопросы интеграции науки и образования при подготовке магистров» 2001г.– Ташкент. Т.3.С.144-145.
6. Камалов Т.С., Ким Д., Тоиров О.З., Ташева Х.Т., Шавазов А.А., Тошпулатов Ж.Н., Сайфуллаева Л.И. Энергоаудит медно-обогатительной фабрики ОАО «Алмалыкский ГМК» // Материалы XIX Международной научно-практической конференции «Инновация-2014». – Ташкент, октябрь, 2014. С.160-161.
7. Камалов Т.С., Ташева Х.Т. Энергосбережение в электроприводах мельниц самоизмельчения // Материалы Республиканской конференции посвященной 60-летию АН РУз. – Ташкент, 2003г. С. 49-50.
8. Ташева Х.Т. Вопросы пуска синхронного двигателя мельниц самоизмельчения // Материалы традиционной республиканской конференции молодых ученых АН РУз. – Ташкент, 2004г. С. 30-31.
9. Камалов Т.С., Тоиров О.З., Ташева Х.Т. Энергоаудит АО «Алмалыкский ГМК» и пути повышения энерго-эффективности // Материалы VIII Международной научно-технической конференции «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития». – Навои, 2015. С. 262.
10. Камалов Т.С., Ниязов У.У., Ташева Х.Т. Модернизация систем возбуждения синхронных двигателей с автоматическим регулированием возбуждения на примере АО «Навоиазот» // Материалы Международной научно-технической конференции «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и перспективы инновационного развития». – Навои, 2016. С.173.
11. Ishnazarov O.X., Tasheva X.T. Расчет норм расхода топливно-энергетических ресурсов для измельчения 1 тонны руды // Свидетельство Министерства Юстиции Республики Узбекистан

№DGU 24012. Зарегистрирован в Государственном реестре Программных продуктов Республики Узбекистан 11.04.2023г.

12. Камалов Т.С., Ким Д., Ташева Х.Т. Особенности работы синхронного электропривода от преобразователя частоты // Материалы Международной научно-технической конференции «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и перспективы инновационного развития». – Навои, 2016. С.157.