

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/10.12.2019.T.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ**

НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ

МАВЛОНОВ ЖОНИБЕК АШУРОВИЧ

**РУДАНИ МАЙДАЛАШ ЖАРАЁНИНИНГ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ
(НАВОИЙ КОН-МЕТАЛЛУРГИЯ КОМБИНАТИ МИСОЛИДА)**

05.05.01- “Энергетика тизимлари ва мажмуалари”

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

Тошкент – 2020

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

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

**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (Phd)
On Technical Sciences**

Мавлонов Жонибек Ашурович

Рудани майдалаш жараёнининг электр энергия самарадорлигини
ошириш (Навоий кон-металлургия комбинати мисолида)..... 3

Мавлонов Жонибек Ашурович

Повышение эффективности использования электроэнергии в
процессе измельчения руды. (на примере Навоийского горно-
металлургического комбината) 21

Mavlonov Jonibek Ashurovich

Improving the efficiency of using electricity in the process of grinding ore.
(on the example of the Navoi Mining and Metallurgical Combine)..... 40

Эълон қилинган ишлар руйхати

Список опубликованных работ

List of pulished works..... 42

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ**

НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ

МАВЛОНОВ ЖОНИБЕК АШУРОВИЧ

**“РУДАНИ МАЙДАЛАШ ЖАРАЁНИНИНГ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ
(НАВОИЙ КОН-МЕТАЛЛУРГИЯ МИСОЛИДА)”**

05.05.01- “Энергетика тизимлари ва мажмуалари”

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

Тошкент – 2020

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.2.PhD/T1148 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Навоий давлат кончилик институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз тилида (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) веб-саҳифасида ва “ZIYONET” ахборот–таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Ишназаров Ойбек Хайриллаевич
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Хошимов Фозилжон Абидович
техника фанлари доктори, профессор

Арипов Назиржон Мукарарович
техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Тошкент давлат транспорт университети

Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/10.12.2019.T.03.03 рақамли илмий кенгашнинг 2020 йил «25» келвара соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2-уй. Тел./факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (172 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2-уй. Тел./факс: (99871) 227-03-41).

Диссертация автореферати 2020 йил «13» келвара да тарқатилди.

(2020 йил «13» келвара дни 8 рақамли реестр баённомаси).



Қ.Р. Аллаев

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

в.в.б. О.З.Тоиров

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

М.И. Ибдуллаев

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда кон-металлургия саноатида мавжуд технологик жараёнларни бошқариш, уларнинг техник тавсифларини такомиллаштириш, рудаларни майдалаш жараёнида энергия самарадорликни оширишга аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган мамлакатларда «...шарли тегирмонларда рудани майдалаш жараёнининг электрэнергия самарадорлигини ошириш ва электр моторларнинг иш режимини оптимал бошқаришда частотали ростлагич асосида такомиллаштирилмоқда»¹. Бу борада, жумладан рудани майдалаш жараёнида ишлаб чиқариш ва технологик омилларга, тегирмон электр моторидаги энергия сарфини камайтиришда замонавий технологиялардан фойдаланишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда рудаларни майдалаш жараёнида шарли барабан тегирмондарининг электр моторини такомиллаштириш, шарли тегирмонларнинг рудаларнинг сифатига қараб шарли барабанларнинг тезлигини ўзгартириш, шарли тегирмонларнинг ҳимоя қатлами емирилишини олдини олиш, тегирмонларни бошқариш асосида энергия самарадорлигини оширишга қаратилган тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда жумладан, шарли барабан тегирмонлари иш режимини руданинг таркибини инобатга олиб тезлигини ростлаш яъни руданинг қаттиқ ва юмшоқлигига қараб шар барабанли тегирмонларни айланиш тезлигини ўзгартириш асосида энергия самарадорлигини ошириш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Республикамызда иқтисодиётнинг муҳим тармоқларидан бири ҳисобланган энергетика соҳасини ривожлантиришнинг технологик даражасини яхшилаш, саноат соҳаларида энергия самарадорликни комплекс ривожлантириш бўйича илмий тадқиқотлар жорий қилиш чора–тадбирлари амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар Стратегиясида, жумладан, «... иқтисодиётнинг энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежовчи технологияларни кенг татбиқ этиш, ишлаб чиқариш унумдорлигини ошириш...»² вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан тоғ-кон саноатида электр энергияси истеъмолининг камайтириш муҳим вазифалардан бири деб ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПҚ-4947-сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” ги фармони, 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сонли “2017-2021 йилларда қайта тикланадиган энергетика, иқтисодий ва ижтимоий соҳаларни ривожлантириш тўғрисида” ... Ушбу диссертация тадқиқотлари маълум даражада "Энергия самарадорлигини ошириш чора-

¹ <https://www.dissercat.com/content/sovershenstvovanie-upravleniya-protsessom-izmelcheniya-rudnykh-materialov-s-primeneniem-prav>

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947 сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” ги Фармони.

тадбирлари дастури тўғрисида” ги қарори ва ушбу фаолият билан боғлиқ бошқа меъёрий ҳужжатларда белгиланган вазифаларнинг бажарилишига ҳисса қўшади ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация иши қисман хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республикада фан ва технологияларни ривожлантириш устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг II.«Энергетика, энергия-ресурс тежамкорлиги» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ҳозирги кунда рудани майдалаш жараёнининг энергия самарадорлигини оширишда жаҳоннинг етакчи ташкилотлари ва илмий тадқиқот институтлари жумладан (Molycorp) Америка қўшма штатлари, (Great Western Mineral Group) Жанубий Африка Республикаси, (Mount Weld) Австралия ва бошқа давлатлар кенг камровли тадқиқотлар олиб боришмоқда.

Дунёнинг машҳур олимлари рудани майдалаш жараёнида энергия самарадорлигига эришишда ўзларининг ҳиссаларини қўшиб келишмоқда жумладан: Ф. Бонд, С.Е. Андреева, Е.Е. Линч, К. Луана, П.В. Малярова Б.К. Мисра, С. Моррелл, В.А. Олевский, В.А. Перова, Р.К. Ражимани, К.А. Разумова Э.Е. Серго ва бошқалар катта ҳисса қўшган.

Республикада энергия режимларини оптималлаштириш ва саноат корхоналарининг энергия самарадорлигини ошириш бўйича тадқиқотларни ривожлантиришга олимларимиз: Х.Ф.Фазилов, Р.А.Зоҳидов, Т.Х.Насиров К.Р.Аллаев, Т.С. Камалов, А.А. Хошимов, Ф.А. Хошимов, М.К.Бобожанов, О.Х. Ишназаров, А.И.Каршибоев, О.З.Тоиров ва бошқа олимлар томонидан ижобий натижаларга эришилган.

Сезиларли муваффақиятларга қарамай, ишлаб чиқариш ва технологик омилларнинг энергия сарфи ва шар тегирмонининг иш режимига таъсири, «синхрон мотор - шар тегирмони» тизимининг иш режимларини бошқариш; тегирмон шарларининг режимини таъминлаш, ишлаб чиқариш ва технологик омиллар функцияси сифатида шарли тегирмоннинг электр энергиясини истеъмол қилишининг математик модели, тегирмоннинг шар билан тўлдирилиш даражаси, тегирмон ҳимоя қатламининг истеъмол қиладиган электр энергиясига таъсири етарли даражада ўрганилмаган. Мазкур ишда рудани майдалаш жараёнидаги шарли тегирмон электр моторининг электр энергия тежайдиган режимларини такомиллаштириш усуллари атрофлича кўриб чиқилиб, ечимлари таклиф этилган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация иши бажарилган олий таълим муассасасининг илмий – тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқотлари Навоий давлат кончилиқ институтида амалга оширилган ЕФ2-003 рақамли «Кон металлургия саноатининг бойитиш жаранида энергия ва ресурслар истеъмоли қонуниятларини тадқиқ қилиш ва аниқлаш ҳамда уларнинг энергия ресурсларини тежайдиган оптимал бошқариш моделини ишлаб чиқиш»

(2011-2012 йй.) мавзусида амалий тадқиқот ишлари режаси доирасида бажарилган.

Тадқиқот мақсади рудани майдалаш жараёнининг электр энергия самарадорлигини оширишдан иборат.

Тадқиқот вазифалари:

ишлаб чиқариш ва технологик омилларнинг шарли тегирмон электр энергия сарфига таъсирини аниқлаш;

бошқариладиган шар тегирмони электр моторининг математик моделини ишлаб чиқиш;

шар тегирмонининг энергия тежайдиган иш режимини аниқлаш;

шаршара усулида тушиш режимини таъминлаш учун шар тегирмонини бошқариш усулини такомиллаштириш;

шар тегирмонларининг ишлаш режимини мақбул бошқариш алгоритминини ишлаб чиқиш.

Тадқиқот объекти сифатида Навоий кон-металлургия комбинати гидрометаллургия корхоналарининг шар тегирмонларини электр энергиясини истеъмол қилиш жараёнлари олинган

Тадқиқот предмети шар тегирмонларини шаршара усули режимини таъминлаш усулини такомиллаштириш. Шар тегирмонларининг ишлаш режимини оптимал бошқариш алгоритминини ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Тадқиқот жараёнида эҳтимолликлар назарияси, Лагранж усули ва рудаларни майдалаш жараёнида математик статистика, математик моделлаштириш усуллари, шунингдек экспериментал тадқиқот усуллари қўлланилди.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги куйидагилардан иборат:

шар тегирмонидаги электр энергия сарфи ишлаб чиқариш ва технологик омилларига, жумладан тегирмон барабаннинг ҳимоя қатламини емирилиши, тегирмонни шарлар билан тўлдирилиш даражаси ва тегирмоннинг айланиш тезлигини ростланишини инobatга олган ҳолда аниқланди;

шар тегирмони электр моторининг ростланишини инobatга олган ҳолда математик модели ишлаб чиқилган ва унинг энергия тежайдиган иш режими ишлаб чиқилди;

шар тегирмонининг ростлаш усули барабаннинг ҳимоя қатламининг емирилишини инobatга олган ҳолда такомиллаштирилган;

Лагранж усули асосида шар тегирмонининг ишлаш режимини оптимал бошқариш алгоритми ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси куйидагилардан иборат:

Рудани майдалаш учун синхрон кўзғалиш тизимининг динамик ходисаларини ўрганиш учун математик моделлар ишлаб чиқилди. Бу ўзгарувчан кучланиши ва юк моменти шароитида тегирмонларнинг кўзғалиши ва моторларининг ишлаш режимлари динамикасини ўрганишга имкон берди.

Шар тегирмонлари энергия тежайдиган режимлари, шар тегирмонлар унумдорлигига таъсири даражаси, тегирмон мосламалари ишлашининг барқарор ҳолатини оптималлаштириш имконини берди.

Шар тегирмонида шарларининг доимий шаршара усулида тушиши таъминланди ҳамда шар тегирмонинг тезлигини ўзгаришини таъминлаб туриш, барқарор ҳолатини оптималлаштиришини таъминлайдиган бошқариш алгоритими яратиш натижасида электр энергия сафини камайтиришга олиб келди.

Олинган тадқиқот натижаларининг ишончлилиги максимал ишлаб чиқаришни ҳисоблаш усулларини, асосий қонуниятларни ҳисоблаш назариялари ва усулларини тўғри қўллаш билан асосланади, шунингдек назарий ва экспериментал натижалар тасодифийлиги билан тасдиқланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти Навоий кон металлургия комбинатига қарашли гидрометаллургия заводида шар тегирмонларининг электр энергиясини истеъмол қилишнинг ишлаб чиқариш ва технологик омилларга боғлиқлигини аниқлаш, шунингдек шар тегирмонининг бошқариладиган электр моторларнинг математик моделини ишлаб чиқиш билан изоҳланади. Рудани майдалаш жараёнида синхрон қўзғалиш тизимининг ўзгарувчан кучланиши ва юк моменти шароитида тегирмонларнинг ишлаш режимлари динамикасини ўрганиш имкониятини очиб беради.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ишлаб чиқилган математик моделлардан фойдаланган ҳолда ва қувват манбаи ва юк моментини ўзгариши шароитида тегирмон қурилмаларининг электр энергияси истеъмолини 6 фоизгача қисқартирилишини таъминлаш имконини берганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Шар тегирмонларида энергияни тежайдиган режимлари ва унинг унумдорлигига таъсир этиш даражаси, тегирмон иш режимини барқарор ҳолатини оптималлаштиришда олинган илмий натижалар асосида:

рудани майдалаш технологик жараёнининг математик модели ва шар тегирмонининг электр энергияни тежайдиган иш режими 1-Гидрометаллургия заводида жорий этилган (Навоий кон-металлургия комбинатининг 2020 йил 16 мартдаги 02-07-04/3344-сонли маълумотномаси). Натижада шар тегирмонидаги электр энергия сарфини 6% гача тежаш имкони яратилган;

тегирмонларни шарлар билан тўлдирилишининг энергия сарфига таъсирининг ҳисоблаш усули, шарли тегирмонларнинг оптимал ишлаш режимларини таъминлайдиган боқариш алгоритими 1-Гидрометаллургия заводида жорий этилган (Навоий кон-металлургия комбинатининг 2020 йил 16 мартдаги 02-07-04/3344-сонли маълумотномаси). Натижада йилига 275200 кВт·соатгача электр энергия истеъмолини камайтириш имконини берган;

шар тегирмонининг синхрон моторини частотали ростлаш усули 1- Гидрометаллургия заводида жорий этилган (Навоий кон-металлургия комбинатининг 2020 йил 16 мартдаги 02-07-04/3344-сонли маълумотномаси). Натижасида синхрон моторлардаги исрофларни 5% гача камайтириш имкони яратилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 5 та илмий - амалий конференцияларда, жумладан, 2 та халқаро конференцияда ва 3 та Республика илмий амалий анжуманларда апробациядан ўтган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 17 та илмий иш чоп этилган, жумладан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш бўйича тавсия қилган илмий нашрларида 6 та (1 та халқаро ва 5 та республика журналларида) мақола нашр этилган. ЭХМ дастурига учун 1 та гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация иши кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловадан иборат. Диссертация ҳажми 108 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида олиб борилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурлигини асослаб беради, тадқиқотнинг республикада фан ва техника тараққиётининг устувор йўналишларига мувофиқлигини, муаммони ўрганиш даражасини кўрсатилиши, тадқиқот олий ўқув юртининг илмий-тадқиқот режаси билан боғлиқлигини, мақсад ва вазифалар, объект ва тадқиқот мавзуси, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари кўрсатилганлиги, илмий ишнинг назарий ва амалий аҳамияти, диссертация тадқиқотлари натижаларини ишлаб чиқаришга амалиётга татбиқ этилиши билан асосланади.

Диссертациянинг биринчи бобида **“Рудани майдалаш технологик жараёнининг энергия самарадорлигини ривожлантиришнинг ҳозирги ҳолати ва истиқболлари”** гидрометаллургия заводида истеъмол қилинадиган электр энергиясининг истеъмоли ва электр энергиясининг самарадорлиги тўғрисида умумий маълумотлар, шунингдек электр энергияси сарфини ҳисобга олиш бўйича мавжуд тадқиқот усуллари, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари келтирилган.

Гидрометаллургия заводининг энергия самарадорлигини ошириш соҳасидаги хорижий ва маҳаллий олимларнинг илмий тадқиқот ишлари, шунингдек, Навоий кон-металлургия комбинати гидрометаллургия заводининг электр энергияси сарфини, технологик ва энергия параметрларини ҳисобга олиш бўйича мавжуд тадқиқот усуллари ўрганилиб, таҳлил қилинган.

Ўтказилган тадқиқотлар шуни кўрсатадики, қуйидаги масалалар этарли даражада ўрганилмаган:

Шар тегирмони ҳимоя қатламининг электр қуввати кўрсаткичларига таъсири. Тегирмонни шарлар билан тўлдирилиш ва уларнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларини ошириш ва тегирмон қурилмаларининг барқарор ишлаш режимларини оптималлаштиришнинг қувват сарфига таъсири.

Майдалаш жараёни учун энергия тежаш муаммосининг долзарб ҳолатини таҳлил қилиш энг қиммат ва энергия талаб қиладиган эканлиги маълум бўлди. Шар тегирмонни энергия самарадорлигини оширишга алоҳида эътибор қаратиш лозим. Майдалаш жараёнида юзага келадиган механизмларини тушуниш ва бундай жараённинг тафсилотларини, масалан, рудалар ва силлиқлаш мухити ўртасидаги ўзаро таъсирни ҳисобга олиш керак.

Шунингдек, намланиш асосида майдалаш жараёнини бошқаришнинг технологик хусусиятларига эътибор қаратилади. Шарли барабан тегирмонда юзага келадиган майдалаш жараёнининг динамикасини таҳлил қилиш ва тегирмон ўрнатилиши билан электр энергиясини истеъмол қилиш бўйича экспериментал ва назарий тадқиқотлар ўтказиш, шунингдек тегирмон энергия самарадорлигини ошириш усуллари, тегирмонни барабаннинг турли тезликларида ўзгартириш ва тегирмонни темир шар билан тўлдиришнинг ҳар хил даражаларида истеъмол қилинадиган қувват, саноат ишлаб чиқаришда ишлатиладиган мавжуд тўсикларини таҳлил қилиш. Намлаш асосида майдалаш жараёнининг самарадорлиги бир қатор таркибий ва технологик параметрларга боғлиқ.

Истеъмолни таҳлил қилиш ва умуман электр энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини унинг механизмлари бўйича таҳлил қилишга бағишланган ишларни кўриб чиқиш ушбу муаммонинг ўта мураккаблигини кўрсатди. Юқоридагиларни инобатга олиб қуйидаги хулоса қилишга имкон беради:

1. Бир қатор қонуниятлар электр мотор ва технологик участкаларга эга бўлинмалар ва агрегатларнинг энергия характеристикалари (экспериментал ва статистик усуллар билан олинган) кўринишида келтирилган. Бироқ, механизмларнинг кўрсатилган энергия характеристикалари кўпинча электр энергиясини истеъмол қилишни жуда умумлаштирилган тарзда тавсифлайди. Ушбу энергетик хусусиятлар механизмларни электр энергиясини истеъмол қилиш жараёнини акс эттиради, асосан фақат битта омил - механизмнинг ишлашидаги ўзгаришлардан келиб чиқади ва механизмнинг ишлаш режимини белгилайдиган ва электр энергиясини истеъмол қилишга жуда сезиларли таъсир кўрсатадиган бошқа муҳим омилларнинг ўзгаришини ҳисобга олмайди. Бундан ташқари, электр моторга эга бўлган механизмларнинг энергия тавсифлари тенгламалари, қоида тариқасида, биринчи даражадаги регрессия тенгламалари билан ифодаланади, яъни механизмлар бўйича электр энергиясини истеъмол қилишни фақат биринчи тахминий ҳолда тасвирлаб беради. Баъзан механизмларнинг энергия тавсифлари тенгламалари механизм томонидан электр энергиясини истеъмол

қилиш жараёнининг физик маъносига мос келмайди ва шунинг учун фақат ўзига хос экспериментал маълумотларни олиб қиладиган боғлиқликлардир. Бу табиий равишда уларни таҳлил қилиш ва энергиядан фойдаланиш самарадорлигини ошириш мақсадида қўллаш имкониятларини чеклайди.

2. Электр энергиясини истеъмол қилишни ўрганишда ва ундан фойдаланиш самарадорлигини ошириш усулларини излашда қувват баланси усули қўлланилмаган; белгиланган мақсадлар учун уни амалий жиҳатдан тузиш методикаси ишлаб чиқилмаган.

3. Руда бойитиш жараёнининг технологик жараёнлари, шунингдек уларни амалга оширадиган машиналар ва агрегатлар одатда энергия талаб қиладиган ва нисбатан энергия талаб қилмайдиганларга бўлинади. Руда бойитиш жараёнида энг кўп энергия талаб қиладиган технологик жараёни майдалаш жараёни ҳисобланади.

Диссертациянинг иккинчи бобида **"Рудани майдалаш жараёнида энергия самарадорлигини ошириш"** да электр энергиясини истеъмол қилиш режимларини ўрганиш, рудаларни майдалашнинг асосий йўналишлари ва самарадорлигини ошириш бўйича умумий қоидалар, шар тегирмонининг унумдорлиги ва ўртача қувват сарфи ўртасидаги тадқиқотлар келтирилган.

Экспериментал маълумотларнинг умумлаштирилиши

1-жадвал.

Кўрсаткичлар номи ва бирлиги	Айланиш тезлиги $\psi = 0,78$, Шарларнинг юкланиши α %			
	1	2	3	4
	35-36	37-38	39-40	41-43
Тегирмоннинг ишлаб чиқаришдаги оралиқ тонна/соат	65-86	65-86	65-86	65-86
Тегирмоннинг истемол қиладиган қувват сарфи, кВт	560-800	640-820	680-900	680-940
Ўртача маҳсулдорлик, тонна/соат	75,4	76	76,8	76,2
Ўртача қувват, кВт	638,67	735,73	788,19	817,39
Маҳсулдорликнинг стандарт оғиши, тонна/соат	5,76	5,76	5,45	5,66
Солиштирама электр энергия сарфи кВт *соат/тонна	8,47	9,7	10,26	10,72

Электр энергиясини истеъмол қилишни ўрганиш бўйича методологик принциплар ва техникани асослаш бўйича тадқиқотлар натижалари, шунингдек экспериментал маълумотларни қайта ишлаш усуллари ва шар тегирмонларининг электр энергиясини истеъмол қилиш бўйича тадқиқотлар натижалари келтирилган.

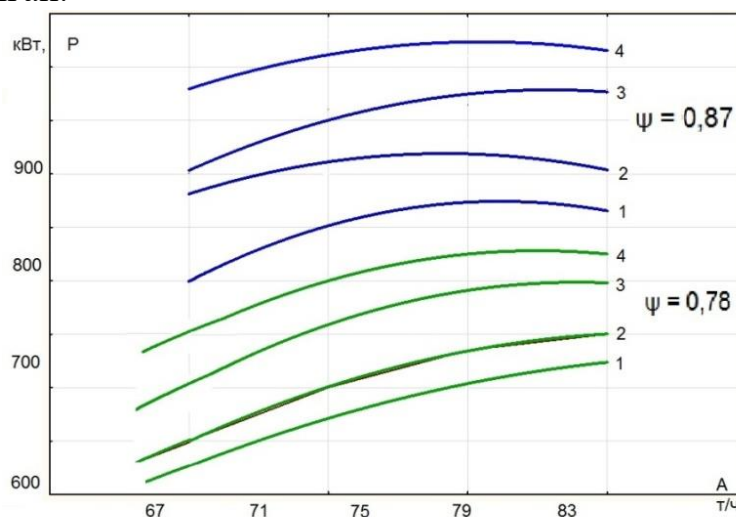
Ўрганилган тегишли режимларда тегирмонларнинг ишлашини тавсифловчи $P=f(A)$, ва $w=f(A)$, статистик алоқаларнинг боғлиқлиги ҳисобланган кўрсаткичлари 1 ва 2 жадвалларда келтирилган.

2-жадвал.

Кўрсаткичлар номи ва бирлиги	Айланиш тезлиги $\psi = 0,87$, Шарларнинг юкланиши α %			
	1	2	3	4
	35-36	37-38	39-40	41-43
Тегирмоннинг ишлаб чиқаришдаги оралиқ тонна/соат	69-86	69-86	69-86	69-86
Тегирмоннинг истемол қилаётган қувват сарфи, кВт	800-940	820-960	820-980	840-1040
Ўртача маҳсулдорлик, тонна/соат	78,3	78,1	78,8	78,2
Ўртача қувват, кВт	866,7	888,5	907,8	930,8
Маҳсулдорликнинг стандарт оғиши, тонна/соат	4,94	5	4,3	4,5
Солиштирма электр энергия сарфи кВт *соат/тонна	11,06	11,37	11,5	11,9

Кўрсатилганидек, $P=f(A)$ ва $w=f(A)$, энергия экспериментал боғлиқликлари математик шаклда тенгламалар шаклида ифодаланиши мумкин.

1 расмда ишлаб чиқарилаётган маҳсулотнинг электр энергияга боғлиқлик графиги келтирилган.



1-расм. МТШТ 45х60 шар тегирмонларининг энергетик $P=f(A)$ хусусиятлари

Ўтказилган тадқиқотлар куйидаги хулосаларни чиқаришга имкон беради:

1. Шар тегирмони томонидан истеъмол қилинадиган электр энергиясига шарларни юклаш даражаси, барабанинг айланиш тезлиги, унумдорлик каби технологик омиллар сезиларли даражада таъсир қилади ва ушбу

омилларнинг абсолют қийматлари ошиши билан шар тегирмони томонидан истеъмол қилинадиган электр энергияси ҳам ошади.

2. Тегирмоннинг ишлаши тегирмоннинг қувват сарфига таъсир қилади ва бу таъсир статистик характерга эга.

3. Тегирмонларни шар билан юклаш, тегирмон қилишнинг мақбул қийматлари рудаларни майдалашнинг ўзига хос шартларини ҳисобга олган ҳолда аниқланиши керак.

4. Тегирмоннинг айланиш ω тезлигининг ошиши билан унга сарфланадиган қувват P ортади. P қувватнинг ортиши тезликнинг ўсишига мутаносиб эмас. МТШТ 45х60 тегирмони учун айланиш частотасини $\omega = 0,78$ дан $\omega = 0,87$ гача 11,5% га ошириш билан қувватнинг ошиши 15% ни ташкил қилади.

5. Тегирмоннинг айланиш тезлигининг ошиши, энергия харажатларининг ошиши билан бирга тегирмоннинг ўртача соатлик унумдорлигининг ошиши кузатилади ва тегирмоннинг унумдорлиги ошиши энергия таннархининг ошишига қараганда камроқ даражада содир бўлади. МТШТ 45х60 тегирмонлари учун айланиш тезлиги $\omega = 0,78$ дан $\omega = 0,87$ гача, 11,5% га ошганлиги сабабли, энергия сарфи 15% га ошди, шу билан бирга ишлаб чиқаришнинг ўсиши 2,75% ни ташкил этди.

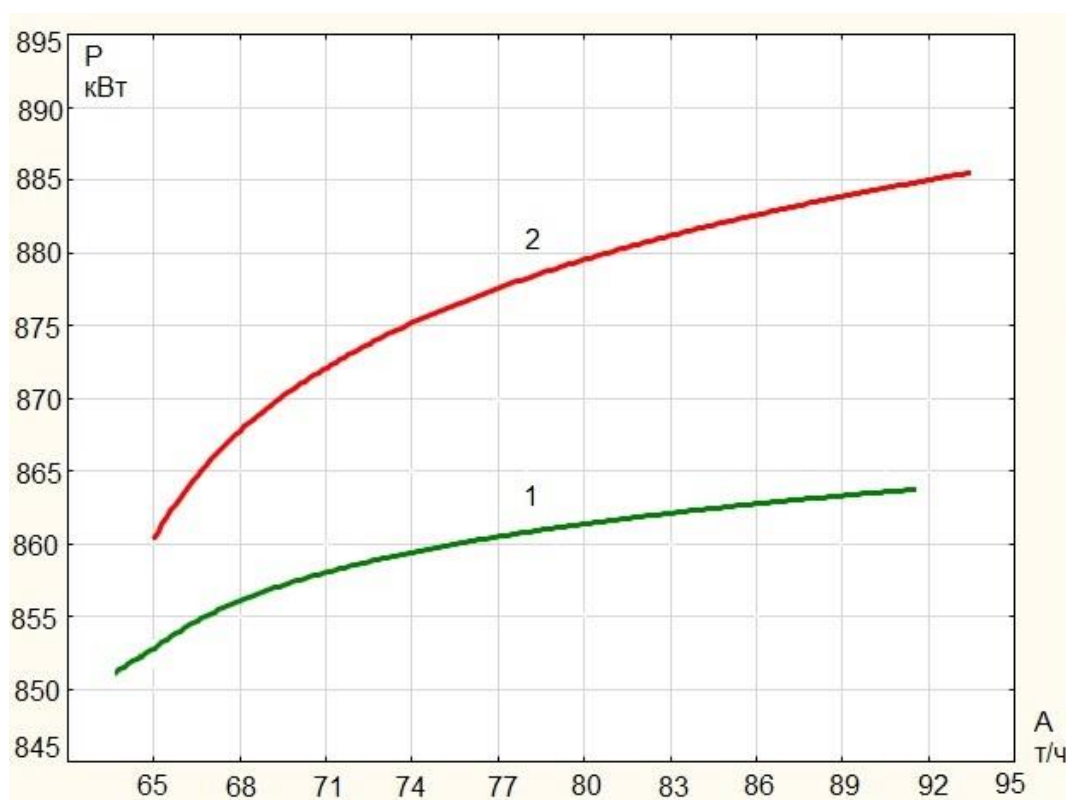
Диссертациянинг учинчи бобида **"Рудаларни майдалашда тегирмонларнинг электр моторининг энергия тежайдиган режимлари"** да шар тегирмонларнинг электр қўзғалишининг энергия тежайдиган режимларини ўрганишга бағишланган. Тегирмон ҳимоя қатламининг қувват сарфига таъсирини аниқлаш янги ва эскирган ҳимоя қатлами билан тегирмоннинг ишлашига мос келадиган $P=f(A)$ энергетик хусусиятларига мувофиқ амалга ошириш қулай ва мақсадга мувофиқдир. МТШТ шар тегирмонларининг ҳимоя қопламаси эскирганлик даражаси улар томонидан истеъмол қилинадиган электр энергия сарфи даражасига таъсирини экспериментал тадқиқ қилдик. Кўрсатилган энергия тавсифларини олиш учун Q_i ва W_i , қийматининг ўзгарувчан ўлчовлари ўрнатилгандан кейинги дастлабки 10-16 кун ичида (янги қоплама) ва уни алмаштиришдан олдин (эскирган қоплама) тегирмон ишининг сўнгги 10-15 кунида олинган.

Q_i ва W_i - соатлик ўртача P_i ва A_i қийматлари асосида математик статистика ва эҳтимоллар назарияси усуллари билан қайта ишланган. Тегирмонларнинг $P=f(A)$ статистик алоқаларининг ҳисобланган ва экспериментал кўрсаткичлари, янги ва эскирган ҳимоя қатламли МТШТ шар тегирмонларининг энергетик характеристикаларининг мос келадиган тенгламалари 3-жадвалда келтирилган.

МТШТ 45х60 шарли тегирмонлар қопламасининг эскириш даражасининг электр энергиясини истеъмол қилишига таъсири кўрсаткичлари 3-жадвалда келтирилган.

Кўрсаткичлар номи	Бирлиги	Ҳимоя қатлами емирилганда	Ҳимоя қатламининг янги ҳолатида
Тегирмоннинг маҳсулот ишлаб чиқаришдаги оралиқ тонна/соат	тонна/соат	65-86	64-80
Тегирмоннинг истемол қилаётган қувват сарфи, кВт	кВт	780-920	680-760
Тегирмоннинг айланиш тезлиги	айл/мин	18	18
Шарларнинг юкланиши	%	43	43
Ўртача маҳсулдорлик	тонна/соат	77	73
Ўртача истемол қилинган қувват	кВт	863	731

Текширилаётган шар тегирмонларининг энергетик хусусиятларини таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, эскирган қоплама билан шар тегирмони томонидан истемол қилинадиган $P_{эски}$ қувватининг ўртача қиймати янги қоплама билан истемол қилинган $P_{янги}$ қувватининг тегишли қийматидан тахминан 100-120 кВт ёки 5-6% га ошади.



2-расм . МТШТ 45x60 тегирмонининг $P=f(A)$ энергия қийматлари янги (1) ва эскирган (2) қоплама билан.

Шунга кўра, янги ва эскирган қопламали тегирмонлар томонидан ўртача электр энергиясининг истемол қиймати ҳам ҳар хил.

Бунинг асосида қуйидаги хулосалар қилиш мумкин:

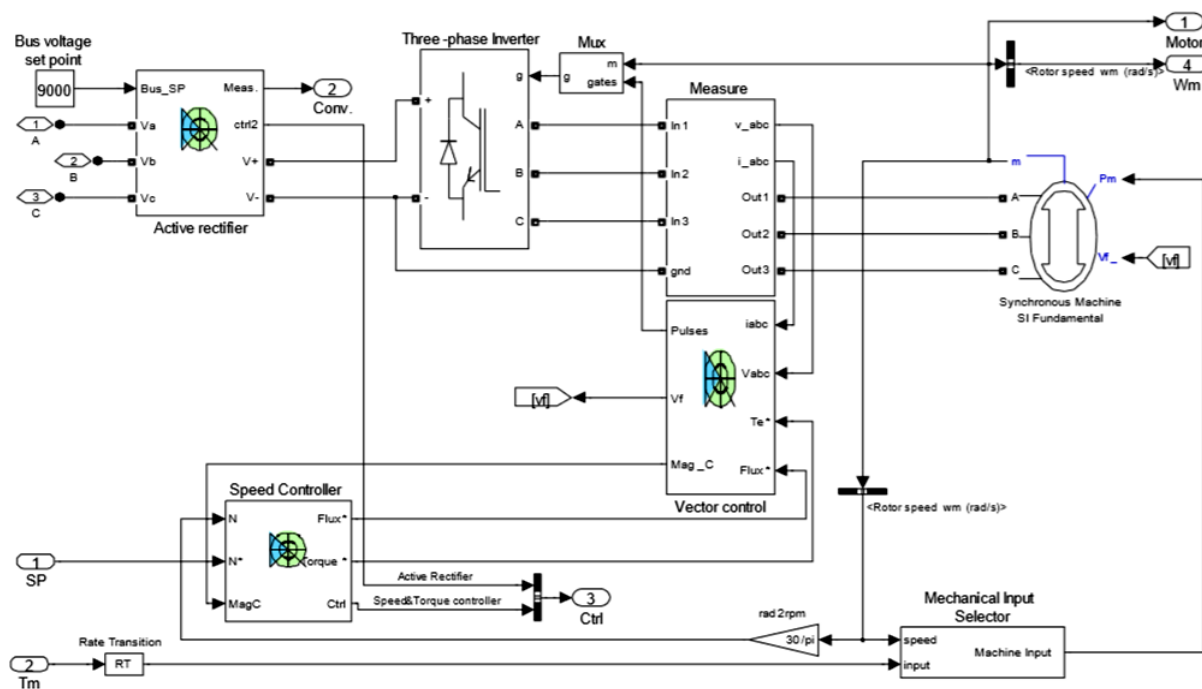
1. Шарли тегирмонлар қопламасининг эскириши ўзига хос энергия сарфи ва қувват сарфининг 5-6% га ошишига олиб келади (янги тегирмон

коплагаси вақтида сарфланган энергия билан бир хил қийматларга нисбатан).

2. Рудаларни майдалаш учун электр энергиясини истеъмол қилиш меъёрларини аниқлашда тегирмон коплагасини электр қуввати кўрсаткичларига таъсири таъсирини ҳисобга олиш керак.

Юқоридаги муаммоларни ҳал қилиш учун биз МТШТ 45x60 шар тегирмонлари учун тезликни бошқариш тизимини таклиф қилдик. Шар тегирмон электр моторининг ўзига хос хусусияти электр мотор узок муддатли тормозланишидир. Бундай режимларда частота ўзгартиргич-синхрон мотор (ЧЎ-СМ), тормоз режим - тормозлаш қаршилиги тизимидан фойдаланиш кўпинча техник жиҳатдан имконсиз ва иқтисодий жиҳатдан фойдасиздир. Тормоз энергиясининг катта оқимини йўқотиш нафақат тормоз резисторларининг кучини оширишни, балки иссиқлик тарқалиши учун кўшимча харажатларни ҳам талаб қилади. Электр мотор томонидан ишлаб чиқарилган энергияни тормоз резисторларида тарқатиш ўрнига, у фаол ректификатор ёрдамида тармоққа қайтарилади. Шундай қилиб, энергия самарадорлигига рекуператорнинг узок муддатли ишлаши ва тормозлаш пайтида янгиланиш туфайли эришилади.

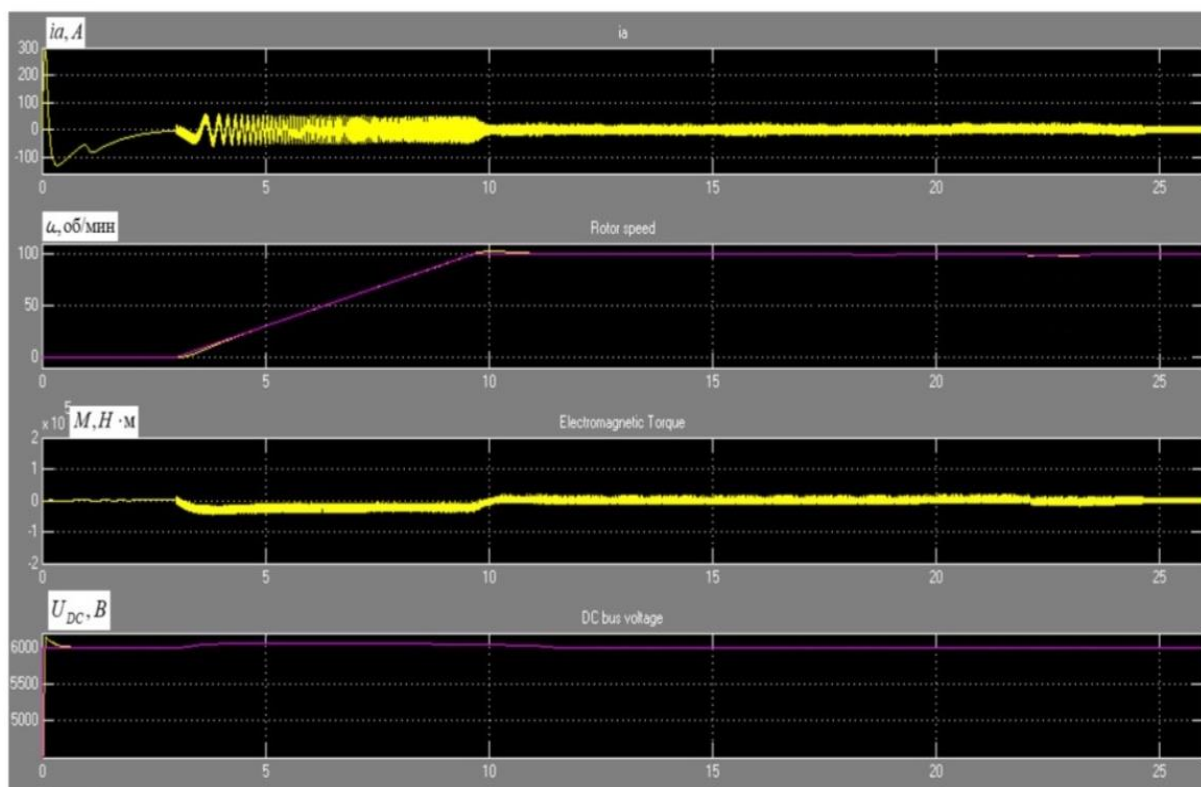
МТШТ-45x60 шар тегирмонини пропорционаллик қонуни бошқаруви билан ЧЎ-СМ шар тегирмонларининг синхронланган электр двигателининг синтезланган модели 3-расмда келтирилган.



3-расм. МТШТ-45x60 шарли тегирмоннинг ЧЎ-СМ MatLab-Simulink амалий дастурининг схемаси.

Доимий кучланиш, статор оқими ва тезликни бошқариш даврлари тегмаслик носимметрик ҳолатга ўрнатилади. Фаол тўғрилагич ва

пропорционаллик қонуни бошқариш тизимидаги оқим регуляторлари гистерез назорати ҳисобланади.



4-расм. Статор оқими, тезлик ва кучланишнинг вақтга боғлиқлиги.

Моделлаштириш 900-2500 кВт қувватга эга ва 6 кВ. кучланишга эга бўлган СМС19-56-40 двигатели учун амалга оширилди. Моделлаштириш натижаларининг шакли 4-расмда келтирилган. Моделлаштириш натижалари бошқарув тизимининг самарадорлиги, тезлиги ва барқарорлигини тасдиқлади. МТШТ 45x60 шар тегирмонларини электр мотори учун ЧЎ-СМ тизимидан актив тўғрилагич билан фойдаланиш мақсадга мувофиқлигини кўрсатди.

Диссертациясининг тўртинчи боби **"Тегирмон мосламаларининг ишлаш режимларини оптималлаштириш"** да тегирмон мосламаларининг ишлашини аниқлайдиган параметрларни аниқлаш ва энг муҳим омилларни аниқлашга бағишланган. Руда ишлаб чиқарувчи заводнинг электр мотор тизимининг математик модели жаёнини максимал ишлаб чиқаришга оптималлаштирилган. Тегирмонни кўрсаткичларини аниқлайдиган параметрларни аниқлаш ва энг муҳим омилларни аниқлаш учун биз тажрибалар ўтказдик. Бу руданинг юкланиш коэффиценти Q , сув таъминоти t , руда қаттиқлиги ва шарни юклаш каби омиллар ҳисобланади. Шар тегирмонининг самарадорлигига таъсир қилувчи қуйидаги асосий омиллар аниқланди: руда билан таъминлаш Q ; сув таъминоти t т; барабаннинг айланиш тезлиги ω ; руда юкланиш коэффиценти φ .

Оптималлаш параметрлари сифатида қуйидагини танлаймиз: G - тегирмон унумдорлиги (тонна/соат); Шар тегирмонининг электр моторси

томонидан истеъмол қилинадиган Р-актив қувват (кВт); P_{008} - ҳажми 80 микрон бўлган руданинг қаттиқлиги (%); Тайёр маҳсулотнинг S га хос сирт майдони ($m^2 / кг$); q – солиштирма электр энергия сарфи (кВт * соат/тонна).

Рудани майдалашни таъминлайдиган электр мотор тизимининг иш режимларини ўрганиш ва такомиллаштиришга бағишланган таҳлиллар шуни кўрсатадики, турли хил муаллифлар иш режимларини ўрганиш учун ҳар хил усулларни ишлаб чиқишган ва муҳим назарий экспериментал тадқиқотлар ўтказган. Шу билан бирга, маълум бўлган экспериментал ва назарий материалларда электромеханик тизим тегирмон-мотор, хусусан, юкнинг динамик ҳаракати, ва ҳимоя қатламининг емирилиши ҳисобга олинмаганлигини таъкидлаш лозим. Бундан ташқари, рудаларни майдалаш жараёнининг техник-иқтисодий талабларининг ўзгариши билан боғлиқ электр мотор тизимининг иш режимларини ўрганишнинг анъанавий усулларини фойдаланиш лозим. Шу сабабли, рудани майдалашни таъминлайдиган электр мотор тизимининг иш режимларини ўрганиш ва такомиллаштириш муаммоларини янги нуқтаи назардан кўриб чиқиш мақсадга мувофиқдир. Руда тегирмонни электр моторнинг ўзига хос хусусияти кўзгалувчининг электромеханик ҳодисалари ва рудаларни майдалаш технологик жараёни ўртасидаги боғлиқлик мавжудлигидадир. Тизимнинг ишлашини тавсифловчи тайёр маҳсулотнинг (майдаланган руданинг) сифат ва миқдорий хусусиятлари бошқариш мосламалари ва узатиш механизмлари билан белгиланади. Бу тегирмон барабанининг айланиш ўқида ҳосил бўлган умумий актив қувват билан ҳам тасдиқланади.

$$P = \frac{P_o + P_{II}}{\eta_D \eta_M},$$

Мотор ва тегирмоннинг механик хусусиятларига боғлиқлигини тавсифловчи мунособатлар қўлланилади:

$$M_D = M - M_c, \quad (1)$$

Бу ерда: M –синхрон мотор моменти, M_c –руданинг қаршилик моменти, M_D –инерция моментига боғлиқ бўлган ва қуйидагича аниқланадиган кўзғалиш тизимининг динамик моменти:

$$M_D = T_m \frac{ds}{dt}, \quad (2)$$

T_m – доимий инерция. Синхрон мотор моменти қуйидагича аниқланади:

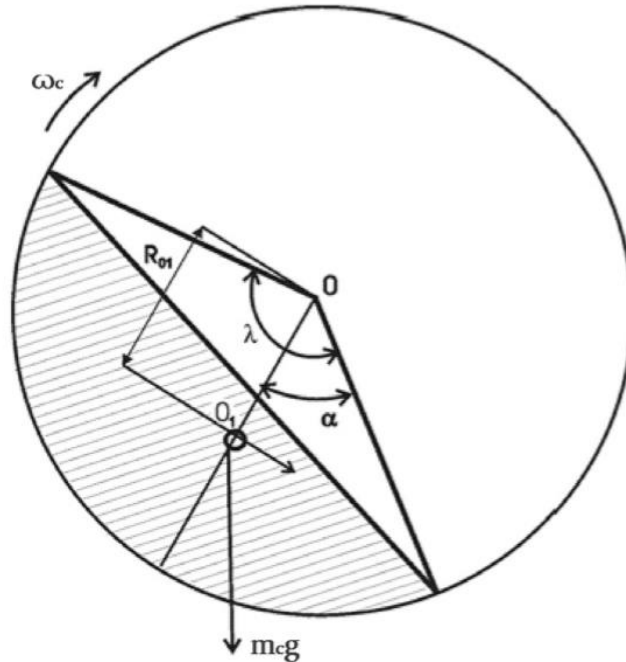
$$M = \frac{mUE_f \sin \theta}{x_d \omega} + \frac{mU^2 \sin 2\theta}{\omega} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right), \quad (3)$$

M_c –Шар тегирмонинг қаршилик моменти ва қуйидагича аниқланади:

$$M_c = m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha, \quad (4)$$

Бу ерда ω_c –тегирмоннинг айланиш бурчак тезлиги, g –эркин тушиш тезлиги, η_M –мотордан тегирмон барабанига узатиш самарадорлиги, R_{01} – O_1 гача масофа (5-расмда), m_c –тегирмондаги майдаланган материал массаси.

O_1 гача бўлган масофа қуйидагича аниқланади:



5-Расм. Руда қаршилик моментини аниқлаш схемаси

O_1 гача бўлган масофа қуйидагича аниқланади:

$$R_{01} = \frac{2R \sin^3 \frac{\lambda}{2}}{3 \left(\frac{\lambda}{2} - \sin \frac{\lambda}{2} \cos \frac{\lambda}{2} \right)}, \quad (5)$$

Тегирмонда майдаланган материал массаси қуйидагича аниқланади:

$$m_c = \frac{\gamma L R^2 N}{2Vf} (\lambda - \sin \lambda), \quad (6)$$

Бу ерда γ – материалнинг зичлиги; L – Тегирмон барабанинг узунлиги. λ - тегирмонга рудани тўлдириш даражасига тўғри келадиган секторнинг марказий бурчаги. Ушбу тенгламалар (1), (2), (3) ва (4) орқали

қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$T_m \frac{ds}{dt} = \left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{1}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha$$

бу ерда x_q -статор фазасининг кўндаланг кесим юзаси бўйича индуктивлик қаршилиги:

x_d - статор фазасининг узунлиги бўйича индуктивлик қаршилиги:

ω дан s ни ҳосил қилиб, ω нинг синхрон айланиш бурчак тезлигини ҳосил қиламиз:

$$T_m \frac{ds}{dt} = \left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \times \frac{1+s}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c(1+s)}{\eta_M \omega} \sin \alpha$$

дан:

$$T_m \frac{ds}{dt} = \left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{s}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c s}{\eta_M \omega} \sin \alpha +$$

$$\left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{1}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha$$

Шундан келиб чиқиб, $s = \frac{d\theta}{dt}$ бу ерда эса қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$T_m \frac{d^2\theta}{dt^2} = \left(\left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{1}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha \right) \frac{d\theta}{dt}$$

$$+ \left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{1}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha.$$

га биноан тизимнинг турли хил ишлаш режимларида ҳолатини ўрганиш учун MatLab дастурий таъминот тўпламида ишлатиш мумкин. Моделни яратиш учун ифода асосий бирликларга киритилади:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{1}{T_{m\mu} B} \cdot \left[\left(\left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{1}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha \right) \frac{d\theta}{dt} \right.$$

$$\left. + \left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{1}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha \right]$$

Бу ерда

$$T_{m\mu} = \frac{GD^2 n^3 p}{3450 \sqrt{3} \cdot 10^{-3} \cdot UI} \quad B = \frac{\sqrt{3} UI p}{\omega}$$

ва бу ерда GD^2 – роторнинг тезлаштирувчи моменти; n – синхрон айланиш тезлиги; p – синхрон двигател қутиблар сони; I – статора токи.

Тегирмон учун синхрон қўзғалиш тизимининг динамик ҳодисаларини ўрганиш учун модел ишлаб чиқилган бўлиб, бу ўзгарувчан юк моментидан ўзгарувчан шароитда турли тегирмонларнинг электр моторларининг ишлаш режимлари динамикасини ўрганишга имкон беради. Тавсия этилган моделни қўллаш электр мотор тизимининг ишончлилигини ошириш ва ишга тушириш режимларини яхшилаш учун асос бўлиб хизмат қилиши мумкин.

ХУЛОСА

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертация мавзуси “Рудани майдалаш жараёнининг электр энергия самарадорлигини ошириш (Навоий кон-металлургия комбинати мисолида)” илмий иши натижалари бўйича қуйидаги хулосалар тақдим этилган:

1. Ишлаб чиқариш ва технологик омиллар функцияси сифатида шарли тегирмоннинг электр энергиясини истеъмол қилишининг математик модели ишлаб чиқилди. Натижада тегирмоннинг юкланиши ва ҳимоя катлами емирилиш даражасини ҳисобга олишга имкон беради.

2. Мутаносиб қонунга мувофиқ бошқариладиган "частота ўзгартиргич - синхрон мотор - шар тегирмони" тизими ишлаб чиқилди. Натижада тизим ишлаб чиқаришда бузилиши пайтида тегирмон шарларининг шаршара усулида тушиш барқарорлигини таъминлашга имкон беради.

3. Шар тегирмонининг энергия тежайдиган иш режими таклиф этилди, бу электр энергияси истеъмолининг 6 фоизгача пасайишини таъминлайди.

4. Динамик ва статик режимлар оқимининг ўзига хос хусусиятларини ҳисобга олишга имкон берадиган, шар тегирмонининг электр моторининг математик модели ишлаб чиқилди. Натижада "Синхрон мотор - шар тегирмони" тизимининг ишлаш режимини электр энергиясининг унумдорлиги ва ўзига хос сарфини ҳисобга олган ҳолда оптималлаштириш алгоритми таклиф этилди.

5. Тадқиқот натижалари шар тегирмонларининг ишлаш режимларини тартибга солиниши Навоий кон-металлургия комбинатига қарашли 1-сонли гидрометаллургия заводида жорий этилди. Натижада иқтисодий самарадорлик йилига 123 840 000 (бир юз йигирма уч миллион саккиз юз қирқ минг) сўмни ташкил этди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК DSc 03/10.12.2019.Т.03.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

МАВЛОНОВ ЖОНИБЕК АШУРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДЫ
(НА ПРИМЕРЕ НАВОЙСКОГО ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
КОМБИНАТА)**

05.05.01 – Энергетические системы и комплексы

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

Ташкент – 2020

Тема докторской диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2019.2.PhD/T1148

Диссертация выполнена в Навоийском государственном горном институте.

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

Научный консультант: **Ишназаров Ойбек Хайриллаевич**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Хашимов Фазилжан Абидович**
доктор технических наук, профессор

Арипов Назиржон Мукарамович
доктор технических наук, профессор

Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети хузурдаги DSc.03/10.12.2019.T.03.03 рақами илмий кенгашнинг 2020 йил «25» ноябрь соат 10³⁰ даги олинса бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2-уй. Тел./факс: 371) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (172 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2-уй. Тел./факс: (99871) 227-03-41).

Диссертация автореферати 2020 йил «13» ноябрь да тарқатилди.

(2020 йил «13» ноябрь даги 8 рақами реестр баённомаси).



Қ.Р. Аллаев

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

в.в.б. О.З.Тоиров

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

М.И. Ибадуллаев

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации)

Актуальность и необходимость темы диссертации.

Особое внимание уделяется управлению существующими технологическими процессами в горнодобывающей отрасли, улучшению их технических характеристик, повышению энергоэффективности в процессе измельчения руд. В современных развитых странах уделяется внимание «...различные подходы к повышению эффективности использования электроэнергии в процессе измельчения руды в шаровых мельницах и управления режим работы электродвигателей».² В связи с этим особое внимание уделяется использованию современных технологий, в том числе по снижению энергозатрат в процессе измельчения руды.

Во всем мире проводятся исследования по повышению эффективности электропривода шаровых мельниц в процессе измельчения руды, а также по изменению скорости вращения шаровых барабанов в зависимости от качества руды. В связи с этим в числе актуальных задач - работа шаровой барабанной мельницы, регулирование ее скорости в зависимости от поступающей руды, создание возможностей энергосбережения на основе правильного анализа потребления электроэнергии.

В стране принимаются меры по повышению технологического уровня развития энергетического сектора, который является одним из важнейших секторов экономики, и внедрению научных исследований по комплексному развитию энергоэффективности в промышленности. Данная диссертационная работа частично служит для реализации решений и задач, изложенных в других нормативных актах, связанных с этой деятельностью. направлена на решение приоритетных задач, таких как: Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы» отмечены задачи «...сокращения энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, реализуемых по целевым параметрам снижения энергоемкости в отраслях экономики »³ в частности снижение потребления электрической энергии в горнодобывающими отраслями.

Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», № ПП-3012 от 26 мая 2017 года «О дальнейшем развитии возобновляемой энергетики, экономической и социальной сферах на 2017–2021 годы». Это диссертационное исследование в определенной степени способствует выполнению задач, поставленных в Резолюции «О программе мер по повышению энергоэффективности» и других нормативных актов, связанных с этой деятельностью.

Соответствие исследования приоритетам развития науки и технологий Республики Узбекистан. Данное исследование проводилось в

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

³ Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

соответствии с приоритетами развития науки и технологий республики: П. «Энергия, энергосбережение и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. В настоящее время ведущие мировые организации и исследовательские институты, включая Соединенные Штаты (Molycorp), Great Western Mineral Group, Южную Африку, Mount Weld, Австралию и другие страны, проводят обширные исследования для повышения энергоэффективности процесса измельчения руды. Значительный вклад в развитие процесса измельчения внесли Ф. Бонда, С.Е. Андреева, Е.Е. Линч, К. Луана, П.В. Малярова Б.К. Мисра, С. Моррелл, В.А. Олевский, В.А. Перова, Р.К. Раджимани, К.А.Разумова, Е.Е.Серго. и другие. Кроме того, значительный вклад в развитие исследований по оптимизации режимов энергопотребления и повышение энергоэффективности промышленных предприятий внесли наши ученые Х.Ф.Фазиров, Р.А.Захидов, Т.Х.Насиров, К.Р.Аллаев, Т.С.Камалов, А.А. Хошимов, Ф.А. Хошимов, М.К.Бобожанов, О.Х. Ишназаров, А.И.Каршибаев, О.З.Тоиров и другими учеными проводятся соответствующие результаты.

Однако, недостаточно исследованы следующие вопросы: влияние производственно-технологических факторов на электропотребление и режим работы шаровой мельницы; регулирование режимов работы системы «синхронный двигатель – шаровая мельница», обеспечивающий водопадный режим; энергосберегающий режим работы мельничных установок.

В данной работе рассматриваются вопросы совершенствования методов анализа и решения вышеперечисленных проблем, а также предлагаются пути их решения.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.

Диссертационное исследование выполнено в рамках исследований практического исследования по ЕФ2-003 «Исследование и выявление закономерностей потребления энергии и ресурсов в процессе обогащения горно-металлургической промышленности и разработка их оптимальной модели управления энергосбережением» (2011-2012 гг.), выполненных в Навоийском государственном горном институте.

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

Задачи исследований:

исследование влияния производственно-технологических факторов на электропотребление шаровой мельницы;

разработка математической модели регулируемого электропривода шаровой мельницы;

выявление энергосберегающего режима работы шаровой мельничной установки;

усовершенствование способа управления шаровой мельницей для обеспечения водопадного режима;

разработка алгоритм оптимального управления режимом работы шаровых мельничных установок.

Объектом исследования являются энергопотребления шаровых мельниц гидromеталлургического завода №1 Навоийского горно-металлургического комбината.

Предметом исследования являются модели, усовершенствование способа управления шаровой мельницей для обеспечения водопадного режима и алгоритм оптимального управления режимом работы шаровых мельничных установок.

Методы исследования В процессе исследования использовано метод Лагранжа, и математическая статистика в процессе измельчение руд, методы математического и компьютерного моделирования, а также экспериментальные методы исследований.

Научная новизна результатов состоит в следующем.

Определена зависимость электропотребления шаровой мельницы от производственно-технологических факторов.

Разработана математическая модель регулируемого электропривода шаровой мельницы, а также выявлен энергосберегающий режим его работы.

Усовершенствован способ управления шаровой мельницей, обеспечивающий водопадный режим работы.

На основе метода множителей Лагранжа разработан алгоритм оптимального управления режимом работы шаровых мельничных установок.

Практическая значимость результатов исследования.

Разработана математическая модель для исследования динамических явлений в системе синхронного привода в процессе измельчения руды. Это дало возможность изучить динамику режимов работы приводных двигателей мельниц в условиях изменения напряжения и момента нагрузки.

Энергосберегающие режимы шаровых мельниц, степень влияния на производительность шаровых мельниц, позволили оптимизировать стабильное состояние работы мельничного оборудования.

Обеспечено постоянство водопадный режим работы шаровых мельниц а также при изменении скорости

В результате создания алгоритма управления, обеспечивающего оптимизацию установившегося режима, обеспечивая управление скоростью вращения привел к снижению электроэнергии.

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 результатов исследования определением зависимости потребления электроэнергии шаровых мельниц от производственно-технологических факторов на гидromеталлургическом заводе Навоийского

горно-металлургического комбината, а также разработкой математической модели управляемых электродвигателей. Это дает возможность исследования динамики режимов работы мельниц в условиях переменного напряжения и момента нагрузки системы синхронного привода при измельчении руды.

Практическая значимость результатов исследования объясняется тем, что использование разработанных математических моделей и изменение источника питания и момента нагрузки позволило снизить энергопотребление мельничного оборудования до 6 %.

Внедрение результатов исследования.

На основании научных результатов, полученных на Навоийском горно-металлургическом комбинате, энергосберегающие режимы шаровых мельниц, степень влияния на производительность шаровых мельниц, обеспечивающих оптимизацию режим работы мельничного оборудования и снижение энергозатрат:

Полученная в результате проведенных научных исследований математическая модель технологического процесса измельчения руды и энергосберегающие режимы работы мельничных установок используются в Гидрометаллургическом заводе №1 Навоийского горно-металлургического комбината (2017-2020). (справка о внедрении за № 02-07-04/3344 от 16.03.2020 года).

влияние шаровой загрузки на потребляемое электроэнергию, алгоритм управления, оптимизирующий режим работы шаровых мельниц, снижает энергопотребление каждой мельницы до 275 200 кВт*ч в год. (справка о внедрении за № 02-07-04/3344 от 16.03.2020 года).

метод частотной регулирование синхронного двигателя шаровой мельницы внедрен на гидрометаллургическом заводе (справка о внедрении Навоийского горно-металлургического комбината 02-07-04/3344 от 16 марта 2020 года). В результате можно снизить потери в синхронных двигателях до 5%.

Апробация результатов исследования: исследования диссертационного работа апробированы в 2 международных и 3 республиканских конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликован 17 научно исследованных работ, в том числе 6 в научных журналах ВАК, 1 международных публикациях и 1 DGU на программный продукт.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертационной работы составляет 105 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и необходимость проведенного исследования, указано соответствие исследования приоритетным

направлениям развития науки и технологий в республике, степень изученности проблемы, освещена связь исследования с планом научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, где выполнена диссертационная работа, сформированы цели и задачи, характеризуются объект и предмет исследования, показаны научная новизна и практические результаты исследования, обоснованы теоретическое и практическое значение научной работы, практическое внедрение результатов диссертационного исследования в производство.

В первой главе диссертации **«Современное состояние и перспективы развития энергоэффективности технологического процесса измельчения руды»** приведены общие сведения об электропотреблении и энергетической эффективности потребляемой электроэнергии на гидрометаллургическом заводе, а также выполнен анализ существующих методов исследования по учету расхода электроэнергии, технологических и энергетических параметров, цели и задачи исследований.

Изучены и проанализированы научно-исследовательские работы зарубежных и отечественных ученых в области повышения энергетической эффективности гидрометаллургического завода, а также существующие методы исследования по учёту расхода электроэнергии, технологических и энергетических параметров гидрометаллургического завода Навоийского горно-металлургического комбината.

Проведенный обзор исследований показывает, что не достаточно исследованы следующие вопросы:

Влияние износ футеровок на потребляемой электроэнергии. Влияние шаровой загрузки мельницы на потребляемую мощность с целью повышения их технико-экономических показателей и оптимизация установившихся режимов работы мельничных установок.

Анализ современного состояния проблем экономии электроэнергии для процесс измельчения, как известно, является самым дорогим и энергоёмким. Особое внимание следует уделить повышению эффективности установки мельницы. Необходимо понимать механизмы износа, возникающие в процессе измельчения, и учитывать детали такого процесса, например, взаимодействие между рудами и измельчающей средой. Следующие параметры следует учитывать для повышения эффективности мельницы.

А также в основном уделено внимание технологические особенности управления процессом мокрого измельчения. Анализ динамика процесса измельчения, происходящего в шаровой барабанной мельнице и проведение экспериментальные и теоретические исследования потребления электроэнергии мельничной установкой а также способы повышения эффективности мельничной установки. Мощность, потребляемая мельницей при различных скоростях вращения барабана и различных степенях заполнения мельницы шарами. Анализ существующие циклы измельчения, используемые в промышленном производстве. Эффективность процесса мокрого измельчения зависящий от ряда структурных и технологических параметров.

В целом ее механизмами показывает, что эта проблема является весьма сложной. Этот обзор позволяет сказать следующее:

1. Потребления электроэнергии технологическими узлами и механизмами и части в целом не определены полностью. Некоторые из этих законов представлены в виде энергетических характеристик (полученных экспериментальным) шаровых мельниц с электроприводом и технологических участков. Однако указанные энергетические характеристики механизмов часто очень обобщенно описывают потребление электроэнергии. Эти энергетические свойства отражают процесс энергопотребления механизмов, в основном, за счет только одного фактора - изменения работы механизма, а также других важных факторов, определяющих режим работы механизма и оказывающих существенное влияние на потребление электроэнергии. не учитывает изменение. Кроме того, энергетические характеристические уравнения механизмов с электроприводом, как правило, представлены уравнениями регрессии первого порядка: описывать энергопотребление механизмами только в первом приближении. Иногда уравнения энергетических характеристик механизмов не соответствуют физическому смыслу процесса потребления энергии механизмом и поэтому являются лишь зависимостями, интерполирующими конкретные экспериментальные данные. Это, естественно, ограничивает их возможности для анализа и применения с целью повышения энергоэффективности.

2. Не используется метод баланса мощности при исследовании потребления электроэнергии и поиске путей повышения его эффективности и не разработана методика ее практического применения для целей.

3. Технологические процессы обогащения руды, а также машины и агрегаты, которые их выполняют, обычно делятся на энергоемкие и относительно энергоемкие. Самая энергоемкая технологическая операция при переработке руды - процесс измельчения.

Во второй главе диссертации **“Повышение эффективности режимов работы мельниц измельчения руды”** приведены общие положения об исследовании режимов электропотребления, Основные направления и совершенствования и повышения эффективности измельчения руды, Исследование между производительностью шаровой мельницы и средней потребляемой мощностью. Результаты исследований по обоснованию методических принципов и методик исследования электропотребления, а также сведения о методиках обработки опытных данных и результаты исследований электропотребления шаровых мельниц.

Расчетные показатели статистических связей $P=f(A)$, $w=f(A)$, характеризующих работу исследуемых мельниц в соответствующих режимах, приведены в таблицах.

Обобщение экспериментальных данных

Таблица 2.1.

Наименование показателей и единица измерения	Частота вращения $\psi = 0,78$, шаровая загрузка α %			
	1	2	3	4
	35-36	37-38	39-40	41-43
Производительности шаровых мельниц, т/ч	64-84	64-84	66-87	64-88
Изменение мощности, потребляемой шаровых мельниц, кВт	560-800	640-820	680-900	680-940
Производительность (средняя), т/ч	74,3	75,8	77,1	75,8
Потребляемая мощность (средняя), кВт	638,67	735,73	788,19	817,39
Удельный расход электроэнергии кВт *ч/т	8,47	9,7	10,26	10,72

Таблица 2.2.

Наименование показателей и единица измерения	Частота вращения $\psi = 0,87$, шаровая загрузка α %			
	1	2	3	4
	35-36	37-38	39-40	41-43
Производительности шаровых мельниц, т/ч	98-85	68-84	68-87	69-86
Изменение мощности, потребляемой шаровых мельниц, кВт	805-935	815-940	810-970	850-1010
Производительность (средняя), т/ч	78,4	78,2	78,3	79,1
Потребляемая мощность (средняя), кВт	855,7	887,5	906,8	925,8
Удельный расход электроэнергии кВт *ч/т	11,06	11,37	11,5	11,9

Как показано экспериментальные энергетические зависимости $P=f(A)$, $w=f(A)$, могут быть представлены в математической форме в виде уравнений График, построенные полученном экспериментальном результате преведена на рисунке 1.

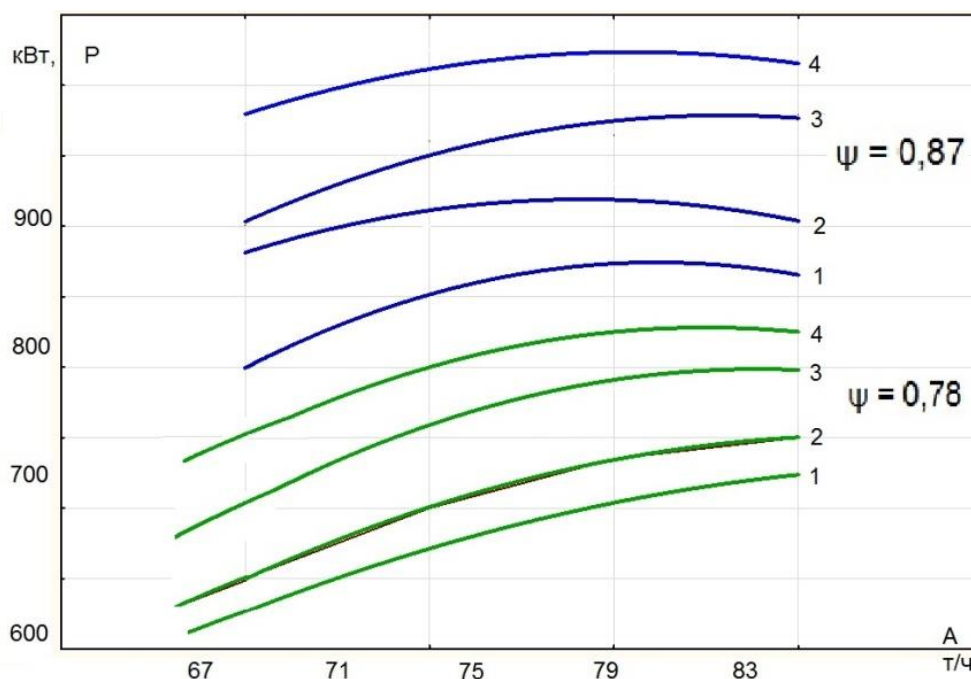


Рисунок 1. Энергетические характеристики $P=f(A)$ шаровых мельниц МШЦ 45x60

Проведенные исследования позволяют сделать, следующие выводы:

1. С увеличением скорости вращения ω мельницы потребляемая ею мощность P тоже увеличивается. Увеличение потребляемая мощность P пропорционально увеличению скорости, а в большей степени. Для мельниц МШЦ 45x60 прирост мощности составляет 10% при увеличении частоты вращения $\omega=0,78$ до $\omega=0,87$ на 10,5%

2. Увеличение средней производительности мельницы сопровождается увеличением затрат на энергию по мере увеличения скорости вращения мельницы, и увеличение производительности мельницы происходит в меньшей степени, чем увеличение затрат на энергию. Для мельниц МШЦ 45x60 частота вращения $\omega=0,78-0,87$, увеличение на 10,5%, потребление энергии увеличилось на 14%, а рост производительности составил всего 2,75%

3. Значение шаровой нагрузки мельниц, соответствующее максимальной производительности мельницы, немного меньше оптимального значения, соответствующего максимальной мощности шаровой нагрузки мельницы, потребляемой мельницей, рассчитанной из зависимости $\dot{A}=f(\alpha)$,

В третья глава диссертации «Энергосберегающие режимы работы электропривода мельниц измельчения руды» посвящена исследованиям энергосберегающие режимы работы электропривода шаровых мельниц. Влияния степени износа футеровки шаровых мельницы на потребляемую электроэнергию. Энергетических характеристик использовались сменные 8 часовый замеры Q_i и W_i , полученные в течение первых 11-17 дней после установки (новая футеровка) и последние 12-16 дней работы.

Расчетные и оптимальные показатели статистической связи $P=f(A)$ мельниц, МШЦ с новой и изношенной футеровкой и соответствующие уравнения энергетических характеристик приведена в таблице 3.

Показатели влияния степени износа футеровки шаровых мельниц МШЦ 45x60 на потребление электроэнергии

Таблица 3.

Наименование показателей, обозначение	Размерность	Изношенная футеровка	Новая футеровка
Диапазон изменения производительности	т/ч	65-86	64-80
Диапазон изменения потребляемой мощности	кВт	780-920	680-760
Частота (скорость) вращения мельницы	об/мин	18	18
Шаровая загрузка	%	43	43
Средняя производительность	т/ч	77	73
Средняя потребляемая мощность	кВт	863	731

Как видно из анализа электроэнергетических характеристик исследованных шаровых барабанных мельниц показывает, что среднее потребляемое электроэнергии (с новой футеровки) шаровой мельницей с изношенной футеровкой, увеличивается соответствующее значение мощности $P_{нов}$, потребляемой с новой футеровкой, приблизительно на 100-120 кВт или на 5-6%.

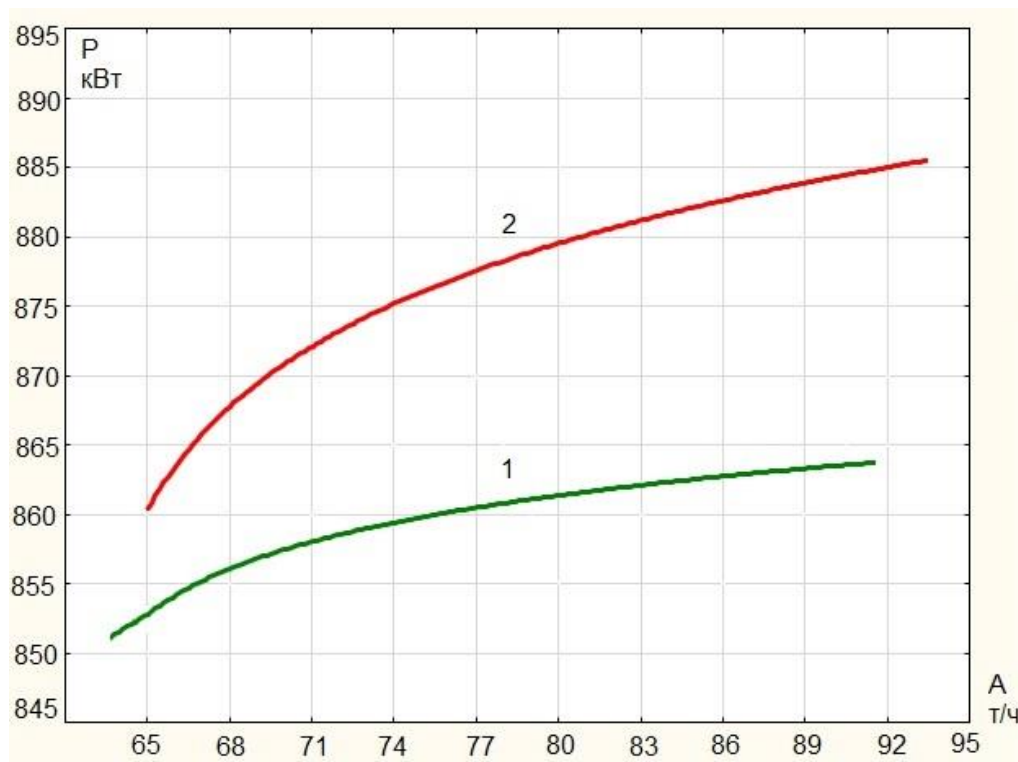


Рисунок 2. Энергетические характеристики $P=f(A)$ мельницы МШЦ с новой (1) и изношенной (2) футеровкой,

Соответственно различны и значения среднего удельного потребления электроэнергии $w_{\text{нов}}$ и $w_{\text{изн}}$ мельницами с новой и изношенной футеровкой.

Для решения поставленных задач нами была предложена модель системы регулирования скорости шаровых мельниц МШЦ 45х60. Таким образом достигается энергоэффективность за счет длительной работы рекуператора и возобновления при торможении.

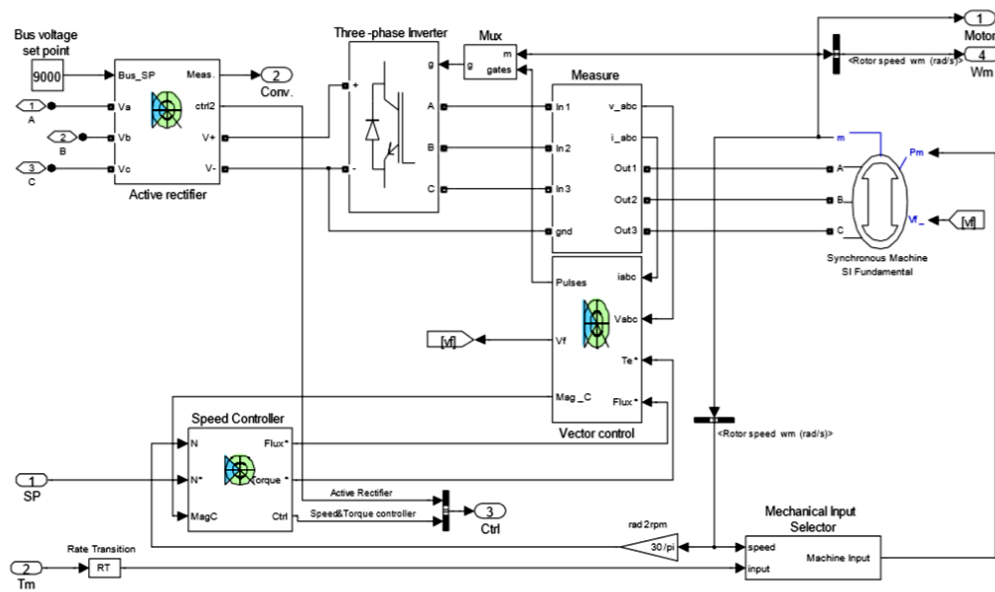


Рисунок 3. Модель в среде пакета прикладных программ MatLab-Simulink двигателя ПЧ-СД шаровой мельницы МШЦ- 45х60

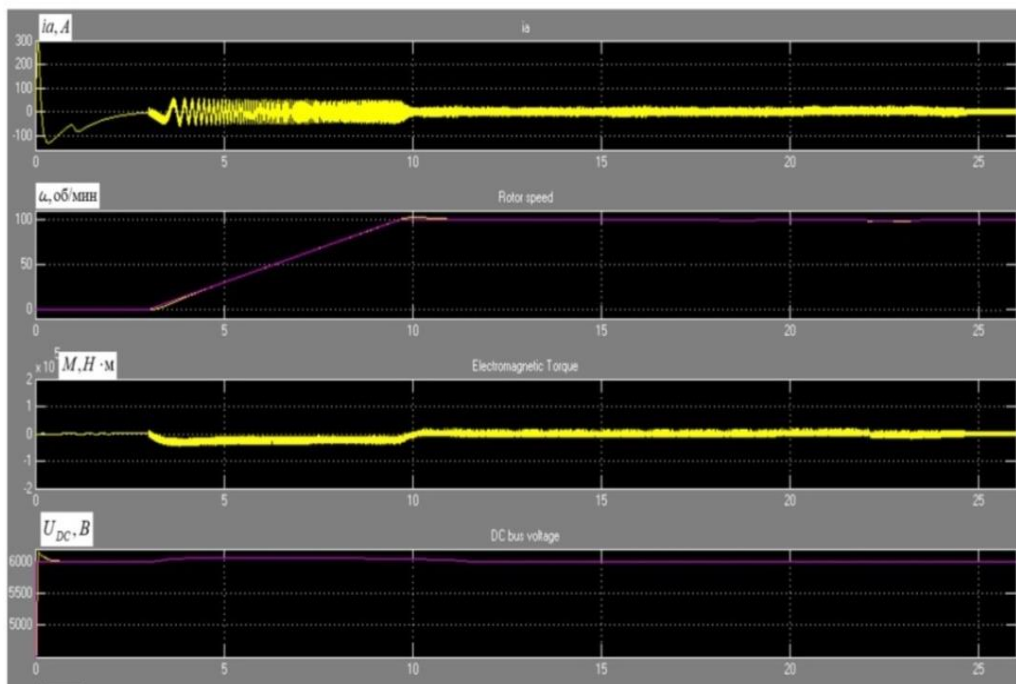


Рисунок 4. Изменение тока, скорости и напряжения статора.

Синтезированная модель синхронного электродвигателя шаровых мельниц ПЧ-СД управляемая по пропорциональному закону шаровой мельницы МШЦ-45х60 показана на рисунке 3. Управления напряжением, током статора и скоростью устанавливаются оптимально симметричными. Регуляторы тока в активном выпрямителе и пропорционально управляемой системе являются регуляторами гистерезиса.

Моделирование проводилось на двигателе СДС19-56-40 мощностью 900-2500 кВт при напряжении 6 кВ. Форма результатов моделирования показана на рисунке 4. Результаты моделирования подтвердили эффективность, быстродействие и стабильность системы управления, показав, что для привода шаровых мельниц МШЦ 45х60 целесообразно использовать систему ПЧ-СД.

Моделирование проводилось для двигателя СДС19-56-40 выходной мощностью 900-2500 кВт и номинальном напряжением 6 кВ. Форма результатов моделирования показано на рисунке 4.

Результаты моделирования подтвердили эффективность, быстродействие системы управления и стабильность, показали целесообразность использования системы ПЧ-СД с активным выпрямителем для привода шаровых мельниц МШЦ 45х60.

Четвертая глава диссертации **«Оптимизация режимов работы мельничных установок»** посвящена Определению параметров, определяющих показатели работы мельничных установок и выявление наиболее значимых факторов Математическая модель системы электропривода рудной мельницы Оптимизации обогатительного процесса при максимальной производительности.

Для определение параметров определяющих показатели работы мельничных установок и выявление наиболее значимых факторов мы проводили эксперименты. Такие факторы как коэффициент загрузки, подача воды, твердость руды и шаровая загрузка. На основе априорной данных и предыдущие исследования, установлен ключевые факторы который влияет на эффективности шаровой мельницы. Такие факторы как: подача руды Q ; подача воды t ; скорость вращения барабана ω ; коэффициент загрузки руды φ .

В качестве параметров оптимизации мы выбираем: G - производительность мельницы (т/час); P -мощность, потребляемая электроприводом шаровой мельницы (кВт); R_{008} - твердость руды размером 80 мкм (%); S -удельная поверхности готового продукта (m^2/kg); q - удельный расход электроэнергии (кВт *ч/т).

Анализ известных работ, посвященных исследованию и совершенствованию режимов работы системы электропривода, обеспечивающей измельчение руды, показывает, что разные авторы разработали уникальные методы исследования режимов работы, и значительные теоретические экспериментальные исследования были проведены. В то же время следует отметить, что в известных

экспериментальных и теоретических материалах не учитываются характеристики, свойственные электромеханической системе мельница - двигатель, в частности, динамическое поведение нагрузки, возможности падения и износ футеровок. Кроме того, невозможно применять традиционные методы исследования режимов работы системы электропривода, связанных с изменением технико-экономических требований процесса измельчения руды. Поэтому целесообразно рассмотреть проблему исследования и улучшения режимов работы системы электропривода, обеспечивающей измельчение руды, с новой точки зрения. Особенность рудно-мельничного электропривода обусловлена наличием взаимосвязи между электромеханическими явлениями привода и технологическим процессом измельчения руды. Независимо используемого электропривода качественные и количественные характеристики готового продукта (измельченной руды), характеризующие работу системы, обусловлены, двигателя, управляющих устройств и механизмов передачи. Это также подтверждается полной активной мощностью, сформированной на оси вращения барабана мельницы.

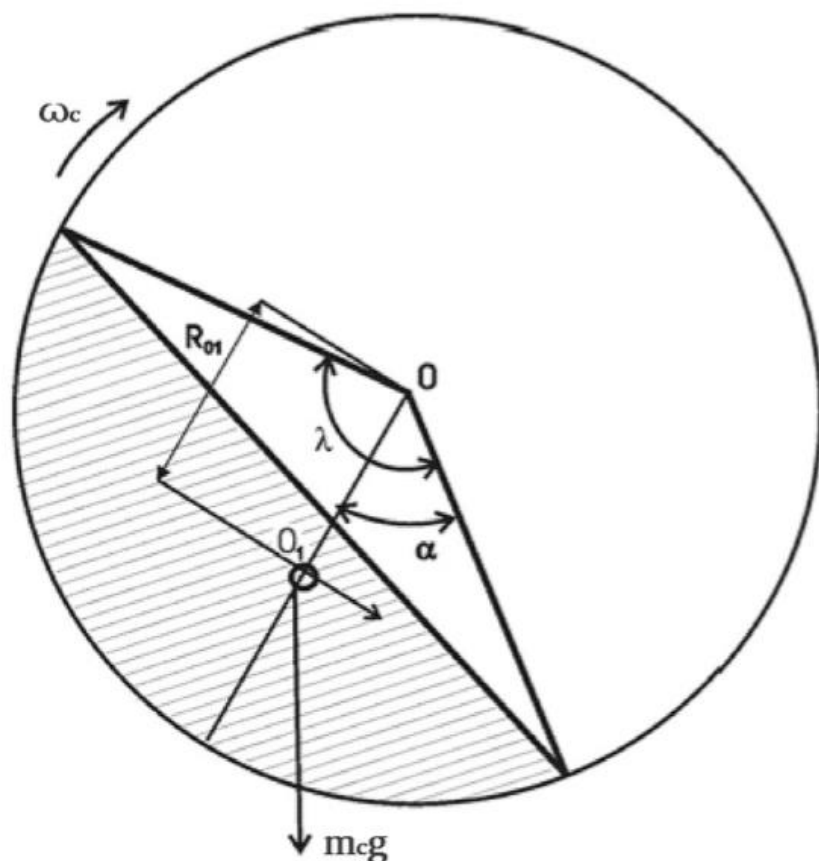


Рисунок. 5. Схема определения момента сопротивления руды

Полная активная мощность, потребляемая двигателем привода мельницы определяется:

$$P = \frac{P_o + P_{\Pi}}{\eta_D \eta_M},$$

механических характеристик двигателя и мельницы:

$$M_D = M - M_c, \quad (1)$$

M – момент синхронного двигателя, M_c – момент сопротивления руды, M_D – динамический момент системы привода, зависящий от момента инерции системы:

$$M_D = T_m \frac{ds}{dt}, \quad (2)$$

T_m – постоянная инерции; Момент синхронного двигателя определяется:

$$M = \frac{mUE_f \sin \theta}{x_d \omega} + \frac{mU^2 \sin 2\theta}{\omega} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right), \quad (3)$$

M_c является моментом сопротивления рудного мельницы и определяется следующим образом:

$$M_c = m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha, \quad (4)$$

где ω_c – угловая скорость вращения мельницы; g – ускорение свободного падения, η_M – эффективность передачи от вала двигателя к барабану мельницы; α – угол обхода материала в мельнице; R_{01} – расстояние 00_1

Расстояние 00_1 определяется:

$$R_{01} = \frac{2R \sin^3 \frac{\lambda}{2}}{3 \left(\frac{\lambda}{2} - \sin \frac{\lambda}{2} \cos \frac{\lambda}{2} \right)}, \quad (5)$$

Масса материала, измельченного в мельнице, определяется следующим образом:

$$m_c = \frac{\gamma L R^2 N}{2Vf} (\lambda - \sin \lambda), \quad (6)$$

где γ – объемная плотность материала основы; L – длина мельничного барабана. Разместив уравнения (1), (2), (3) и (4), получим

$$T_m \frac{ds}{dt} = \left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{1}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha$$

где x_d – индуктивное сопротивление фазы статора по продольной оси; x_q – индуктивное сопротивление фазы статора по оси сечения; ω – угловая скорость двигателя.

Выражая ω по s и угловой скорости синхронного вращения ω_s получим:

$$T_m \frac{ds}{dt} = \left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \times \frac{1+s}{\omega_s} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c(1+s)}{\eta_M \omega_s} \sin \alpha$$

из которого:

$$T_m \frac{ds}{dt} = \left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{s}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c s}{\eta_M \omega} \sin \alpha +$$

$$\left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{1}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha$$

Учитывая, что $s = \frac{d\theta}{dt}$ знак равно и выполняя некоторые. При показаниях

мы получим:

$$T_m \frac{d^2\theta}{dt^2} = \left(\left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{1}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha \right) \frac{d\theta}{dt}$$

$$+ \left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{1}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha.$$

Для исследования состояния системы в различных режимах работы по использовался программный пакет MatLab. Для построения модели

выражение вводится основными единицами:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{1}{T_{m\mu} B} \cdot \left[\left(\left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{1}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha \right) \frac{d\theta}{dt} \right.$$

$$\left. + \left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{1}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha \right]$$

где

$$T_{m\mu} = \frac{GD^2 n^3 p}{3450 \sqrt{3} \cdot 10^{-3} \cdot UI} \quad B = \frac{\sqrt{3} UI p}{\omega} \quad \text{и здесь } GD^2 - \text{ ускоряющий момент ротора;}$$

n - частота синхронного вращения; p - число пар полюсов синхронного двигателя; I - ток статора.

Разработана модель для исследования динамических явлений системы синхронного привода для измельчение, позволяющая изучать динамику режимов работы приводных двигателей различных мельниц в условиях изменения напряжения питания и момента нагрузки. Применение предложенной модели может послужить основой для повышения надежности системы электропривода и улучшения режимов запуска.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана математическая модель электропотребления шаровой мельницы в функции производственно-технологических факторов, позволяющая учитывать степень загрузки мельницы и износ футеровок.

2. Разработана система «преобразователь частоты – синхронный двигатель – шаровая мельница», управляемая по пропорциональному закону. Данная система позволяет обеспечить стабильность водопадного режима работы мельничной установки при производственных возмущениях.
3. Предложен энергосберегающий режим работы шаровой мельничной установки, обеспечивающий снижение потребления электрической энергии до 6%.
4. Разработана математическая модель регулируемого электропривода шаровой мельницы, позволяющая учитывать особенности протекания динамических и статических режимов. Предложен алгоритм оптимизации режима работы системы «синхронный двигатель – шаровая мельница», с учетом производительности и удельного расхода электрической энергии.
5. Результаты исследования внедрены в Гидрометаллургическом заводе №1 Навоийского горно-металлургического комбината для регулирования режимов работы шаровых мельничных установок. В результате, экономический эффект составил 123 840 000 (сто двадцать три миллиона восемьсот сорок тысяч) сум в год.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING DEGREE OF DOCTOR
OF SCIENCES DSc.03/10.12.2019.T.03.03 AT TASHKENT STATE
TECHNICAL UNIVERSITY**

NAVOI STATE MINING INSTITUTE

MAVLONOV JONIBEK ASHUROVICH

**INCREASING THE EFFICIENCY OF THE USE OF ELECTRIC POWER
IN THE PROCESS OF GRINDING ORE
(ON THE EXAMPLE OF THE NAVOI MINING AND METALLURGICAL
COMBINE)**

05.05.01 – Energy systems and complexes

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

Ташкент – 2020

The theme of doctoral (PhD) dissertation on technical sciences was registered at Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number № B2019.2.PhD/T1148

Dissertation has been prepared at the Navoi state mining institute.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of Scientific council (www.tdtu.uz) and on Information-educational portal «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor: **Ishnazarov Oybek Xayrullaevich**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Khoshimov Foziljan Abidovich**
doctor of technical sciences, professor

Leading organization: **Aripov Nazirjon Mukaramovich**
doctor of technical sciences, professor
Tashkent State Transport University

The doctoral (DSc) dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Tashkent State Technical University (Registration number 172, Address: 2, University str. Tashkent 100095, Uzbekistan Phone/Fax: (99871) 246-03-41.

Abstract of the dissertation was distributed on «13» November 2020 year.

(mailing report № «2» on «13» November 2020 year).



K.R. Allaev

Chairman of scientific council for degrees,
Doctor of technical sciences, Professor, Academician

O.Z. Toirov

Scientific secretary of the Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Senior Scientific Researcher

M.I. Ibodullayev

Chairman of the scientific seminar under Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor.

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work is increasing the efficiency of the use of electricity in the process of grinding ore by mills.

The tasks of research:

study of the influence of production and technological factors on the power consumption of a ball mill;

development of a mathematical model of an adjustable electric drive of a ball mill;

identification of the energy-saving mode of operation of the ball mill;

improvement of the way to control the ball mill to ensure the waterfall regime;

development of an algorithm for optimal control of the operating mode of ball mills.

The objects of the research work are the processes of power consumption of the mills of the hydrometallurgical plant of the state enterprise of the Navoi Mining and Metallurgical Combine.

Scientific novelty of the research work:

The dependence of the power consumption of a ball mill on production and technological factors has been determined.

A mathematical model of an adjustable electric drive of a ball mill has been developed, and an energy-saving mode of its operation has been identified.

Improved ball mill control method, providing waterfall operation.

Based on the Lagrange multiplier method, an algorithm for optimal control of the operating mode of ball mills has been developed.

The outline of the the thesis. The thesis consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of used literature, and applications. The volume of the thesis is 114 pages.

CONCLUSION

1. A mathematical model of the power consumption of a ball mill has been developed as a function of production and technological factors, which makes it possible to take into account the degree of mill loading and wear of the lining.

2. The system "frequency converter - synchronous motor - ball mill", controlled according to the proportional law, has been developed. This system allows to ensure the stability of the waterfall operation of the mill installation during production disturbances.

3. An energy-saving mode of operation of a ball mill is proposed, which ensures a decrease in electrical energy consumption by up to 6%.

4. A mathematical model of an adjustable electric drive of a ball mill has been developed, which allows taking into account the peculiarities of the flow of

dynamic and static modes. An algorithm is proposed for optimizing the operating mode of the "synchronous motor - ball mill" system, taking into account the productivity and specific consumption of electrical energy.

5. The results of the study were introduced in the Hydrometallurgical Plant No. 1 of the Navoi Mining and Metallurgical Combine to regulate the operating modes of ball mills. As a result, the economic effect amounted to 123 840 000 (one hundred twenty three million eight hundred and forty thousand) sum per year.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РУЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Мавлонов Ж.А., Муродов Х.Ш., Норкулов А.О. Исследование способа изменения скорости вращения барабана мельницы мокрого самоизмельчение на гидromеталлургический заводе № 1 на примере Навоийский горно-металлургический комбинат // Композиционные материалы Научно-технический и производственный журнал Тошкент 2019 №2 с. 54-56 (05.00.00; №13).

2. Ishnazarov O.Kh., Mavlonov J.A. Basic Directions of Improvement and Improvement of Efficiency Ore Grinding // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 6, Issue 4, April 2019. India (05.00.00; №8).

3. Ишназаров О.Х., Каршибаев А.И., Мавлонов Ж.А., Атауллаев Н.О., Особенности построения энергетических характеристик шаровых мельниц // Кончилик хабарномаси. Илмий техник ва ишлаб чикариш журнали. – Навоий, 2019. -№ 4. –С. 92-96. (05.00.00; №7).

4. Мавлонов Ж.А., Уринов Ш.Р. Мухаммадиев Б.С. Исследования по интеллектуальному управлению системой электропривода в шаровых мельницах. // Кончилик хабарномаси. Илмий техник ва ишлаб чикариш журнали. – Навоий, 2020. -№ 4. –С. 98-100. (05.00.00; №7).

5. Мавлонов Ж.А., Саъдуллаев Н.Н., Шойматов Б.Х. Оптимизация параметров в системе нутризаводского электроснабжения // Кончилик хабарномаси. Илмий техник ва ишлаб чикариш журнали. – Навоий, 2009. - № 4. –С. 74-76. (05.00.00; №7).

6. Мавлонов Ж.А. Атауллаев А.О. К задаче составления уравнения баланса мощности и энергии. // Кончилик хабарномаси. Илмий техник ва ишлаб чикариш журнали. – Навоий, 2010. -№ 4. –С. 92-93. (05.00.00; №7).

II бўлим (II часть; II part)

7. Мавлонов Ж.А. Электр моторли шар тегирмонини интеллектуал бошқариш тизими параметрларини ҳисоблаш. //№ DGU 08154 Ўзбекистон республикаси адля вазирлиги хузуридаги интеллектуал мулк агентлиги 08.05.2020

8. Мавлонов Ж.А. Исомов И.И. Махмудов М.М. Ахмадов И.И. Ёркулов М.К. Разработка способов и технических средств мониторинга при системе обеспечения качества электроэнергии на Навоийском горно-металлургическом комбинате. // Проблемы науки, научно-методический журнал № 3 (39), Москва 2019 С. 28

9. Мавлонов Ж.А. Инвестиционные методы и оценки проектов по энергоэффективности // Материалы международной научно-технической конференции Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития .Навои. 2010.12-14 май С. 206
10. Мавлонов Ж.А. К задаче составление уравнения баланса мощности и энергии // Материалы международной научно-технической конференции. Современные техника и технологии горно- металлургической отрасли и пути их развития. Навои. 2010.12-14 май С. 206
11. Мавлонов Ж.А. Эффективность технологических показателей дробилок горно-металлургических промышленности // Перспективы развития техники и технологии и достижения горно-металлургической отрасли за годы независимости республики Узбекистан -Навои, 2011г 12-14 мая С 136
12. Мавлонов Ж.А. Методические принципы исследования электропотребления на объектах НГМК // Кон-металлургия комплекси: Ютуклар, муаммолар ва ривожланиш истикболлари VIII-халкаро илмий – техникавий анжумани -Навои 19-21 ноябр-2015 йил С.232.
13. Холмуродов М.Б. Мавлонов Ж.А. Определение удельных норм расхода электроэнергии горно-металлургической промышленности. // Материалы республиканской научно-технической конференции. Достижения, проблемы и перспективы инновационного развития. г Навои. 15-16 ноября, 2016 г. с 203.
14. Мавлонов Ж.А. Исследование практики энергосбережения на Навоиском горно-металлургическом комбинате. // Кон-металлургия комплекси: Ютуклар, муаммолар ва ривожланишнинг замонавий истикболлари IX-халкаро илмий –техникавий анжумани Навои 12-14 июн 2017 йил 161 б.
15. Каршибоев А.И. Мавлонов Ж.А. Исследование энергетическиз режимов электроприводов основного и вспомогательного технологического оборудования рудника «Мурунтау» // Кон-металлургия комплекси: Ютуклар, муаммолар ва ривожланишнинг замонавий истикболлари IX-халкаро илмий –техникавий анжумани. Навои 12-14 июн 2017 йил 161 б.
16. Мавлонов Ж.А. Вращения на производительность и потребляемая мощность шаровых мельниц. // Proceedings of the international conference on integrated innovative development of zarafshan region achievements, challenges and prospects 27-28 november, 2019. Navoi, Uzbekistan.
17. Мавлонов Ж.А. Влияние износ футеровки шаровых мельниц на электроэнергетические показатели. // XXIX International scientific conference EUROPEAN RESEARCH сборник статей XIV Международной научно-практической конференции, 2020 г. г. Пенза С.54-56

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» ва «Энергия ва ресурс тежаш муаммолари» журналлари таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлари ўзаро мувофиқлаштирилди.