

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА  
«ИЛМИЙ – ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МАЪСУЛИЯТИ ЧЕКЛАНГАН  
ЖАМИЯТ ҲУЗУРИДАГИ ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ  
БЕРУВЧИ 14.07.2016.Т.02.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**«ИЛМИЙ – ТЕХНИКА МАРКАЗИ»  
МАЪСУЛИЯТИ ЧЕКЛАНГАН ЖАМИЯТ**

**ИШНАЗАРОВ ОЙБЕК ХАЙРИЛАЕВИЧ**

**МИНЕРАЛ ХОМАШЁ РЕСУРСЛАРНИ ҚАЙТА ИШЛАШДА  
ЭНЕРГИЯ ТЕЖАМКОР ТЕХНОЛОГИЯЛАРНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ  
(КОН-МЕТАЛЛУРГИЯ САНОАТИ МИСОЛИДА)**

**05.05.01 – «Энергетика тизимлари ва мажмуалари»  
(техника фанлари)**

**ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Докторлик диссертацияси автореферати мундарижаси**  
**Оглавление автореферата докторской диссертации**  
**Content of the abstract of doctoral dissertation**

|  |    |
|--|----|
| Ишназаров Ойбек Хайрилаевич<br>Минерал хомашё ресурсларни қайта ишлашда энергия тежамкор<br>технологияларни ишлаб чиқиш (кон-металлургия саноати мисолида).....                        | 3  |
| Ишназаров Ойбек Хайрилаевич<br>Разработка энергосберегающих технологий при переработке минерально-<br>сырьевых ресурсов (на примере горно-металлургической<br>промышленности).....     | 29 |
| Ishnazarov Oybek Khayrilaevich<br>The development of energy-saving technologies in the processing of mineral<br>resources (for example of the mining and metallurgical industry) ..... | 55 |
| Эълон қилинган ишлар рўйхати<br>Список опубликованных работ<br>List of published works .....   | 77 |

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ва  
«ИЛМИЙ – ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МАЪСУЛИЯТИ ЧЕКЛАНГАН  
ЖАМИЯТ ҲУЗУРИДАГИ ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ  
БЕРУВЧИ 14.07.2016.Т.02.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**«ИЛМИЙ – ТЕХНИКА МАРКАЗИ»  
МАЪСУЛИЯТИ ЧЕКЛАНГАН ЖАМИЯТ**

**ИШНАЗАРОВ ОЙБЕК ХАЙРИЛАЕВИЧ**

**МИНЕРАЛ ХОМАШЁ РЕСУРСЛАРНИ ҚАЙТА ИШЛАШДА  
ЭНЕРГИЯ ТЕЖАМКОР ТЕХНОЛОГИЯЛАРНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ  
(КОН-МЕТАЛЛУРГИЯ САНОАТИ МИСОЛИДА)**

**05.05.01 – «Энергетика тизимлари ва мажмуалари»  
(техника фанлари)**

**ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2016**

Докторлик диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида №28.04.2016/В2016.2.Т675 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси «Илмий – техника маркази» маъсулияти чекланган жамиятида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз) Илмий кенгаш веб-саҳифаси ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ва «ZIYONET» таълим ахборот тармоғида ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) жойлаштирилган.

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Илмий маслаҳатчи:</b>   | <b>Камалов Толяган Сиражиддинович</b><br>техника фанлари доктори, профессор  |
| <b>Расмий оппонентлар:</b> | <b>Арипов Назиржон Мукарамович</b><br>техника фанлари доктори<br><b>Tetyana Mogozyuk (Германия)</b><br>фан доктори, профессор<br><b>Алимходжаев Камолiddин Тиллаходжаевич</b><br>техника фанлари доктори |
| <b>Етакчи ташкилот:</b>    | <b>«Олмалик кон-металлургия комбинати» АЖ</b>  |

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва “Илмий – техника маркази” маъсулияти чекланган жамият ҳузуридаги 14.07.2016.Т.02.01 рақамли илмий кенгашнинг 2016 йил “\_\_\_” \_\_\_\_\_ соат \_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100125, Тошкент, Дўрмон йўли кўч., 29. Тел.: (99871) 262-05-22; факс: (99871) 262-09-19; e-mail: [info@energetika.uz](mailto:info@energetika.uz)).

Докторлик диссертацияси билан “Илмий – техника маркази” маъсулияти чекланган жамиятининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин ( \_\_\_ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100125, Тошкент, Дўрмон йўли кўч., 29. Тел.: (99871) 262-05-22).

Диссертация автореферати 2016 йил “\_\_\_” \_\_\_\_\_ куни таркатилди.  
(2016 йил “\_\_\_” \_\_\_\_\_ даги \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси)

**Х.М. Муратов**  
Фан доктори илмий даражасини берувчи  
илмий кенгаш раиси  
т.ф.д., профессор

**О.О.Зарипов**  
Фан доктори илмий даражасини берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д., доцент

**Р.А.Захидов,**  
Фан доктори илмий даражасини берувчи илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,  
Ўзбекистон Республикаси ФА академиги, т.ф.д., профессор

## КИРИШ (Докторлик диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Бугунги кунда жахон давлатларининг электр энергия билан таъминланганлик даражаси турлича бўлиб, саноатда ўртача электр энергияга сарф 37% ташкил қилади, шундан кон-металлургия саноатига 12% тўғри келади. Кон-металлургия саноатига энгил ажратиладиган минерал хомашёлар захираси камайиши ва эксплуатацияга оғир кон-геология шароитидаги минерал хомашёларни жалб этилаётганлиги сабабли электр энергия сарфи хам ошиб бормоқда. Статистик маълумотларига кўра дунё давлатларининг кон-металлургия саноатида йиллик электр энергияга бўлган эҳтиёжи 913,2 ТВт·с ни ташкил этади ва тадқиқот натижаларига кўра, 2030 йилга келиб электр энергиянинг истеъмоли йилига ўртача 1,8% ошади. Саноат корхоналарнинг электр энергияга бўлган эҳтиёж ва талабларини таъминлашда ишлаб чиқиш технологияларнинг энергия тежамкорлиги ва самарадорлигини оширишга, электр энергия истеъмолини оптималлаштириш чора-тадбирларини жорий этишда алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Ўзбекистон Республикасида кон-металлургия саноати йирик энергия ресурслар истеъмолчиларидан бири ҳисобланиб, юқори самарадорликка эга бўлган технологияларни жорий этишга оид тадбирларни самарали ташкил қилишга алоҳида эътибор қаратилди. Бу борада бойитиш технологик жараёнидаги юқори самарали бошқариш тизимларини яратиш, электр энергия истеъмолини меъёрлаш, интеллектуал тизим асосида технологик жараённинг бошқариш тизимини такомиллаштириш борасида сезиларли натижаларга эришилди.

Кон-металлургия саноатида рудани бойитиш технологик жараёнининг ўзига хос хусусиятидан келиб чиққан ҳолда энергия истеъмолини камайитириш ва минерал хом ашё ресурсларини қайта ишлаш технологияларининг энергетик самарадорлигини ошириш муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу борада мақсадли илмий-тадқиқотларни, жумладан қуйидаги йўналишлардаги илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади: частотавий бошқарилувчи электр юритмаларнинг рационал бошқариш қонунини ишлаб чиқиш, асинхрон моторнинг энергия тежамкор динамик ва статик иш режимларини аниқлаш ва уларнинг математик моделини яратиш, насос агрегатининг емирилиши моделини ишлаб чиқиш, электр энергия сарфини технологик жараёнга таъсир этувчи омилларни аниқлаб меъёрлаш методикасини яратиш, бойитиш технологик жараённинг энергия сарфини башорат алгоритминини ишлаб чиқиш. Юқорида келтирилган илмий-тадқиқотлар йўналишида бажарилаётган илмий изланишлар мазкур диссертация мавзусининг долзарблигини изоҳлайди.

Ўзбекистон Республикасининг «Энергиядан оқилона фойдаланиш тўғрисида»ги қонуни (1997), Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 5 майдаги ПҚ-2343-сон «2015-2019 йилларда иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия сиғимини қисқартириш, энергия тежайдиган технологияларни жорий этиш чора-тадбирлари дастури тўғрисида»ги Қарори

ва Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2012 йил 28 ноябрдаги 333-сон «Саноатда ишлаб чиқариш харажатларини қисқартириш ва маҳсулот таннархини пасайтириш борасидаги кўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли барча меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

### **Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи<sup>1</sup>.**

Ишлаб чиқариш жараёнлари технологияларининг энергетик самарадорлигини частотавий ростланувчи электр юритмалар асосида ошириш, энергия ва ресурстежамкор технологияларни яратиш ва жорий этиш, шунингдек технологик жараёнларни оптимал бошқариш тизимларини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан, University of Cambridge (Англия), University of Tennessee, Columbia University, Rockwell Automation, Data Flow Systems, Inc (АҚШ), TU Dortmund University (Германия), Миллий тадқиқотлар университети "МЭИ" (Россия), Триол корпорацияси (Россия), AGH University of Science and Technology (Польша), Schneider Electric, ALSTOM (Франция), ABB Group (Швейцария), Siemens AG (Германия), Hyundai Heavy Industries Co. (Корея), Toshiba (Япония) томонидан олиб борилмоқда.

Кон-металлургия саноатида энергия тежамкор технологияларни жорий этиш ва ускуналарнинг бошқариш усуллари тақомиллаштиришга оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан, қуйидаги илмий натижалар олинган: оптимал бошқарув алгоритмларини мукамаллаштириш асосида насос қурилмаларининг частотавий ростланувчи электр юритмалари ишлаб чиқилган (University of Cambridge, Англия); интеллектуал технологиялар асосида мураккаб технологик жараёнларни автоматлаштирилган бошқарув тизимлари ишлаб чиқилган (Data Flow Systems, Inc., АҚШ); энерготехнологик менеджментнинг интеграллашган инфор­мацион тизими ишлаб чиқилган Schneider Electric (Франция).

Дунёда кон-металлургия саноатида энергия тежамкор технологиялар ишлаб чиқиш ва технологик жараёнларнинг энергетик самарадорлигини ошириш бўйича қатор, жумладан, қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: частотали ростланувчи электр юритмаларни ишлаб чиқиш; рудани бойитиш технологик жараёнида ишлаш режимида руданинг сифат кўрсаткичларига таъсир этувчи омилларни аниқлаш; частота ўзгартиргичнинг оптимал бошқарув структура схемаси ишлаб чиқиш;

---

<sup>1</sup>Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи <http://search.ebscohost.com/>, <http://www.cyberleninka.ru>, <http://www.works.doklad.ru>, <http://elibrary.ru/>, Kazakov B., Shalimov A., Kiryakov A. Energy-saving mine ventilation / Journal of Mining Science. May 2013, Vol. 49 Issue 3, p 475-481 ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

частотали ўзгартиргичнинг скаляр ва вектор бошқарув қонунларини такомиллаштириш; генетик алгоритм асосида оптимал бошқариш тизимни яратиш; векторли бошқариладиган моторларнинг тезлигини датчиксиз аниқлаш усулини ишлаб чиқиш.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Энергия тежамкор технологияларни ишлаб чиқиш, саноат корхоналарининг энергия тежамкорлиги ва энергия самарадорлигини ошириш, электр энергия истеъмолини оптималлаш, электр моторларда частота ўзгартиргичи ёрдамида айланиш частотасини ростлаш, автоматлаштирилган технологик жараёнларни бошқариш тизимини ишлаб чиқиш масалалари бир қатор олимлар: Mark Cannon (University of Oxford), Marc Bodson (University of Utah), Geraint Jewell (University of Sheffield), Tetyana Morozyuk (Technical University of Berlin), Juha Pyrhönen (Lappeenranta University of Technology), Hans-Georg Herzog (Technische Universität München), Volker Staudt (Ruhr-Universität Bochum), K.T. Chau (University of Hong Kong) ва бошқаларнинг ишларида кўриб чиқилган.

Саноат корхоналарида частотали ростланувчи электр юритмалар асосида энергия тежамкор технологиялар ишлаб чиқиш ва жорий этиш масалалари билан боғлиқ тадқиқотлар бир қатор олимлар томонидан олиб борилган, жумладан, Siemon G.R., Ferreira F.J., Jahns T.M., Hanitsch R., Walters D.G., Шрейнер Р.Т., Браславский И.Я., Ключев В.И., Козярук А.Е., Фигаро Б.И., Камалов Т.С., Хошимов О.О. таҳлили шуни кўрсатадики, ҳозирги вақтда саноат корхоналардаги узликсиз режимда ишлайдиган ускуналарда электр юритмани ростлаш орқали электр энергия сарфини 30% гача тежаш имконини беради. Шунингдек, саноат корхоналари томонидан электр энергия истеъмол қилиш режимларини оптималлаштириш, сарфланган электр энергияни меъёрлаш ва электр моторларнинг самарадорлигини ошириш бўйича тадқиқотлар Мельников М.А., Насыров Т.Х., Аллаев К.Р., Кудрин Б.И., Хошимов Ф.А., Арипов Н.М., Алимходжаев К.Т., Бобожанов М.К., Bose S.K., Hussein T. Mouftah каби олимлар томонидан тадқиқ қилинган ва маълум даражадаги ижобий натижаларга эришилган.

Кон-металлургия ва металлургия саноатларида энергия тежамкор технологияларни ишлаб чиқиш, электр энергия истеъмоли ва ишлаб чиқаришнинг самарадорлигини оширишга бағишланган ишлар Ляхомский А.В., Олейников В.К., Никифоров Г.В., Осипов А.В., Зюбровский Л.Г., Васильев И.Е. ва бошқаларнинг тадқиқотларида рудани ташкил этувчи қимматбаҳо компонентларнинг камайиши билан, ишлаб чиқариш хажмининг доимий равишда ортиши, кон-металлургия саноатида янги энергия ва ресурстежамкор усуллар ва технологиялар яратилиши талаб этилади. Олимлар томонидан частотавий бошқарилувчи электр юритмаларни, электр энергия истеъмоли ва унга таъсир этувчи омилларни ўрганиш соҳасида эришилган муваффоқиятларга қарамай, муҳандислик нуктаи-назаридан таъминлаш хали ҳамон етарли даражада эмас. Шу билан бирга, мазкур масалалар бўйича тадқиқотларнинг кўплигига қарамай, рудани бойитиш жараёнларида энерготежамкорлик вазифалари етарлича ишлаб чиқилмаган. Буни, биринчи

навбатда рудани бойитиш жараёнларига қўйиладиган талабларнинг турли-туманлиги ва кўпинча қарама-қаршилиги билан тушунтириш мумкин. Бошқа томондан, кон-металлургия саноатида рудани бойитиш жараёнлари ўзига хос хусусиятларга эга мураккаб динамик тизимдан ташкил топган. Юқорида келтирилганларни инобатга олиб, кон-металлургия саноатида частотавий бошқарилувчи электр юритмалар асосида минерал хомашё ресурсларини қайта ишлаш технологияларининг энергетик самарадорлигини ошириш ва электр энергия истеъмолига таъсир этувчи омилларни инобатга олган ҳолда электр энергияни меъёрланиши ва башорати бўйича тадқиқотларни олиб бориш ва тадқиқ этишга бағишланган илмий изланишлар ҳозирги кунда етарли даражада кўрилмаган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти «Илмий техника маркази» Маъсулияти чекланган жамияти илмий-тадқиқот ишлари режасининг А-12-057 «Тоғ-кон саноати электро- механик тизимларида энергия ва ресурсларни тежовчи юқори самарали технология ва техник воситаларни ишлаб чиқиш» (2006-2008), ЁАЗ-ФК-074326 «Бойитиш механизмларининг ростланувчи электр юритма тизимларини ишлаб чиқиш ва тадқиқот қилиш, математик моделлаш ва уларнинг иш режимларини оптималлаштириш» (2014-2015), Ф2-ФА-0-12660 «Тоғ-кон саноатида ва машинали суғориш каналлари тизимларининг насос станцияларида турбомеханизмлардаги ўзаро алоқадор электрогидромеханик жараёнларни ва энерго- ва ресурстежамкор режимларни частотавий бошқарилувчи электр юритмалар ёрдамида рационал бошқариш назариясини ривожлантириш» (2012-2016) мавзусидаги лойиҳалар доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** рудани бойитиш технологик жараёнида ростланувчи электр юритма ва электр кўрсаткичларини меъёрлаш асосида энергия самарадорлигини таъминловчи техник ечимларни ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

рудани бойитишнинг технологик жараёнида энергетик ускуналардан фойдаланиш самарадорлигини ошириш имкониятларининг таҳлил этиш;

рудани бойитишнинг технологик жараёнида механизмларнинг электр юритмаларига талабларни аниқлаш;

«электр мотор – ишчи механизм» тизимини бошқарув объекти сифатида ўрганиш ва берилган талабларга мос технологик жараённинг энергия ва ресурстежамкорлигини таъминловчи автоматик бошқарув тизимининг рационал структурасини аниқлаш;

«асинхрон мотор–насос» тизимининг математик моделини ишлаб чиқиш, пульпани насос билан тортишда энергия ва ресурс тежамкор режимларга йўналтирилган частота бошқариш тизими тузилишини ва қонунларини аниқлаш;

кон-металлургия саноатида энергия истеъмол қилувчи объектларнинг параметрлар таркибини ўрганиш, статистик қайта ишлаш учун тадқиқот этилаётган маълумотлар базасини яратиш;



кон-металлургия саноатида электр балансни яратувчи алоҳида элементлардан ташкил топган энергия истеъмол қилувчи объектларнинг структурасини аниқлаш;

рудани қайта ишлашга сарфланадиган электр энергияни меъёрлаш ва башорат қилиш методикасини ишлаб чиқиш;

пульпани чиқарувчи насос қурилмаларининг энерготежамкор иш режимлари, насос қурилмасининг структура схемалари ва уни бошқариш алгоритмини конкрет кон-металлургия саноатидаги заводларига амалиётга тадбиқ этиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида кон-металлургия саноатида рудани бойитиш технологик жараёни олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** ростланадиган электр юритма ва рудани бойитиш жараёнларидаги технологик ускуналарининг солиштирма электр истеъмоли кўрсаткичи ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида замонавий электр юритма назарияси ва автоматик бошқарув назарияси усуллари танланган. Экспериментал тадқиқотларда математик моделлаштириш, экспериментларни режалаштириш, ҳақиқий объектнинг имитацион моделини яратиш усуллари, шунингдек бевосита тадқиқот объектида инструментал ўлчаш усуллари қўлланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

насос деталларнинг емирилишига таъсир этувчи асосий омилларнинг функцияси сифатида емирилишининг математик модели ишлаб чиқилиб, насос деталлари емирилишига таъсир этувчи муҳим омиллар аниқланган;

частотавий ростланадиган «асинхрон мотор - пульпа тортиб чиқарувчи насос» тизимининг энергия ва ресурстежамкор режимлари ишлаб чиқилган;

электр энергия истеъмолининг самарадорликка ва майдалашнинг иккинчи босқичида тегирмонни шарлар билан тўлдириш даражасига боғлиқлиги аниқланган;

энергия тежамкорлик самарадорлигини баҳолаш учун электр истеъмолини меъёрлаш ва моделлаштиришнинг комплекс услуги ишлаб чиқилган;

асосий технологик кўрсаткичлари асосида электр энергия истеъмолини башорат қилиш модели ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижаси** қуйидагилардан иборат:

рудани бойитишнинг технологик жараёнида энергетик ускуналардан самарали фойдаланиш имкониятлари ва механизмларнинг электр юритмаларига қўйиладиган талаблар аниқланган;

«электр мотор – ишчи механизм» тизимини бошқарув объекти сифатида берилган талабларга мос технологик жараённинг энергия ва ресурстежамкорлигини таъминловчи автоматик ростланадиган тизимининг структураси ишлаб чиқилган;

кон-металлургия саноатида энергия истеъмол қилувчи объектларнинг параметрлар таркиби аниқланган, электр балансни яратувчи алоҳида элементлардан ташкил топган энергия истеъмол қилувчи объектларнинг структураси аниқланган;

рудани қайта ишлашга сарфланадиган электр энергияни меъёрлаш ва Data Mining технологияси асосида электр энергия сарфини прогнозлаш алгоритми ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Бойитиш технологик жараёни асосида ишлаб чиқилган ускуналарнинг энергиятежамкор иш режимлари, илмий ҳолатлар, хулосалар ва тавсияларнинг ишончлилиги, электр юритма ва математик физика назариясининг мос бўлимларини экспериментал маълумотларни қайта ишлаш учун методларни апробация қилиб, қўллаш билан адекват математик моделлар асосида замонавий тадқиқот методларини қўллаш билан асосланади. Натижаларнинг ишончлилиги ҳисобланган ва гидрометаллургия заводларида олинган экспериментал маълумотларнинг солиштирма таҳлили, моделларининг адекватлиги, тестланиши, ҳисоблаш тажрибалари таҳлили ва моделлаштириш натижаларининг объектлар бўйича йиғилган реал маълумотлар билан таққослашга асосланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти яратилган “асинхрон мотор – пулпани тортувчи насос” тизими насос агрегатининг емирилишини ҳисобга олган ҳолда частотавий ростланадиган электр юритманинг моделлаштириш назариясини ривожлантириш мумкинлиги ва динамик жараён кўрсаткичлари, частотавий бошқариш қонунларнинг таъсири, технологик жараённинг энергия тежамкор усулида бошқариш алгоритмлари, ҳисоблаш тажрибаларини режалаштириш ва амалга оширишга имконият яратиши билан изоҳланади.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти яратилган частотавий ростланувчи электр юритма, динамик жараёнларидаги моторнинг жаддаллиги, рационал бошқариш қонунини аниқлашни электр энергиянинг солиштирма сарфи меъёрини ҳисоблаш ва башорат қилиш усули, ҳамда минерал хомашё ресурсларини қайта ишлаш технологияларининг энергетик самарадорлигининг оширишни таъминлайди.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Рудани бойитиш технологик жараёнида ростланувчи электр юритмалар ва электр кўрсаткичларини меъёрлаш асосида энергия самарадорлигини таъминловчи техник ечимларни ишлаб чиқиш асосида:

пулпани тортувчи насос қурилмасининг частотавий ростланувчи электр юритмасининг математик модели, насос қурилмаларининг энергиятежамкор иш режимлари, насос қурилмасининг структура схемалари ва уни бошқариш алгоритми Навоий кон-металлургия комбинатининг корхоналарида, жумладан, 2- ва 3- Гидрометаллургия заводларида технологик жараённи бошқариш ва назорат қилиш учун насос қурилмаларига қўлланилган (Навоий кон-металлургия комбинатининг 2016 йил 4 майдаги 02-07-07/5028–сон маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланиши насос қурилмалари бўйича электр энергия сарфининг 5%га камайишига хизмат қилган;

частотавий ростланадиган “асинхрон мотор – насос” тизими ва технологик жараёнларда электроэнергия истеъмолининг башорати масалаларининг ечимлари ФА-Ф5-Ф050 «Турбомеханизмларда содир бўладиган ўзаро алоқадор электрик, гидравлик ва механик жараёнларни тадқиқ қилиш ва моделлаштириш, ҳамда электр юритмаларини рационал бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш» грант лойиҳасида (2007-2011) турбомеханизм қурилмаларини частотавий ростлаганда энергетик параметрларини ва электр энергия истеъмолининг таркибий тузилмасини, комбинацияланган частота орқали бошқариладиган асинхрон электр юритмани ўзаро аниқлашда қўлланилган (Фан ва технологияларни ривожлантиришни мувофиқлаштириш кўмитасининг 2016 йил 20 сентябрдаги ФТК-03-13/596-сон маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши насос ускуналари хизмат кўрсатиш муддатини ошириш, технологик жараёнларда электр энергия сарфини пасайиши ва унинг ресурстежамкор режимларини таъминлаш ҳамда технологик жараёнларнинг энергия тежамкор иш режимларини аниқ баҳолаш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси** Тадқиқот натижалари 29 та илмий-техник анжуманларда, шу жумладан 13 та халқаро анжуманларда муҳокама қилинган: «Кон-металлургия саноатида замонавий техника ва технологиялар ва уларни ривожлантириш йўллари» халқаро илмий-амалий конференция (Навой, 2010, 2012, 2015); «Энергетика: самарадорлик, ишончлилик, хавфсизлик» Умумроссия илмий-амалий конференцияси (Томск, 2013); VIII International scientific - technical conference «Machine drivers on transportation» (Ustron, 2011), Interregional Engineering Conference in Technology and Education - Global Benchmarking and Monitoring (Krakow, 2011); Халқаро ёшлар конференцияси (Томск, 2012 ); «Информатика: муаммолар, методология, технологиялар» XV Халқаро илмий-техник конференция (Воронеж 2015); «Аграр саноат комплексида электр энергиядан фойдаланиш самарадорлигини ошириш муаммолари» Халқаро илмий-техник конференция (Тошкент, 2015) ва 15 та республика миқёсидаги анжуманларида апробациядан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 50 та илмий иши чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 17 та мақола, жумладан, 14 таси республика ва 3 таси хорижий журналларда нашр этилган.

**Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши.** Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 197 бетни ташкил этган.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган..

Диссертациянинг **«Кон-металлургия корхоналарида рудани бойитиш технологик жараёнининг энергетик самарадорлигини ҳозирги ҳолати ва ривожланиш истиқболи»** деб номланган биринчи бобида рудани бойитиш технологик жараёнининг замонавий ҳолати таҳлил қилинган, рудани бойитиш жараёнида ускуналарнинг энергетик самарадорлигини ошириш бўйича тадқиқотларнинг кўриб чиқилган, рудани бойитиш технологик жараёнида энергетик ва техник-иқтисодий кўрсаткичлар солиштирилган. Рудани бойитиш технологик жараёнида иштирок этадиган ускуналарнинг таърифлари кўриб чиқилган. Пульпани транспортировка қилишда самарадорликни ошириш бўйича тадқиқотлар таҳлили ўтказилган, технологик жараёнда бевосита аниқланадиган зумпфада пульпа сатҳи бўйича пульпани тортувчи насос қурилмасининг иш режимларини бошқариш зарурлиги асослаб берилган.

Электр энергия истеъмолининг инструментал тадқиқотлари ўтказилган, улар рудани майдалаш босқичига, рудани қайта ишлашда умумий тан нархда энг катта қисмига энергия сарфи тўғри келишини кўрсатилган.

Кон-металлургия корхоналарининг энергетик самарадорлигини ошириш муаммосини ўрганиш шуни кўрсатдики, улар кўп ҳолларда энергетик ресурслардан самарали фойдаланишнинг техник омиллари билан боғлиқ жиҳатларга бағишланган. Бироқ бу соҳадаги тадқиқотлар электр истеъмоли моделларини яратиш, рудани бойитиш жараёнида энергия истеъмолига таъсир этадиган муҳим омилларни аниқлаш масалаларига юқори эътиборни талаб этади.

Бажарилган илмий таҳлил асосида рудани бойитиш технологик жараёнининг тизимларида энергия тежаш соҳасидаги тадқиқотлар кўламининг кенгайиш тенденцияларини ҳисобга олиб диссертациянинг мақсади ва вазифалари шакллантирилди.

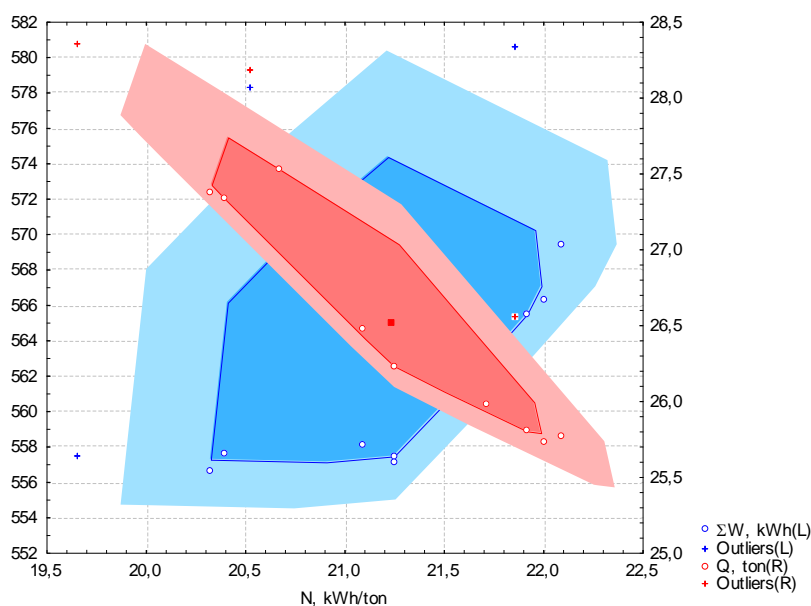
Диссертациянинг **«Кон-металлургия корхоналарининг бойитиш жараёнларининг энергия тежамкор иш режимлари аниқлаш»** деб номланган иккинчи бобида кон-металлургия корхоналарининг электр истеъмоли режимларини тадқиқот қилишнинг методик тамойиллари баён этилган, бойитиш жараёнларида электр истеъмоли жараёнларининг структураси асослаб берилган.

Шарли тегирмонларнинг самарадор ишлаши нуктаи назаридан эксперимент тадқиқотларининг чиқиш характеристикалари сифатида қабул

қилинган бўлиб, рудаларни майдалашнинг барча линияларида электр энергияси сарфи ва унумдорлигининг ўзгариши айниқса шарларнинг юкланганлик назоратига муҳим боғлиқ. Тегирмоннинг унумдорлигини аниқлаш учун оғирлик ўлчов таҳлили қўлланилди.

Рудаларни майдалашнинг барча линияларида оғирлик унумдорлиги буйича электр энергия истеъмоли, ток кучи, кучланиш, қувват коэффициентини ўлчаш ишлари олиб борилди.

Рудаларни майдалаш босқичининг энергетикавий характеристикалари инструментал ўлчашлар асосида олинган бўлиб, таҳлилий натижалар 1-расмда рудаларни майдалаш босқичининг энергетикавий тавсифи келтирилган.



**1-расм. Рудаларни майдалаш босқичининг энергетикавий тавсифи**

Истеъмол қилинадиган қувват ва унумдорлик бўйича тегирмонларнинг шарлар билан тўлдирилиш даражасига боғлиқлиги олинган эксперимент натижалари асосида олинган. 2-расмда шарларни тўлдириш даражаси ва унумдорлиги бўйича 2500 кВт ли тегирмоннинг истеъмол қиладиган актив қувватига боғлиқлиги келтирилган. 2-расмдан кўринадики шарларни юкланишида  $k_{ш}=0,22$  (22% юкламада) истеъмол қилинадиган актив қувват номинал катталиқдан икки марта камаяди. Лекин бунда тегирмоннинг рудани майдалаш вақти ошади, чунки рудани майдалаш учун тушаётган шарлар етарли етарли бўлмаган куч билан таъсир этади. Шарларнинг юкланиш даражасининг ошиши билан истеъмол қилинадиган актив қувват ва рудаларни майдалаш вақти ҳам ошади.

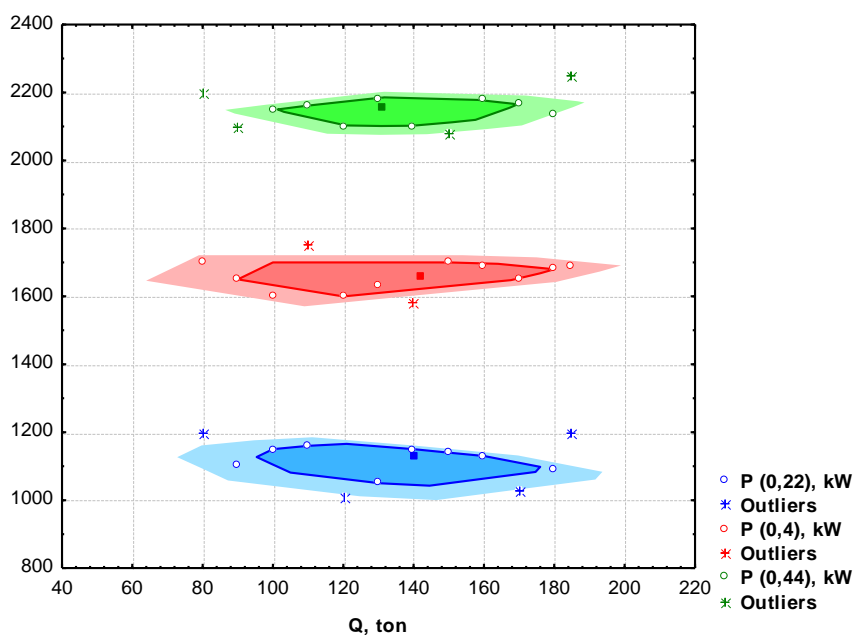
Эксперимент маълумотларини таҳлилий натижасида тегирмон шарларининг юкланиш даражаси унумдорликка ва истеъмол қилинадиган актив қувватнинг ўзгаришига боғлиқлиги аниқланди. Шарларни тўлдириш даражаси 50% га етганда тегирмоннинг унумдорлиги ва электр энергия истеъмоли майдаланишда ошиб боради ва максимумга эришади. Бу маълумотлар тегирмоннинг шарлар билан тўлдирилиш даражасининг

функцияси истеъмол қилинадиган тегирмоннинг актив қувватига боғлиқлигини аниқлашга имкон беради.

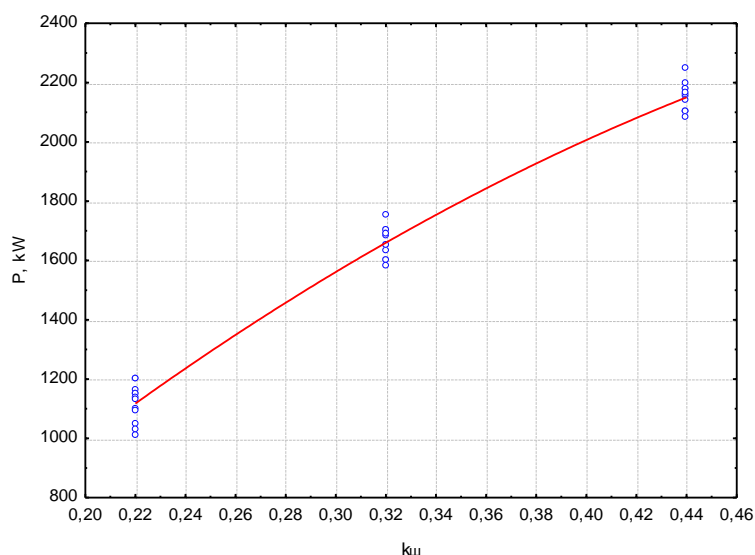
Олинган эксперимент маълумотларни умумлаштириш асосида тегирмон шарларини тўлдириш даражасининг функциясида (1250 кВт ва 2500 кВт тегирмон учун) актив қувват истеъмолининг регрессион модели олинди, яъни 3-расмда келтирилган,

$$P = 8713,0682 \cdot k_{ш} - 6089,015 \cdot k_{ш}^2 - 504,6667, \quad (1)$$

бу ерда  $k_{ш}$  - тегирмоннинг шарлар билан тўлдирилиш даражаси.



2-расм. Тегирмоннинг истеъмол қилинадиган актив қуввати ( $P_n=2500$  кВт), унумдорликка ва шарлар билан тўлдирилиш даражасига боғлиқлиги



3-расм. Тегирмон шарларини тўлдириш даражасининг функциясида (1250 кВт ва 2500 кВт тегирмон учун) актив қувват истеъмоли

Тадқиқотлар кўрсатдики, кон-металлургия корхоналари технологик линияларини самарадор ишлаши грунт насосларини иш режимларининг барқарорлиги орқали сезиларли даражада аниқланади.

Грунт насосларидан фойдаланилганда етарли бўлмаган узоққа чидамлилиги, юқори гидроабразивли емирилишини ундаши билан белгиланади. Айниқса бу камчилик кучли абразивли грунтларни қайта ишлашда намоён бўлади.

Грунт насосларининг самарали ишлашини баҳолашдаги керакли кўрсаткичи, агрегатнинг техник ҳолати ва унинг имкониятлари технологик талабларини қониқтириши, шунингдек назоратли режимда ундан иқтисодий кўпмақсадли фойдаланиш ҳисобланади. Бу кўрсаткичлар насос қисмларининг емирилиш катталиги бўлиб хизмат қилиши мумкин.

Насос агрегатининг интенсив емирилишига қатор факторлар таъсир этади, яъни катталиги, қаттиқлиги ва грунт заррасининг қиёсий тезлиги; емирилувчи детал билан грунт қисмининг учрашув бурчаги; қуйқалар оқимининг тезлиги; детал материалининг емирилишга чидамлилиги, яъни

$$E = f(v, \rho, \delta, \lambda, \mu, \beta, \alpha), \quad (2)$$

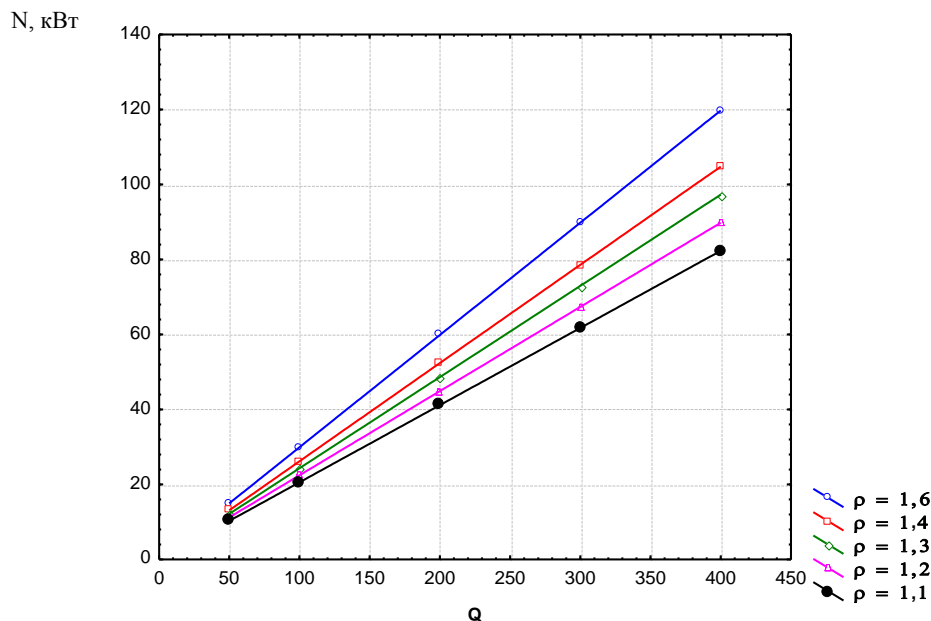
бу ерда  $v$  - қуйқа оқимининг тезлиги  $м/с$ ;  $\rho$  - қуйқаниннг зичлиги,  $кг/м^3$ ;  $\delta$  - емирилувчи жисмнинг мустаҳкамлик чегараси,  $Па$ ;  $\lambda$  - емирилучи жисмнинг қаттиқлиги,  $Па$ ;  $\mu$  - қуйқадаги зарра қаттиқлиги,  $Па$ ;  $\beta$  - қуйқа билан алоқадор насос деталларининг конструкцияси;  $\alpha$  - қуйқа оқим тезлигининг ёпишган бурчак тезлиги.

Юқорида (2) барча санаб ўтилган гидроабразив емирилишга таъсир этадиган омиллар насослардан фойдаланишда рационал режимни танлаш йўли билан емирилиш жараёнига энг аҳамиятли таъсир этадигани  $\rho$  - қуйиладиган қуйқаниннг зичлиги ( $кг/м^3$ ) ва  $v$  - қуйқаниннг оқими тезлиги ( $м/с$ ) бўлиб ҳисобланади.

Қуйқалар оқими зичлиги технологик жараёнларнинг талабларидан аниқланади ва  $\rho = 1400 кг/м^3$  ни ташкил этади. Қуйқа тортувчи насосларни ишлаш тажрибаси шуни кўрсатадики суриб олиннадиган қуйқа зичлигининг ўзгариши имкон борича қуйқа тортувчи тизимлардан амалиётда фойдаланилади. Натижада бу система ўтиш режимда ўзгарган параметрлар билан ишлашни бошлайди. 4-расмда келтирилган ҳисоблашлар шуни кўрсатадики, пульпа зичлигининг ошишида истеъмол қилинадиган қувват рухсат этилган нормагача ошиши мумкин, қуйқа зичлигининг камайишида эса узатувчи қувурларнинг тикилиб қолиш хавфи билан узатувчи қувурларда қуйқалар тезлиги пасайиши мумкин. Шунингдек, пульпа зичлигининг юқорилиги емирилиш юқорилиги билан кузатилади, лекин майдаланган рудаларни қазиб олинган улуши вақт функцияси бўйича кичик зичликдаги пульпа билан таққослаганда ошиши кузатилади.

Грунт насосларининг имкониятидаги иш режимларини иқтисодий оқлашини аниқлаймиз. Белгилаб қуйилганидек, насосларнинг емирилиши

насос ФИКнинг камайишига олиб келади, қуйқаларни тортиб олишдаги электр энергия сарфи ва истеъмол қилинадиган қуввати ошади. Бундан келиб чиқадики қачонки унинг ремонт учун харажатни ошиб кетиши насос қурилмасининг ишлашида электр энергиясини ортиқча сарфининг қийматига олиб келса, шунда, насосларнинг емирилган жиҳозларини алмаштириш зарур бўлади.



**4-расм. Насоснинг истеъмол қувватига пульпа зичлигининг таъсири.**  
 $N$  - насос агрегатининг истеъмол қуввати;  $Q$  - унумдорлик;  $\rho$  - қуйқаниннг зичлиги  $\text{т/м}^3$

Емирилган насосда электр энергия исрофини ўрнатиш орқали бу масалани ечиш мумкин:

$$\Delta W_{\text{п}} = \frac{\rho Q H}{102 \eta} t \left( \frac{\eta_{\text{н.о.м}}}{\eta_{\text{и.з.н}}} - 1 \right), \quad (3)$$

бу ерда  $\rho$  – қуйқаниннг зичлиги,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\eta_{\text{н.о.м}}$  - насоснинг номинал ФИК;  $\eta_{\text{и.з.н}}$  - емирилган насоснинг ФИК.

Ўтказилган регрессион таҳлили натижасида  $\nu$  – қуйқа оқими тезлиги функциясида  $E$  – насос агрегатининг емирилиши,  $\mu$  - қуйқа заррасининг қаттиқлиги,  $\rho$  - қуйқа зичлиги,  $\delta$  - мустаҳкамлиги ва  $\alpha$  - бурчак хужуми навбатдаги тенгламада олинди.

$$E = 0,89 + 0,0375\nu + 0,02\mu + 0,025\rho + 0,0175\delta + 0,0125\alpha. \quad (4)$$

Босимли узатувчи қувур ва насос характеристикаларини бирга кўриб чиқишда насос агрегатининг реал характеристикаларини олиш мумкин. Бу билан боғлиқ ҳолда бизда “асинхрон двигател – насос – босимли узатувчи қувур” функционалаштирилган тизимнинг математик модели ишлаб чиқилди.



Сарфли-босимли характеристика насоснинг асосий характеристикаси, яъни сарфидан босимга боғлиқлиги бўлиб ҳисобланади. Формулага мувофиқ насоснинг сарфини аниқлаймиз.

$$Q = \sqrt{\frac{H_0 \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 - H_{cm}}{A + R}}. \quad (5)$$

бунда  $A = (H_0 - H_n) / Q_n^2$ ,  $H$  – насоснинг тўла босими (м),  $Q$  – унумдорлик,  $H_0 - Q = 0$  ва  $\omega = \omega_n$  даги босими,  $\omega$  - ишчи ғилдиракнинг бурчакли айланиш тезлиги,  $H_n$ ,  $Q_n$ ,  $\omega_n$  – уларнинг номинал катталиги,  $H_{cm}$  – статик босим,  $R$  – узатувчи қувурнинг диаметридан узунлигигача, деворларининг ғадир-будурлиги ва маҳаллий қаршилик сони (тирсак, сурилма қопқоқ ва бошқа.) боғлиқ бўлган босимли узатувчи қувурнинг қаршилик коэффициенти.

Мотор валига илк истеъмол қилинадиган қувват ва электромагнитли қувват қуйидагича бўлади

$$P_1 = \left( \frac{\gamma}{F} \right)^2 \frac{m U_n^2}{D^2} \left\{ r_1 \left[ \left( \frac{r_2}{\beta} \right)^2 + x_r^2 + \frac{r_2'}{\beta} x_{\mu n}^2 F \right] \right\}, \quad (6)$$

$$P_3 = \left( \frac{\gamma}{F} \right)^2 \frac{m U_n^2 r_2' x_{\mu n}^2 F}{\beta D^2}, \quad (7)$$

$$P_2 = \left( \frac{\gamma}{F} \right)^2 \frac{m U_n^2 r_2' x_{\mu n}^2}{\beta D^2} (F - s), \quad (8)$$

бу ерда  $D = \sqrt{\left( \frac{r_1 r_2'}{F \beta} - x_s x_r \sigma \right)^2 + \left( \frac{r_2'}{\beta} x_s + \frac{r_1}{\beta} x_{\mu n} \right)^2}$ ,  $a = mp / 19,62 f_n \pi$ ,  $p$  ва  $m$  –

жуфт кутблар сони ва статорнинг фазалар сони,  $\gamma = U / U_n$  – киёсий кучланиш,  $F = f / f_n$  – киёсий частота,  $x_s = x_{1n} + x_{\mu n}$ ,  $x_r = x_{2n} + x_{\mu n}$ ,  $\sigma = 1 - x_{\mu n}^2 / x_s x_r$ ,  $r_1$  и  $x_1$  – статор чўлғамининг актив ва индуктив қаршилиги,  $r_2'$  и  $x_2'$  – ротор чўлғамининг келтирилган актив ва индуктив қаршилиги,  $\beta = Fs$  – абсолют сирпаниш параметри,  $s$  – двигател сирпаниши,  $x_{\mu n}$  – двигателни магнитланувчи занжирининг индуктив қаршилиги.

Моторнинг электромагнит моменти

$$M_3 = \frac{2M_{\text{эк}}(1 + q\beta_\kappa)}{\frac{\beta}{\beta_\kappa} + \frac{\beta_\kappa}{\beta} + 2q\beta_\kappa}, \quad (9)$$

бу ерда  $M_{\text{эк}} = \left( \frac{\gamma}{F} \right)^2 \frac{a U_n^2 x_{\mu n}^2 / 2}{x_r \sqrt{\left[ \left( \frac{r_1}{F} \right)^2 + x_s^2 \right] \left[ \left( \frac{r_1}{F} \right)^2 + (x_s \sigma)^2 \right] + \frac{r_1}{F} x_{\mu n}^2}}$ ,

$$q = \frac{r_1 x_{\mu}^2 / r_2' F}{\left(\frac{r_1}{F}\right)^2 + x_s^2}, \quad \beta_k = \frac{r_2'}{x_r} \sqrt{\frac{\left(\frac{r_1}{F}\right)^2 + x_s^2}{\left(\frac{r_1}{F}\right)^2 + x_s^2 \sigma^2}}.$$

Моторнинг юритмасининг сирпаниш функциясида насоснинг унумдорлиги

$$Q = Q_H \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_H} - H_{cm}}{H_0 - H_H + RQ_H^2}}, \quad (10)$$

бунда  $s_H$  – двигателнинг номинал сирпаниши.

Сирпаниш функциясида насоснинг фойдали қуввати қуйидагича

$$N = \frac{\rho H Q}{102} \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_H} - H_{cm}}{H_0 - H_H + RQ^2}}. \quad (11)$$

Сирпаниш функциясида насос агрегати валидаги қаршилик моменти вameханик қуввати бир хил бўлади

$$N_{\text{мех}} = N_0 \frac{1-3s}{1-3s_H} + BQ_H \frac{1-2s}{1-2s_H} \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_H} - H_{cm}}{H_0 - H_H + RQ^2}}, \quad (12)$$

$$M_c = M_0 \frac{1-2s}{1-2s_H} + (M_H - M_0) \frac{1-s}{1-s_H} Q_H \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_H} - H_{cm}}{H_0 - H_H + RQ^2}}. \quad (13)$$

Двигател юритмасининг сирпаниш функциясида (11) ни (12) га нисбати насоснинг ФИКни беради

$$\eta_N = \frac{\frac{\rho H Q}{102} \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_H} - H_{cm}}{H_0 - H_H + RQ^2}}}{N_0 \frac{1-3s}{1-3s_H} + (N_{\text{мех.н}} - N_0) \frac{1-2s}{1-2s_H} \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_H} - H_{cm}}{H_0 - H_H + RQ^2}}}. \quad (14)$$

$F=1$  да юритмали асинхрон двигателнинг қувват коэффиценти бу кўринишни олади

$$\cos \varphi = \frac{\frac{r_2'}{s} x_{\mu}^2 + r_1 \left( \frac{r_2'}{s} + x_r^2 \right)}{\sqrt{\left[ \left( \frac{r_1 r_2'}{s} - x_s x_r \sigma \right) + \left( \frac{r_2'}{s} x_s + r_1 x_r \right)^2 \right] \left( \frac{r_2'}{s^2} + x_r^2 \right)}}. \quad (15)$$

Шундай қилиб, валдаги юклама ва таъминланган тармоқ кучланишининг функциясида насос агрегатининг  $\cos \varphi$  ва ФИК аниқланди.

Диссертациянинг «Пульпа тортувчи насос қурилмасининг энерготежамкор ростланувчи электр юритмасини ишлаб чиқиш» деб номланган учинчи бобида насос қурилмаларининг иш режимлари тадқиқ қилинди, энерготежамкор режимда насос қурилмасининг ишлаш шартлари аниқланди, частотавий-ростланувчи асинхрон электр юритмали насоснинг математик ва иммитацион модели ишлаб чиқилди. 1-жадвалда асосий ўзаро муносабатлари, автоном ток инвертори (АТИ) ва автоном кучланиш инвертори (АКИ) дан таъминланган частотавий-ростланувчи қисқа туташтирилган асинхрон двигателининг ва бошқарилувчи параметрлар ва алмаштириш схемасидаги параметрлар функцияси - электр юритувчи куч, ҳаволи бўшлиқда магнитлар оқими, статор токи, ротор токи, магнитлаш токи ва электромагнит моменти келтирилган.

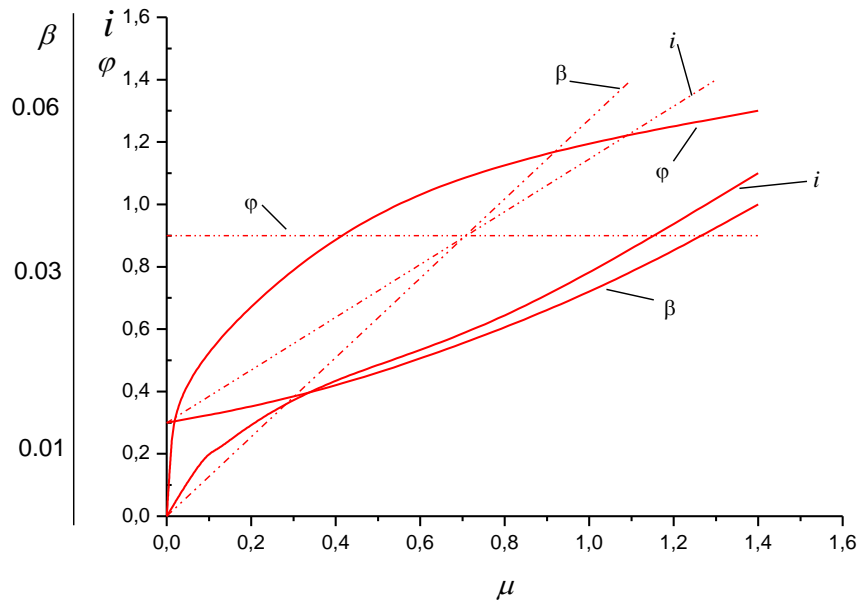
1 жадвал

АКИ ва АТИ дан таъминланган частотавий-ростланувчи қисқа туташтирилган асинхрон двигателининг асосий ўзаро муносабатлари

| Катта<br>ликла<br>р | АКИ дан   | АТИ дан   |
|---------------------|---|---|
| $E_1$               | $c_1 f_{1n} F \Psi$   | $FI_1 \cdot \left[ \left[ r_2'^2 + x_2'^2 \beta^2 \right] \cdot \frac{x_\mu^2}{r_2'^2 + \beta^2 \cdot x_\mu^2 + 2\beta^2 \cdot x_\mu' \cdot x_2' + x_2'^2 \cdot \beta^2} \right]^{\frac{1}{2}}$                           |
| $\Psi$              | $\frac{U_n \gamma}{c_1 f_{1n} F} \frac{x_\mu \sqrt{\left(\frac{r_2'}{\beta}\right)^2 + x_{rq}'^2}}{D}$  | $\frac{1}{c_1 f_{1n}} \cdot I_1 \cdot \left[ \left[ r_2'^2 + x_2'^2 \beta^2 \right] \cdot \frac{x_\mu^2}{r_2'^2 + \beta^2 \cdot x_\mu^2 + 2\beta^2 \cdot x_\mu' \cdot x_2' + x_2'^2 \cdot \beta^2} \right]^{\frac{1}{2}}$ |
| $I_1$               | $U_n \frac{\gamma}{F} \frac{\sqrt{\left(\frac{r_2'}{\beta}\right)^2 + x_2'^2}}{D}$                      | -   |
| $I_2'$              | $U_n \frac{\gamma}{F} \frac{x_\mu}{D}$  | $I_1 \frac{\beta}{\left[ \frac{1}{x_\mu^2} r_2'^2 + \beta^2 + \frac{2}{x_\mu} \beta^2 x_2' + \frac{1}{x_\mu^2} x_2'^2 \beta^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$   |
| $I_\mu$             | $U_n \frac{\gamma}{F} \frac{\sqrt{\left(\frac{r_2'}{\beta}\right)^2 + x_{rq}'^2}}{D}$                   | $I_1 F \left[ \frac{r_2'^2 + x_2'^2 \beta^2}{r_2'^2 + \beta^2 x_\mu^2 + 2\beta^2 x_\mu x_2' + x_2'^2 \beta^2} x_\mu^2 \right]^{\frac{1}{2}}$  |
| $M$                 | $M_{kf} \frac{2 \cdot (1 + \varepsilon)}{\frac{\beta_k}{\beta} + \frac{\beta}{\beta_k} + 2\varepsilon}$ | $\frac{K_1 x_s x_r \beta r_2' (1 - ) I_1^2 - K_1 x_s x_r \beta r_2' I_1^2 \sigma}{r_2'^2 + x_r^2 \beta^2}$  |

5-расмда частотавий ростланувчи двигателнинг характеристикаси келтирилган: - минимал ток режими; ----- оқимлар доимийлиги бўйича. Ток

камайишининг асосий сабабидан оқимларилашмаси (кучланиш) ошишига олиб келади.



**5 - расм. Частотавий ростланувчи двигателнинг характеристикаси:**  
 — - минимал ток режимда; ----- оқимлар доимийлиги.

Бу боғланишлар таҳлили шуни кўрсатадики, катта бўлмаган частоталарда токни минимум бўйича бошқариш мақсадга мувофиқдир. Юқори частоталарда, кучланишни ошишига ва реактив қувватни ошишига олиб келадиган токни минимум бўйича ростлаш мақсадга мувофиқдир эмасдир. Исрофни минимум режимда бошқариш қувват коэффициенти ошишига, истеъмол қилинадиган токнинг камайиши ҳисобига исрофнинг камайиши ( $i_1 = \min$  режим бўйича таққосланганда юқори бўлмаган токнинг ошиб кетиши билан фарқ қилади) кузатилади. Бу режимда тўлиқ қувват  $s$  ошади ва статордаги кучланиш ошиб кетади. Минимал сарф режимнинг асосий камчилиги бу режимни амалга оширишнинг мураккаблиги бўлиб ҳисобланади.

Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, куйқа тортувчи насос агрегатини рационал қонун асосида бошқариш, берилган катталиқда айланиш тезлиги ва двигателнинг моменти минимал қизишни таъминлайдиган ток статорининг минимуми бўйича бошқариш ҳисобланади. Шу билан бирга токни минимум бўйича бошқаришни амалга ошириш датчик қисмидагидек функционал қурилмада ҳам соддароқдир.

Частотавий ишга тушишдаги маълум кўринишдагидек юритманинг ҳаракат тенгламасини кўрамыз.

$$M = M_c + J\omega_{1n} \frac{dF}{dt} - J\omega_{1n} \frac{d\beta}{dt}, \quad (16)$$

Муҳокама учун қиёсий катталиқларни киритамиз

$$\nu = \omega / \omega_n = F - \beta, \quad \mu = M / M_n, \quad \tau = t / T_M, \quad \mu_c = M_c / M_n,$$

бунда  $M_n$  - номинал момент;  $\omega, \omega_n$  - одатдаги ва номинал айланиш тезлиги;  $T_M = J \omega_n s_n / M_n$  - электр юритма массасининг электромеханик вақт доимийлиги.

(16) тенгламани қиёсий катталиқлар кўринишига келтирамиз

$$\mu = \mu_c + \frac{d\nu}{d\tau}. \quad (17)$$

Турли қонунлар бўйича ишга туширишда бурчак тезлигининг ўзгартириш имконияти мавжуд ва кўпгина параметрларнинг (ток кучи, вақт, тезлик ва бошқалар) функцияси бўлиши мумкин.

$$\frac{d\nu}{d\tau} = f(t, \tau, \nu, \dots). \quad (18)$$

Қанчалик тезланиш зарбига унга боғлиқлик юзага келса, биз шундай тезланиш режимини амалга оширамиз, бизда турли тезланиш режимлари кўрилган. (18) тенгламадан  $\zeta$  тезланишни аниқлаймиз.

$$\zeta = \frac{\mu - \mu_c}{T_M (1 - \beta)}. \quad (19)$$

Шунингдек,  $\zeta_n$ , доимий ва  $\zeta_l$  чизикли ишга тушиш тезланишининг ўзгариш характерини таҳлил этамиз, яъни

$$\zeta_n = \frac{\mu_{кн} - \mu_c}{T_M (1 - s_{крн})}, \quad (20)$$

$$\zeta_l = \zeta_n F, \quad (21)$$

бунда  $\mu_{кн}$  – номинал қиёсий критик момент  $F=1$  да  $\mu_c$  га тенг,  $s_{крн}$  – номинал критик сирпаниш.

Олинган натижаларга асосан навбатдаги хулосага келиш мумкин: (19) ва (21) тенгламалар бўйича бошқариш энг яхши режимлар ҳисобланади. (21) тенгламада аниқланадиган ўтиш жараёнидаги вақтда ва минимал исрофда ишга туширишнинг интенсивлиги бир мунча рационал ишга тушириш бўлиб ҳисобланади.

(20) тенглама бўйича бошқарганда статорнинг номинал токини ва маъкул бўлган ростлаш вақтини таъминлайди, бироқ характеристикаларнинг кескинлигидан бошқариш диапазонининг бошланишида ва охирида тезлик, ток ва исрофни кескин ўзгариши вужудга келади.

Диссертациянинг «**Кон-металлургия саноатида солиштирма энергия сарфи кўрсаткичини ишлаб чиқиш ва ишлаб чиқаришнинг энергия самарадорлигини баҳолаш**» деб номланган тўртинчи бобида кон-металлургия саноатида электр энергия сарфи меъёрини ҳисоблаш методлари ва классификациялаш, электр энергия сарфи меъёрининг таҳлили келтирилган.

Истеъмол қилинадиган электр энергияси миқдорини ва унинг сарф меъёрини ҳисоблаш меъёр структурасига мувофиқ нормани ташкил этувчи элементларда алоҳида ҳолда олиб борилади.

6- расмда бойитиш жараёнининг умумлаштирилган технологик схемаси келтирилган.



6 -расм. Бойитиш жараёнининг технологик схемаси

6 расмда мос равишда ғалаёнли таъсирлашиш  $Q$  – бойитиш жараёнида руданинг сарфи,  $\Theta$  – бойитиш жараёнида сувнинг сарфи ва  $P$  – бойитиш жараёнида истеъмол қилинадиган қувват ҳисобланади. Бунда сув, рудани бойитишнинг технологик жараёнидаги ҳар бир циклга қанча руда тушишига боғлиқ ҳолда узатилади, бунда сувнинг сарфи – бошқарилаётган параметр бўлиб, руданинг сарфи – етакчи бўлиб ҳисобланади.

Ғалаёнли таъсир:  $C_{x1}$ - руданинг гранулометриқ таркиби ва  $\delta$  – руданинг физикавий механик хусусиятлари;  $\omega$  - намлик ва  $t_1$  - руданинг дастлабки ҳарорати.

Чиқувчи параметрлар:  $C_{x1}$ - майдаланган руданинг гранулометриқ таркиби;  $\rho$  - қуйқанинг зичлиги;  $q_T$  - тайёр синфлар бўйича унумдорлик цикли;  $\beta$  – концентратдан қимматбаҳо компонентларни ажратиб олиш.

Концентратнинг чиқиши дастлабки руда, яъни  $\frac{Q_k}{Q} < 1$  бўлганда  $Q_k$  концентрат бўйича унумдорлик муносабати орқали аниқланади.

Бериладиган мақсадли функция – булар,  $C_{x2}$ ,  $\rho$ ,  $q_T$ ,  $\beta$  функциялардаги  $P$ ,  $Q$ ,  $\Theta$  энергия ресурслар сарфини минималлаштириш ҳисобланади ва қуйидагича ёзилади

$$J(Q, P(n), \Theta) = \int_0^T \Phi[t, C_{x2}(t), \rho(t), q_T(t), \beta(t)] dt \rightarrow \min. \quad (22)$$

Бундаги  $J$  ўлчови ғалаёнли таъсир этишдан бошқарилувчи таъсир этишга оғишини ўз ичига олади, бунда бошқарилувчи ва ғалаёнланувчи таъсир этишнинг ўзгариш диапазони билвосита ҳисобга олиш орқали

таъминланади. Оптимал бошқарув вектор ҳолатининг дастлабки баҳосига боғлиқ ҳолда форма ночизикли бўлади.

(22) формуладан кўринадики,  $P$  – истеъмол қилинадиган қувват вектори шаклланган моделнинг асосий функцияси, яъни  $t$  – ишлаш вақтидаги  $W_{об}$  – бойитиш жараёнидаги электр энергия сарфи, шунингдек  $Q$  – дастлабки руда бўйича унумдорликни ташкил қилади. Маълумотлар кўрсаткичи дастлабки руда бўйича бойитиш жараёнининг унумдорлигида электр энергияси солиштирма сарфини характерлайди. Бунга мос равишда, дастлабки руда бўйича бойитиш жараёнининг унумдорлигида электр энергиясининг солиштирма сарфи оптимал бошқарувли критерийдан олинади.

Бойитиш жараёни электр энергиясининг солиштирма сарфини қуйидаги кўринишда тақдим этиш мумкин.

$$N_{об} = \frac{1}{1000} \frac{1}{kD_n^2 rn Q \eta \eta_{неп} \eta_n} \left( \begin{array}{l} 1000 t_{m2} KV \xi \sqrt{D} P_0 \psi k D_n^2 rn \eta \eta_n + \\ + 1000 k_{io} k_z P_y t_{ec} k D_n^2 rn \eta \eta_{неп} \eta_n + \\ + \rho g Q_n H_n t_n k D_n^2 rn \eta \eta_{неп} + \\ + 1000 t_{m1} C m \sqrt{D} k D_n^2 rn \eta \eta_{неп} \eta_n + \\ + 1000 n^2 N_{\kappa-1} Q_{\kappa} k D_n^2 r \eta_{неп} \eta_n + \\ + 60000 t_{\delta} Q^2 \eta \eta_{неп} \eta_n \end{array} \right) \quad (23)$$

бунда  $k$  – майдаланадиган материал мустаҳкамлигини ҳисобга оллучи коэффициент (мустаҳкам материаллар учун  $k=24$ );  $D_n$  – конуснинг асосининг диаметри, м;  $r$  – пастки асос текислигида конус тебранишининг узунлиги, м;  $n$  – конуснинг чиниқтириш частотаси, 1/с;  $t_{\delta}$  – майдалагичнинг иш вақти, соат;  $Q$  – дастлабки рудани бойитиш жараёнидаги унумдорлик, тонна,  $Q_{i,k}$  -  $i$ -нчи конвейерга (таъминлагичга) тушувчи рудалар миқдори, тн.;  $n$  - конвейерлар (таъминлагичлар) сони,  $K$  – қуйқанинг ўзгарувчанлик коэффициенти,  $K=1,05$ ;  $V$  - тегирмоннинг фойдали ҳажми;  $\xi$  – уюмланган руданинг массаси;  $\xi = 2,2 \text{ м}^3$ ;  $P_0$  - тўлдириш даражаси бўйича солиштирма қувват;  $\psi$  - айланишнинг қиёсий частотаси;  $\eta_{неп}$  - узатгичнинг ФИК;  $t_{m1}$  - тегирмоннинг 1-чи босқичидаги иш вақти, соат,  $m_3$  – тегирмон барабанига юкланган умумий масса: майдалувчи метал жисмлар учун  $m_3 = 1,1 m_T$ ;  $m_T$  - майдалувчи жисмларнинг массаси;  $C$  – тегирмон барабанининг тўлдириш даражасига боғлиқ ҳолда аниқланадиган коэффициент, яъни  $C = (8,8 \cdot 10^{-3} \div 5,2 \cdot 10^{-3})$ ;  $\eta$  - электр юритманинг ФИК;  $t_{m2}$  – тегирмоннинг 2-нчи босқичидаги иш вақти, соат, бу ерда  $\rho$  – қуйқанинг зичлиги,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $Q_n$  - насосни узатиши,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $g$  – эркин тушиш тезланиши,

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;  $H$  - насоснинг босими, м;  $\eta_n$  - насоснинг ФИК;  $t_n$  – насосларнинг ишлаш вақтлари, соат,  $k_{io}$  – қурилмадан вақт бўйича фойдаланиш,  $P_y$  - истеъмолчилар гуруҳининг ўрнатилган қувват йиғиндиси;  $k_z$  – қурилманинг қувват бўйича юкланганлиги, кВт;  $t_{oc}$  - қурилмаларнинг иш соатлари сони, соат.

Олинган модел бойитиш жараёнларида электр энергиясининг солиштирма сарфини амаллар бўйича энергетик харажатларни тадқиқ қилишга имкон беради ва электр энергияси солиштирма сарфларини оптималлаштириш учун мақсадли функцияни ифодалайди.

Рудаларни бойитиш технологик жараёнларида бошқарув стратегиясини ҳисобга олган ҳолда электр энергияси солиштирма сарфининг камайишига йўналтирилган, электр энергияси истеъмолининг камайишида рудаларни қайта ишлаш ошади, баъзан эса бойитиш жараёнларидаги иш режимларининг аниқланадиган сифатли характеристикаларига, параметрларни ҳисобга олган ҳолда электр энергиясининг солиштирма сарфини аниқлаш йўлига янада юқори талабларни кўрсатади.

Бойитиш жараёнида электр энергияси солиштирма сарфини оптималлаштириш бир неча мезонларни оптималлаштиришга асосланган, хусусан минимизациялаштириш мезони бўйича, унинг унумдорлиги ва технологик циклдаги ҳар бир қурилманинг электр энергия истеъмоли ҳисобга олинади.

$$N_{ob}(\bar{x}) \Rightarrow \min, W_{ob}(\bar{x}) \Rightarrow \min, Q(\bar{x}) \Rightarrow \max,$$

$$D = \left\{ \begin{array}{l} x \in W_{ob} : Q; \\ x_j^- \leq x_j \leq x_j^+, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{array} \right\} \quad (24)$$

бунда  $W_{ob}$  - бойитиш жараёнидаги электр энергияси сарфи;  $x_j^-$ ,  $x_j^+$  - j-нчи бошқариладиган параметрлар учун юқори ва пастки чегараланган катталиги.

Олинган модел бойитиш жараёнида электр энергияси солиштирма сарфини операциялар бўйича энергетик сарфларни харажатларни тадқиқ қилишга ёрдам беради ва электр энергияси солиштирма солиштирма сарфларини оптималлаштириш учун мақсадли функцияни ифодалайди.

Диссертациянинг «**Кон-металлургия корхоналарининг бойитиш жараёнларининг электр энергия истеъмолини башорат қилиш моделини ишлаб чиқиш**» деб номланган бешинчи бобда бойитиш жараёнларида электр энергияси истеъмолини математик модели асосида истеъмол қилинадиган электр энергиянинг башорат моделини яратиш масалалари қаралади.

Технологик жараёнларнинг математик моделини куриш қўйилган вазифага боғлиқ ҳолда қуйидаги мақсадларни амалга оширади: энергия ресурслари истеъмолини минималлаштириш, ишончлилик кўрсаткичларини яхшилаш ва бошқалар; ишончлиликни ошириш ва тез харакатли бошқарув,



сифат назоратининг самарадорлигини ошириш, бошқариш жараёнларини автоматлаштириш учун шароит яратиш ва бошқ., электр энергияси сарфи меъёрини таҳлил қилиш, кон-металлургия корхоналарида электр энергияси сарфи меъёрини ҳисоблаш усуллари ва таснифи.

Ўтказилган регрессион таҳлилнинг натижаларига кўра асосий параметрлар функциясида бойитиш жараёнларида электр энергия истеъмолининг математик модели олинган ва бу моделнинг коэффициентлари аҳамиятга эга ва ишончли.

$$W = 0,14 - 0,35 \cdot p + 0,56 \cdot m + 0,21 \cdot k_{io} + 0,15 \cdot E + 0,05 \cdot v + 0,03 \cdot A - 0,06 \cdot k_z, \quad (25)$$

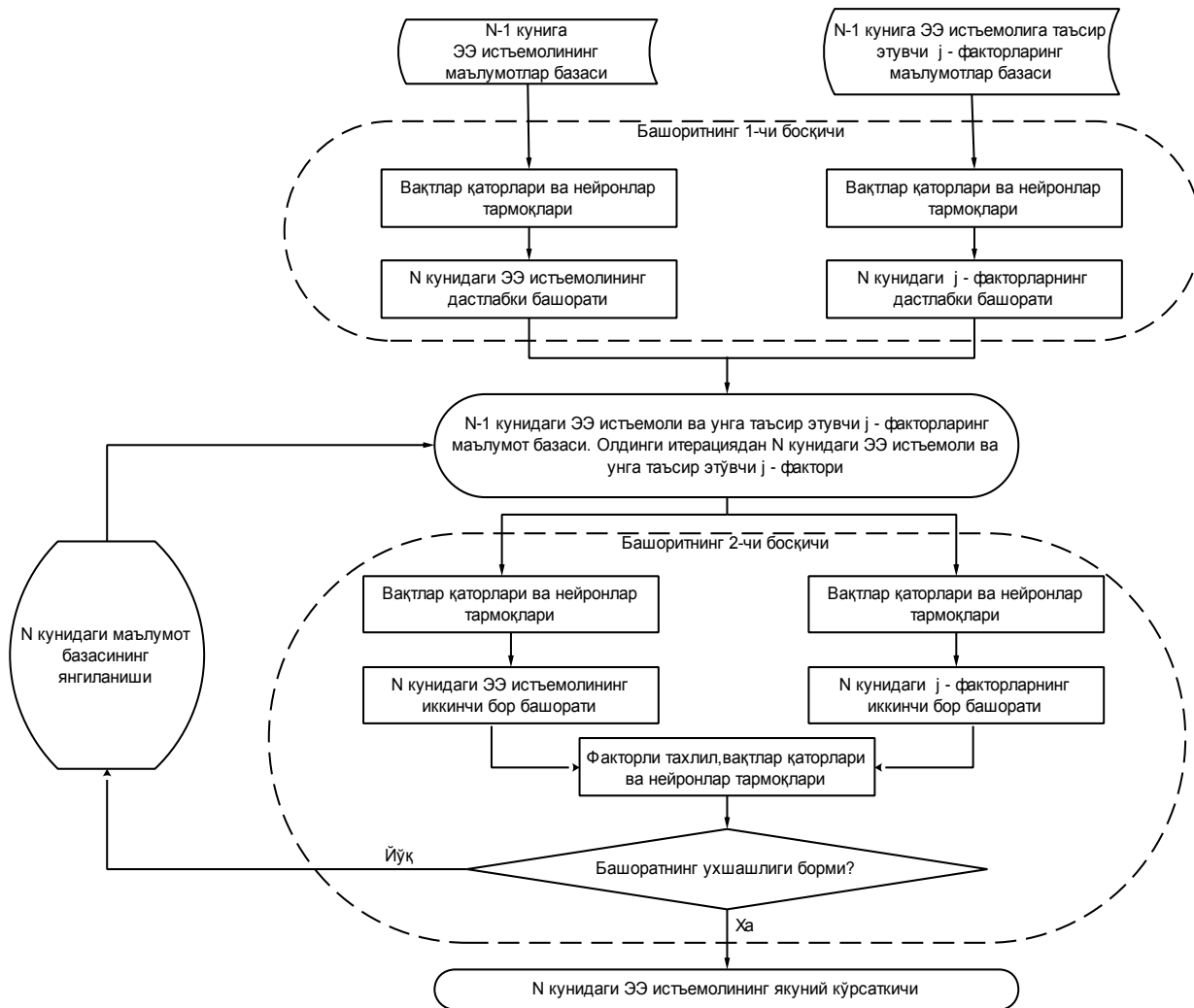
бундаги факторлар:  $k_{io}$  – қурилмадан фойдаланиш вақти;  $k_z$  – қувват бўйича қурилманинг юкланганлиги;  $\lambda$  – қайта ишланадиган рудалар миқдори, т;  $E$  – электр тармоқлар параметрлари;  $V$  – қуйқа оқимининг тезлиги  $м/с$ ;  $\rho$  – қуйқанинг зичлиги,  $кг/м^3$ ;  $\mu$  – руданинг қаттиқлиги  $Па$ .

Электр юкламаларини башоратлаш ишлаб чиқариш корхоналарини электр энергияси билан бошқаруви муҳим ўрин эгаллаб, ишлаб чиқарувчи учун зарур ҳисобланганидек, электр энергия истеъмоличисига ҳам зарурдир.

Электр энергия истеъмолини башоратлаш етарлича мураккаб масала бўлиб, бу қатор электр юкламаларида ҳам мураккабдир ва бир неча даражадаги мавсумлик, шунингдек, бир қанча муҳим экзоген ўзгаришлар мавжуд.

7-расмда Data Mining технологияси бўйича башоратлаш инициализация интеграллашган модели кўрсатилган. Мазкур икки босқичли башоратлаш тизими электр энергия истеъмоли ва омиллари орасидаги ўзаро таъсирнинг чуқурлаштирилган таҳлилинини таъминлайди, башоратлашнинг аниқроқ натижасини чиқаришга ёрдам берадиган электр энергия истеъмолига таъсир кўрсатади.

Биринчи босқичдаги дастлабки маълумотлар (электр энергия истеъмолига таъсир этадиган электр энергияси истеъмоли ва омиллари) алоҳида киритилади ва қайта ишланади,  $N-1$  кун бўйича маълумотлар юкланади. Иккинчи босқич, биринчи босқичда ҳисобланган  $N$  – кун бошланғич натижаларини ҳисобга олиш йўли билан электр энергия истеъмолига таъсир этадиган омиллар ва электр энергияси ўзаро боғлиқлигини ҳисобга олиб, яқинлашиш жараёнини ўзида намоён этади. Яъни, электр энергияси истеъмолида башоратлаштириш иккинчи босқичининг кириш модули  $N-1$ дан бошлаб маълумотлар базасини ва  $N$ -куннинг бошланғич башоратларини ўз ичига олади. Шундай қилиб,  $N$ -й кунга электр энергия истеъмоли яқинлашиш жараёни билан таъминланади ва токи икки давомий прогнозларда жиддий фарқ кузатилмагунча давом этади.



**7-расм. Data Mining технологияси бўйича башоратлашнинг интеграллашган моделини қуриш алгоритми**

Шундай қилиб, сонли тажрибалар шуни кўрсатдики, Data Mining технологияси асосида синтез йўли билан олинган башоратлаш модели бир сутка олдинги бир кадамли режимда етарлича аниқ башоратни таъминлабгина қолмай, балки шу билан бирга 20-30 кун оралиғидаги тезкор башоратлаш учун ҳам мувафақиятли қўлланилади. Бунинг учун олинган электр истеъмоли башорати башоратлашнинг навбатдаги қадамида моделнинг сифатли кириш параметридан фойдаланилади.

## ХУЛОСА

«Минерал хомашё ресурсларини қайта ишлашда энергия тежамкор технологияларни ишлаб чиқиш (кон-металлургия саноати мисолида)» мавзусидаги докторлик диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари қуйидагилардан иборат:

1. Кон-металлургия саноатида электромеханик тизимлари ва ускуналарининг иш режимларини рационал бошқариш асосида рудани бойитиш технологик жараёнининг энергетик самарадорлигини ошириш имконини беради.

2. Рудани бойитиш технологик жараёнининг характеристикаси бошқарув объекти сифатида белгиланаганлиги унинг механизмлари электр юритмаларига нисбатан асосий талабларни аниқлаш имконини беради.

3. Насос агрегати деталларининг емирилиши пульпа оқимининг тезлиги, пульпанинг зичлиги, қаттиқлиги, мустаҳкамлиги ва зарбалар бурчаги функцияси бўйича емирилишнинг модели ишлаб чиқилади.

4. Частотавий ростланувчи асинхрон моторли пульпани тортувчи насос ускунасининг қурилмасининг турли частота бошқаруви қонунлари асосида аниқланадиган энергетик ва динамик характеристикалари таҳлил этилади. Асинхрон моторларнинг рационал частота бошқарув қонуни сифатида статор тоқининг минимум эканлигини кўрсатилади, бунда берилган айланиш тезлиги ва моторнинг моменти учун минимал қизиш қийматлари таъминланади.

5. «Асинхрон мотор – пульпани тортувчи насос» тизимининг насос агрегатининг емирилишини ҳисобга олган ҳолда математик модели, қурилманинг энергетик параметрларини частотавий бошқаришда ва усқунанинг самарадорлигини аниқлашга имкон беради.

6. Майдалаш жараёнининг 2-босқичидаги тегирмонни шарлар билан тўлдириш даражасининг аналитик ифодаси тегирмон қурилмасининг электр энергия истеъмолини аниқлаш имконини беради.

7. Рудани бойитиш технологик жараёнининг тегирмон барабанини шарлар билан тўлдирилганлик даражаси, усқуналарнинг юкланганлиги, руда бўйича унумдорлиги, электр тармоқнинг қуввати, шунингдек руданинг қаттиқлигини инобатга олган ҳолда истеъмол қилинаётган электр энергия миқдорини баҳолашга имкон берадиган математик ифода олинади.

8. Бошқарувли, ғалаёнли ва чиқиш технологик параметрларни ҳисобга олган ҳолда рудани бойитиш жараёнининг структураси тузилади. Рудани бойитиш жараёнида асосий бошқарув функцияси сифатида энергетик ресурслар сарфларини минималлаштириш эканлиги аниқланади.

9. Рудани бойитиш жараёнида энергия истеъмолининг умумлашган кўп факторли модели яратилади ва руданинг қаттиқлиги ва усқуналарнинг юкланганлигига боғлиқ бўлган электр энергия сарфини баҳолашга имкон беради.

10. Рудани бойитиш технологик жараёнининг ҳар бир цикли учун энергетик моделлари ва унинг оптимал бошқариш мезони аниқланади ҳамда

солиштирма сарфини оптимал даражасидаги шартни таъминлаш имконини беради.

11. Рудани бойитиш жараёнида электр энергия сарфининг тузилиш структураси аниқланади. Кон-металлургия саноатида энергетик тежамкорлик хажмларини баҳолаш учун оксидланган рудани қайта ишлаш технологик жараённинг электр истеъмолини меъёрлаш ва башорат қилиш усули яратилади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА НАУК 14.07.2016.Т.02.01 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ и  
ОБЩЕСТВЕ С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»**

---

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»**

**ИШНАЗАРОВ ОЙБЕК ХАЙРИЛАЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ  
(НА ПРИМЕРЕ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ)**

**05.05.01 – Энергетические системы и комплексы  
(технические науки)**

**АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

**Ташкент – 2016**

**Тема докторской диссертации зарегистрирована за №28.04.2016/В2016.2.Т675 в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан.**

Докторская диссертация выполнена в Обществе с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр».

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский) размещен на веб-странице по адресу [www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz) и Информационно-образовательном портале «ZIYONET».

**Научный консультант:** **Камалов Толяган Сиражиддинович**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Арипов Назиржон Мукарамович**  
доктор технических наук

**Tetyana Mogozyuk (Германия)**  
доктор наук, профессор

**Алимходжаев Камолиддин Тиллаходжаевич**  
доктор технических наук

**Ведущая организация:** **АО «Алмалыкский ГМК»**

Защита диссертации состоится «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г. в \_\_\_ часов на заседании научного совета 14.07.2016.Т.02.01 при Ташкентском государственном техническом университете и Общества с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр»: 100125, г.Ташкент, ул. Дурмон йули, 29. Тел: (99871) 262-05-22; факс: (99871) 262-09-19; e-mail: [info@energetika.uz](mailto:info@energetika.uz).

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Общества с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр» (регистрационный номер \_\_\_\_\_). Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 29. Тел.: 262-05-22.

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 года.  
(протокол рассылки № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.)

**Х.М. Муратов**

Председатель научного совета по присуждению  
ученой степени доктора наук, д.т.н., профессор

**О. О. Зарипов**

Ученый секретарь научного совета по присуждению  
ученой степени доктора наук,  
д.т.н., доцент

**Р.А. Захидов**

Председатель научного семинара при  
научном совете по присуждению  
учёной степени доктора наук, д.т.н., профессор, академик АН РУз

## **ВВЕДЕНИЕ (Аннотация докторской диссертации)**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** На сегодняшний день в странах мира с различными уровнем обеспеченности электрической энергией, в среднем, энергопотребление в промышленности составляет 37%, в том числе на горно-металлургическую промышленность приходится 12%. В связи с истощением легко извлекаемых запасов минерального сырья и вовлечением в эксплуатацию запасов, локализованных в более сложных горно-геологических условиях, потребление электроэнергии горно-металлургическими производствами постоянно растёт. Согласно статистическим данным, годовое потребление электрической энергии в горно-металлургической отрасли в мире составляет 913,2 ТВт·ч. По результатам исследований к 2030 году рост потребления электрической энергией составит в среднем 1,8% в год. Особое внимание уделяется внедрению мероприятий по обеспечению потребностей и требований промышленных предприятий, энергосбережению и повышению эффективности технологического процесса, оптимизации потребления электрической энергии.

В Республике Узбекистан горно-металлургическая промышленность является одним из крупных потребителей энергоресурсов, в которой особое внимание направлено на организацию эффективных мероприятий по внедрению высокоэффективных технологий. В этом отношении заметные результаты достигнуты при создании высокоэффективных систем управления технологическим процессом, нормировании потребления электрической энергии, усовершенствовании систем управления технологическим процессом на основе интеллектуальных систем.

Особое значение приобретают вопросы снижения энергоёмкости технологического процесса обогащения руды и повышения энергетической эффективности технологии переработки минерально-сырьевых ресурсов с учетом свойственной ей особенности. В этой области осуществление целенаправленных научных исследований является приоритетной проблемой, при этом весьма актуальны исследования в следующих направлениях: разработка рационального закона частотно-регулируемого электропривода, выявление энергосберегающих режимов работы асинхронного двигателя при статических и динамических процессах и создание его математической модели, разработка модели износа насосного агрегата, разработка математической модели электропотребления технологического процесса и нормирования расхода электрической энергии с учетом определения значимых факторов, влияющих на технологический процесс, разработка алгоритма прогнозирования потребления электрической энергии. Выполняемые научные изыскания по приведенным выше научно-исследовательским направлениям указывают на актуальность этой диссертационной темы.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Законе Республики Узбекистан

«О рациональном использовании энергии» (1997), Постановлении Президента Республики Узбекистан №ПП-2343 от 5 мая 2015 года «О программе мер по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015-2019 годы» и Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан №333 от 28 ноября 2012 года «О дополнительных мерах по сокращению производственных затрат и снижению себестоимости продукции в промышленности», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

**Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики П. «Энергетика, энерго- ресурсосбережение».

#### **Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации<sup>1</sup>.**

Научные исследования, направленные на повышение энергетической эффективности технологий производственных процессов на основе частотно-регулируемого электропривода, созданию и внедрению энерго- и ресурсосберегающих технологий, а также на разработку оптимальных систем управления технологическими процессами, осуществляются в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе, в University of Cambridge (Англия), University of Tennessee, Columbia University, Rockwell Automation, Data Flow Systems, Inc (США), TU Dortmund University (Германия), Национальный исследовательский университет "МЭИ", Корпорация Триол (Россия), AGH University of Science and Technology (Польша), Schneider Electric, ALSTOM (Франция), ABB Group (Швейцария), Siemens AG (Германия), Hyundai Heavy Industries Co (Корея), Toshiba (Япония).

В результате мировых исследований по совершенствованию и внедрению энергосберегающих технологий, методов управления оборудованием в горно-металлургической промышленности получен ряд научных результатов, в том числе, разработаны: частотно-регулируемые электроприводы насосных установок на основе совершенствования алгоритмов управления (University of Cambridge, Англия); автоматизированные системы управления сложными технологическими процессами на основе интеллектуальных технологий (Data Flow Systems, Inc., США); интегрированная информационная система энерго-технологического менеджмента (Schneider Electric, Франция).

В мире по разработке энергосберегающих технологий и повышению энергетической эффективности технологического процесса горно-металлургического производства по ряду приоритетных направлений

---

<sup>1</sup> Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации осуществлялся на основе: <http://search.ebscohost.com/>, <http://www.cyberleninka.ru>, <http://www.works.doklad.ru>, <http://elibrary.ru/>, Kazakov B., Shalimov A., Kiryakov A. Energy-saving mine ventilation / Journal of Mining Science. May 2013, Vol. 49 Issue 3, p 475-481 и других источниках.



проводятся исследования, в том числе: разработка частотно-регулируемых электроприводов; определение факторов, влияющих на качественные показатели руды технологического процесса обогащения руды; разработка оптимальной структуры управления частотно-регулируемым электроприводом; усовершенствование законов частотного управления при скалярном и векторном управлении асинхронным двигателем; создание оптимальных систем управления на основе генетических алгоритмов; разработка методов бездатчикового векторного управления скоростью асинхронных двигателей.

**Степень изученности проблемы.** Вопросам разработки энергосберегающих технологий, повышения эффективности использования энергетических ресурсов и энергосбережения промышленных предприятий, оптимизации потребления электрической энергии, регулирования скорости вращения асинхронных двигателей на основе частотного регулирования, автоматизированного управления технологическими процессами посвящены работы ряда ученых: Mark Cannon (University of Oxford), Marc Bodson (University of Utah), Geraint Jewell (University of Sheffield), Tetyana Morozyuk (Technical University of Berlin), Juha Pyrhönen (Lappeenranta University of Technology), Hans-Georg Herzog (Technische Universität München), Volker Staudt (Ruhr-Universität Bochum), K.T. Chau (University of Hong Kong) и др.

Научно-исследовательские работы, связанные с разработкой и внедрением энергосберегающих технологий на базе частотно-регулируемых электроприводов, проводились следующими учеными: Siemon G.R., Ferreira F.J., Jahns T.M., Hanitsch R., Walters D.G., Шрейнер Р.Т., Браславский И.Я., Ключев В.И., Козярук А.Е., Фигаро Б.И., Камалов Т.С., Хошимов О.О и др., результаты этих исследований дают основания полагать, что в настоящее время в условиях производственного процесса внедрение частотно-регулируемого электропривода для механизмов с продолжительной нагрузкой позволяет сэкономить электрическую энергию в пределах 30%. Кроме того, исследованиями по оптимизации режимов потребления электрической энергии, нормированию потребления электрической энергии и повышению энергетической эффективности электрических двигателей выполнялись Мельниковым М.А., Насыровым Т.Х., Аллаевым К.Р., Кудриным Б.И., Хошимовым Ф.А., Ариповым Н.М., Алимходжаевым К.Т., Бобожановым М.К., Bose S.K., Hussein T. Mouftah и другими учеными также были получены положительные результаты.

Вопросы разработки энергосберегающих технологий, потребления электрической энергии и повышения энергоэффективности производства в горно-металлургической и металлургической промышленности в работах ученых Ляхомского А.В., Олейникова В.К., Никифорова Г.В., Осипова А.В., Зюбровского Л.Г., Васильева И.Е. и других показывают, что постоянное увеличение объемов производства при снижении содержания ценных компонентов в руде требует разработки новых энерго-и ресурсосберегающих способов и технологий. Общеизвестны успехи, достигнутые учеными в области изучения частотно-регулируемых электроприводов, потребления

электрической энергии и воздействия факторов, влияющих на её потребление, но инженерное обеспечение этих условий находится все ещё на недостаточном уровне. Вместе с тем, несмотря на достаточно большое количество исследований по данному вопросу, задача энергосбережения технологии регулирования и управления системой обогатительных процессов разработана недостаточно. Это объясняется, прежде всего, разнообразностью, часто противоречивостью требований, предъявляемых к обогатительному процессу. Вместе с тем, обогатительный процесс представляет собой сложную динамическую систему с присущими ей свойствами. Более того, в научных публикациях в недостаточной мере рассмотрены исследования по повышению энерго-эффективности на базе частотно-регулируемых электроприводов горно-металлургической промышленности, а также нормированию и прогнозированию потребления электрической энергии с учетом определения факторов, влияющих на его потребление.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами научно-исследовательского учреждения.** Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских работ прикладных и фундаментальных проектов Общества с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр» по теме А-12-057 «Разработка высокоэффективных технологий и технических средств энерго- и ресурсосбережения электромеханических систем горно-рудной промышленности» (2006-2008), ЁАЗ-ФК-074326 «Разработка энергосберегающих систем регулируемого электропривода для обогатительных механизмов, математическое моделирование и оптимизация режимов их работы» (2014-2015), Ф2-ФА-0-12660 «Развитие теории рационального управления взаимосвязанными электрогидромеханическими процессами и режимами энерго-и ресурсосбережения в турбомеханизмах горнорудной промышленности и систем оросительных насосных станций машинных каналов с частотно-управляемыми электроприводами» (2012-2016).

**Целью исследования** является разработка технических решений, обеспечивающих повышение энергетической эффективности обогатительных процессов на основе регулируемого электропривода и нормирования параметров электропотребления.

**Задачи исследования:**

анализ возможностей повышения эффективности использования энергетического оборудования технологического процесса обогащения руды;  
выявление требований технологического процесса обогащения руды к электроприводу механизмов;

изучение системы «электрический двигатель – рабочий механизм» как объекта управления и определение рациональной структурной системы автоматического управления, обеспечивающей энерго- и ресурсосбережение технологического процесса при заданных требованиях;

разработка математических моделей системы «асинхронный двигатель-насос», выбор структуры системы и законов частотного управления, направленных на энерго- и ресурсосбережение откачки пульпы.

изучение состава параметров электропотребления объектов горно-металлургической промышленности, формирование базы исследуемых данных для статистической обработки;

определение структуры электропотребления объектов горно-металлургической промышленности, состоящей из отдельных элементов, формирующих электрический баланс;

разработка методики нормирования расхода электрической энергии на тонну перерабатываемой руды и прогнозирования потребления электрической энергии;

практическое применение математической модели частотно-регулируемого электропривода насосной установки, энергосберегающего режима работы насосных установок на конкретных предприятиях.

**Объектом исследования** является технологический процесс обогащения руды горно-металлургической промышленности.

**Предмет исследования** - регулируемый электропривод и удельные показатели электропотребления технологических оборудований обогатительных процессов.

**Методы исследований.** Теоретические исследования выполнены с привлечением современных методов теории электропривода и теории автоматического управления. Экспериментальные исследования проведены методами математического моделирования, планирования экспериментов, создания имитационных моделей реального объекта, а также инструментальных замеров непосредственно на объекте исследования.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

определены наиболее существенные факторы, влияющие на износ деталей насоса, разработана математическая модель изнашивания в функции основных факторов, влияющих на нее в процессе эксплуатации;

разработан энерго- и ресурсосберегающий режим работы частотно-регулируемого электропривода системы «асинхронный двигатель – насос откачки пульпы»;

установлены зависимости эффективности потребления электрической энергии от степени загрузки шарами мельницы второй стадии измельчения руды;

разработана комплексная методика нормирования и моделирования параметров электропотребления для оценок эффективности энергосбережения;

разработана модель прогнозирования потребления электрической энергии в функции основных технологических параметров.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

выявлены возможности повышения эффективности использования энергетического оборудования и требования технологического процесса обогащения руды к электроприводу механизмов;

изучена система "электрический двигатель – рабочий механизм" как объект управления и определена рациональная структурная система автоматического управления, обеспечивающая энерго- и ресурсосбережение технологического процесса при заданных требованиях;

определена структура электропотребления объектов горно-металлургической промышленности, состоящая из отдельных элементов, формирующих электрический баланс;

разработана методика нормирования расхода электрической энергии на тонну перерабатываемой руды и алгоритм прогнозирования потребления электрической энергии на основе технологии Data Mining.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обоснована применением современных методов исследований, основанных на адекватных математических моделях с привлечением соответствующих разделов теории электрического привода и математической физики, апробированных методов обработки экспериментальных данных. Достоверность результатов подтверждена на основе сравнительного анализа расчетных и экспериментальных данных, полученных на гидрометаллургических заводах.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость полученных результатов исследований характеризуется научной сущностью результатов исследований по развитию теории моделирования системы «асинхронный двигатель – насос» с учетом изнашивания насосного агрегата при частотном регулировании; с определением показателей динамических процессов, с учетом воздействия законов частотного управления; с разработкой алгоритмов управления технологическим процессом, обеспечивающих снижение энергозатрат, планированием вычислительных экспериментов и созданием условий практического применения.

Практическая значимость полученных результатов работы заключается в разработке частотно-регулируемого электропривода, интенсивности ускорения динамических процессов двигателя, рационального закона управления, методики расчета удельных норм расхода электрической энергии и прогнозирования потребления электрической энергии на горно-металлургические производства, а также в обеспечении повышения эффективности технологий при переработке минерально-сырьевых ресурсов.

**Внедрение результатов исследования.** На основе технических решений на базе регулируемого электропривода и нормирования параметров электропотребления, обеспечивающих повышение энергетической эффективности обогатительных процессов разработаны:

математическая модель частотно-регулируемого электропривода насосной установки, энергосберегающие режимы работы насосных установок, структурные схемы и алгоритм управления насосной установкой внедренные на предприятиях Навоийского горно-металлургического комбината, в том числе на Гидрометаллургических заводах №2, №3, использованы для управления и мониторинга насосных установок

технологического процесса обогащения руды (Справка Навоийского горно-металлургического комбината о внедрении за №02-07-07/5028 от 04.05.2016 г.). Использование научных результатов позволило снизить расход электрической энергии на насосные установки на 5%;

частотно-регулируемая система «асинхронный двигатель – насос» и решение задачи прогнозирования потребления электрической энергии использовались для определения энергетических параметров при частотном регулировании турбомеханизмов, структуры потребления электрической энергии, комбинированного управления асинхронным двигателем в проекте ФА-Ф5-Ф050 «Исследование и моделирование взаимосвязанных электрических, гидравлических и механических процессов, протекающих в турбомеханизмах и разработка систем рационального управления электроприводами» (2007-2011) (Справка Комитета по координации развития науки и технологий №ФТК-03-13/596 от 20 сентября 2016 года). Использование результатов научного исследования позволило повысить срок эксплуатации насосных установок, снизить потребление электрической энергии технологическим процессом и обеспечить ресурсосберегающий режим эксплуатации, а также оценить энергосберегающий режим работы технологического процесса.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования доложены на 29 научно-технических конференциях, в том числе 13 международных: на Международной научно - технической конференции «Современные техника и технологии горно – металлургической отрасли и пути их развития» (Навоий, 2010, 2012, 2015); на Всероссийской Научно-технической конференции «Энергетика: эффективность, надёжность, безопасность» (Томск, 2013); VIII International scientific - technical conference «Machine drivers on transportation» (Ustron, 2011), Interregional Engineering Conference in Technology and Education - Global Benchmarking and Monitoring (Krakow, 2011); на Международной молодёжной конференции (Томск, 2012); на XV Международной научно-технической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии» (Воронеж, 2015); на Международной научно-практической конференции «Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в отраслях агропромышленного комплекса» (Ташкент, 2015) и на 15 республиканских конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано всего 50 научных работ. Из них 17 научных статей, в том числе 14 - в республиканских, 3 - в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, приложений. Объем диссертации составляет 197 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обосновываются актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Современное состояние и перспективы развития энергоэффективности технологического процесса обогащения руды горно-металлургических предприятий»** проведен анализ современного состояния технологического процесса обогащения руды, приведен обзор исследований по повышению энергоэффективности оборудования обогатительных процессов, сопоставлены энергетические и технико-экономические показатели технологического процесса обогащения руды. Дан обзор характеристикам оборудования технологического процесса обогащения руды. Проведены анализ и обзор исследований по повышению эффективности транспортировки пульпы, обосновывается необходимость управления режимом работы насосных установок откачки пульпы по уровню пульпы в зумпфе, непрерывно определяемому непосредственно в ходе технологического процесса.

Проведены инструментальные обследования потребления электрической энергии, которые показали, что на стадию измельчения приходится наибольшая доля энергозатрат в общей себестоимости переработки руды.

Представлена классификация методов обогащения руды, проанализирован механический метод обогащения руды как самый энергоемкий и трудоемкий обогатительный процесс. Механические методы обогащения, состоящие из мельничных блоков, представляют собой двух стадийные рудо размалывающие установки с промежуточным выделением небольшого количества гравитационного концентрата. Каждый из мельничных блоков отличается от других некоторыми параметрами: расположением оборудования, количеством вибропитателей, мельниц, классификаторов, гидроциклонов и т.п.

Исследование режимов работы насосных установок показало, что насосные установки откачки пульпы в большинстве случаев работают с избытком давления. Основной проблемой избыточного давления является повышенное потребление энергоресурсов, что влечет за собой быстрый износ насосного оборудования, частые замены уплотнений, разрывы труб и соединений и т.д. Показано, что главным направлением по эффективному энерго- и ресурсосбережению насосных установок откачки пульпы является использование регулируемого электропривода.

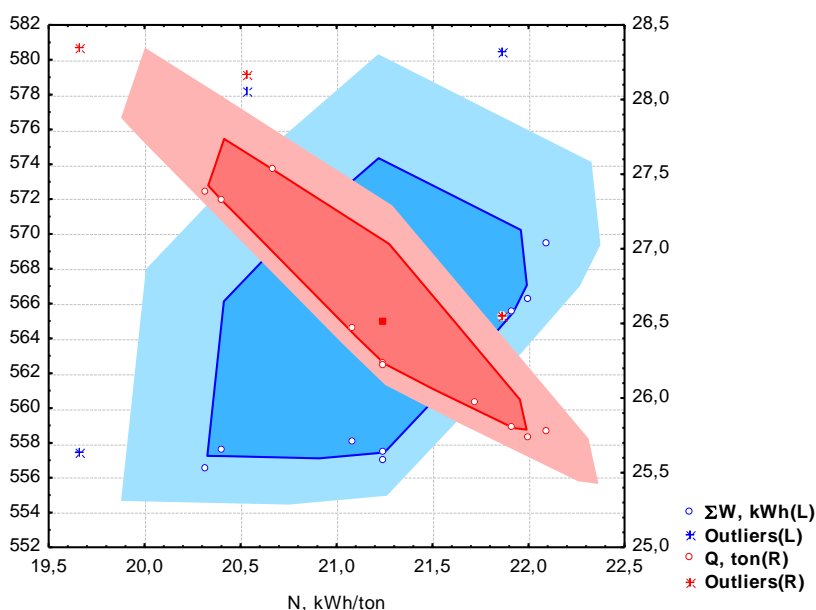
Анализ выполненных исследований по повышению энергоэффективности предприятий горно-металлургической промышленности показал, что большинство научных работ посвящено исследованию энергосберегающих режимов на основе технических средств. Следует отметить, что в выполненных исследованиях недостаточно изученными являются вопросы повышения энергоэффективности технологий переработки минерально-сырьевых ресурсов на основе моделей потребления электрической энергии с учетом влияния значимых факторов на электротребление.

На основании проведенного научного анализа, с учетом тенденции к расширению уровня исследований в области энергосбережения технологий переработки минерально-сырьевых ресурсов сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе диссертации **«Определение энергосберегающих режимов работы обогатительных процессов горно-металлургических предприятий»** изложены методические принципы исследования режимов электропотребления горно-металлургических предприятий, обоснована структура электропотребления на обогатительных процессах.

С точки зрения эффективности работы шаровой мельницы, наиболее важен контроль загрузки шаров, который влияет на производительность и расход электроэнергии на всю линию измельчения руды, что было принято в качестве выходной характеристики экспериментальных исследований. Для определения производительности мельниц применялся весовой анализ.

На основе инструментальных замеров получена энергетическая характеристика стадии измельчения руды, представленная на рис.1.



**Рис. 1. Энергетическая характеристика стадии измельчения руды**

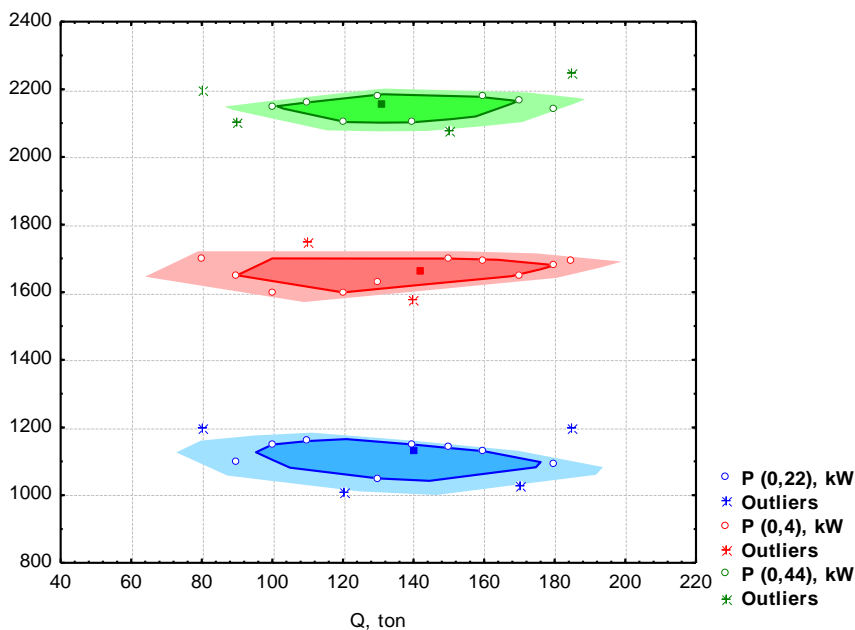
На основе полученных экспериментальных данных определена зависимость степени заполнения шарами мельницы от производительности и потребляемой мощности. На рис. 2 представлена зависимость потребляемой активной мощности мельницы 2500 кВт от производительности и степени заполнения шарами. Как видно из рисунка 2 при загрузке шарами  $k_{ш}=0,22$  (22% загрузки) потребляемая активная мощность снижается в два раза от номинального значения. Но при этом, увеличивается время измельчения руды в мельнице, т.к. падающие на измельчаемую руду шары воздействуют с недостаточной силой. С увеличением степени загрузки шарами повышается потребляемая активная мощность мельницы и время измельчения руды.

В результате анализа экспериментальных данных определено, что на производительность и потребляемую активную мощность влияет степень загрузки мельниц шарами. Производительность мельницы и расход электроэнергии на измельчение растут и достигают максимума при 50% степени заполнения шарами. Эти данные позволяют определить зависимость потребляемой мельницей активной мощности в функции степени заполнения мельницы шарами.

На основе обобщения экспериментальных данных получена регрессионная модель потребления активной мощности в функции степени заполнения мельницы шарами (для мельниц 1250 кВт и 2500 кВт), которая представлена на рис. 2:

$$P = 8713,0682 \cdot k_{ш} - 6089,015 \cdot k_{ш}^2 - 504,6667, \quad (1)$$

где  $k_{ш}$  - степень заполнения мельницы шарами.

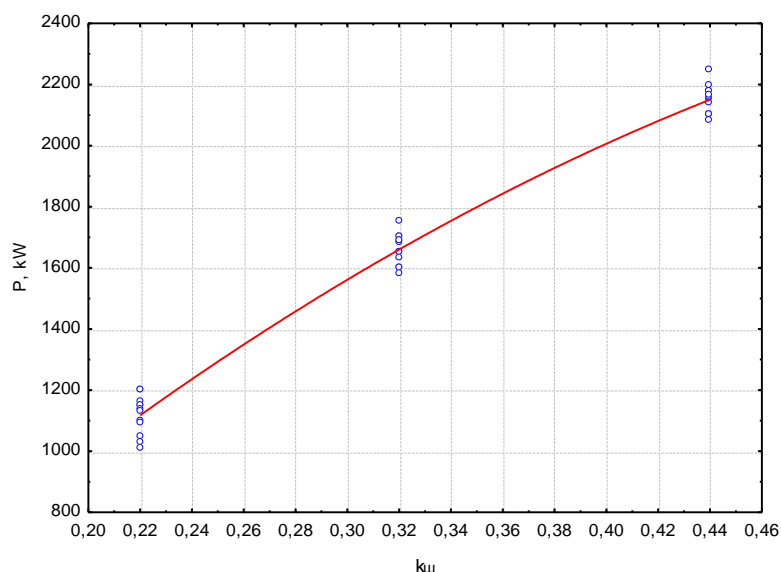


**Рис. 2. Зависимость потребляемой активной мощности мельницы ( $P_n=2500$  кВт) от производительности и степени заполнения шарами**

Исследования показали, что эффективность работы технологических линий горно-металлургических предприятий в значительной мере определяется стабильностью рабочих режимов грунтовых насосов.



Однако при эксплуатации отмечается недостаточная долговечность грунтовых насосов, что вызывается повышенным гидроабразивным износом. Особенно этот недостаток проявляется при переработке сильно абразивных грунтов.



**Рис. 3. Потребление активной мощности в функции степени заполнения мельницы шарами (для мельниц 1250 кВт и 2500 кВт)**

Для оценки эффективной работы грунтового насоса необходим показатель, учитывающий техническое состояние агрегата и его возможности удовлетворять технологическим требованиям, а также экономическую целесообразность эксплуатации его в контролируемом режиме. Таким показателем может служить величина износа деталей насоса.

На интенсивность износа насосного агрегата влияет ряд факторов, а именно: крупность, твердость и относительная скорость частиц грунта; угол встречи частиц грунта с изнашиваемой деталью; плотность потока пульпы; износоустойчивость материала детали, т.е.

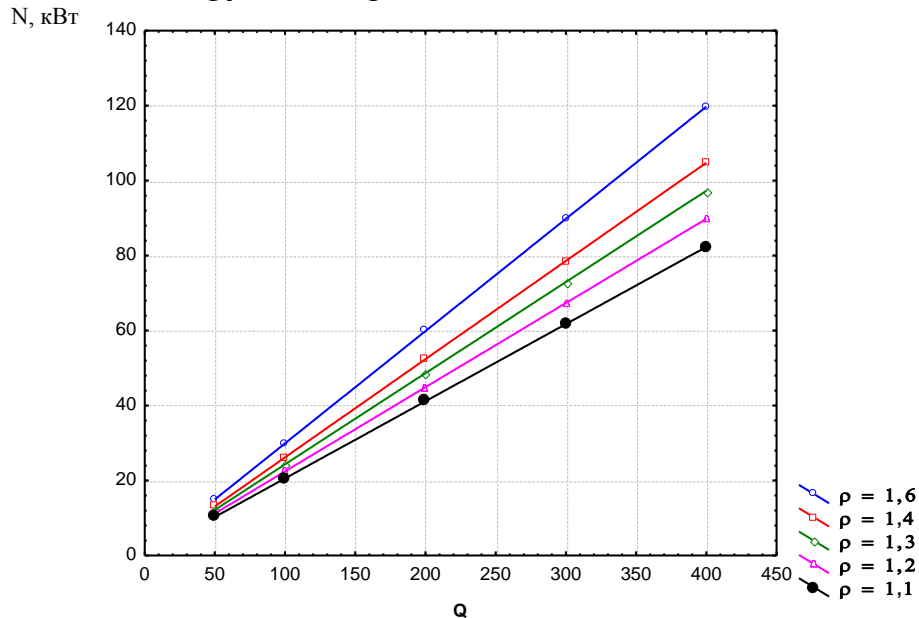
$$E = f(v, \rho, \delta, \lambda, \mu, \beta, \alpha), \quad (2)$$

где  $v$  - скорость потока пульпы  $м/с$ ;  $\rho$  - плотность пульпы,  $кг/м^3$ ;  $\delta$  - предельная прочность изнашиваемого тела,  $Па$ ;  $\lambda$  - твердость изнашиваемого тела,  $Па$ ;  $\mu$  - твердость частиц в пульпе,  $Па$ ;  $\beta$  - конструкция деталей насоса, соприкасающиеся с пульпой;  $\alpha$  - угол атаки вектора скорости потока пульпы.

Из всех перечисленных факторов (2), влияющих на гидроабразивный износ, существенным, с точки зрения воздействия на процесс износа путем выбора рационального режима эксплуатации насосов, являются,  $\rho$  - плотность перекачиваемой пульпы ( $кг/м^3$ ) и  $v$  - скорость потока пульпы  $м/с$ .

Плотность потока пульпы определяется требованием технологического процесса и составляет  $\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$ . Опыт работы насосов откачки пульпы показывает, что в практике эксплуатации системы откачки пульпы возможны изменения плотности перекачиваемой пульпы. В результате этого система

начинает работать в переходном режиме с измененными параметрами. Расчеты показывают (рис. 4), что при повышении плотности пульпы потребляемая мощность весьма длительно может превышать допустимую, а при уменьшении плотности пульпы скорость пульпы в трубопроводе может снизиться с опасностью закупорки трубопровода. Также повышенная плотность пульпы сопровождается увеличенным износом, но доля откаченной измельченной руды возрастает по сравнению с откачкой пульпы с низкой плотностью в функции времени.



**Рис. 4. Влияние плотности пульпы на потребляемую насосом мощность:**  
*N* - потребляемая мощность насосного агрегата; *Q* - производительность; *ρ* - плотность пульпы т/м<sup>3</sup>

Определим экономически оправданные предельные режимы работы грунтовых насосов. Как было отмечено, при износе насосов увеличивается потребляемая мощность и затраты электроэнергии на откачку пульпы, что приводит к снижению КПД насоса. Из этого следует, что замена изношенного оборудования насосов необходима тогда, когда стоимость перерасхода электрической энергии работы насосной установки превысит стоимость на её ремонт. Эту задачу можно решить, установив потерю электроэнергии при изношенном насосе:

$$\Delta W_{\Pi} = \frac{\rho Q H}{102 \eta} t \left( \frac{\eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{изн}}} - 1 \right), \quad (3)$$

где  $\rho$  - плотность пульпы, кг/м<sup>3</sup>;  $\eta_{\text{ном}}$  - номинальный КПД насоса;  $\eta_{\text{изн}}$  - КПД изношенного насоса.

В результате проведенного регрессионного анализа получено следующее уравнение износа насосного агрегата *E* в функции скорости потока пульпы *v*, твердости частиц в пульпе  $\mu$ , плотности пульпы  $\rho$ , прочности  $\delta$  и углом атаки  $\alpha$

$$E = 0,89 + 0,0375v + 0,02\mu + 0,025\rho + 0,0175\delta + 0,0125\alpha. \quad (4)$$

Реальные характеристики насосного агрегата могут быть получены только при совместном рассмотрении характеристик насоса и напорного трубопровода. В связи с этим нами разработана математическая модель функционирования системы "асинхронный двигатель – насос – напорный трубопровод".

Основной характеристикой насоса является его расходно-напорная характеристика, т.е. зависимость напора от расхода. Расход насоса определим согласно

$$Q = \sqrt{\frac{H_0 \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 - H_{cm}}{A + R}}, \quad (5)$$

где  $A = (H_0 - H_n) / Q_n^2$ ,  $H$  – полный напор насоса (м),  $Q$  – производительность,  $H_0$  – напор при  $Q=0$  и  $\omega = \omega_n$ ,  $\omega$  – угловая скорость вращения рабочего колеса,  $H_n$ ,  $Q_n$ ,  $\omega_n$  – их номинальные значения,  $H_{cm}$  – статический напор,  $R$  – коэффициент сопротивления напорного трубопровода, зависящий от диаметра и длины трубопровода, шероховатости его стенок и числа местных сопротивлений (колен, задвижек и т.п.).

Потребляемые первичная, электромагнитная мощности и мощность на валу двигателя будут:

$$P_1 = \left( \frac{\gamma}{F} \right)^2 \frac{m U_n^2}{D^2} \left\{ r_1 \left[ \left( \frac{r_2}{\beta} \right)^2 + x_r^2 + \frac{r_2'}{\beta} x_{\mu n}^2 F \right] \right\}, \quad (6)$$

$$P_2 = \left( \frac{\gamma}{F} \right)^2 \frac{m U_n^2 r_2' x_{\mu n}^2 F}{\beta D^2}, \quad (7)$$

$$P_3 = \left( \frac{\gamma}{F} \right)^2 \frac{m U_n^2 r_2' x_{\mu n}^2}{\beta D^2} (F - s), \quad (8)$$

где  $D = \sqrt{\left( \frac{r_1 r_2'}{\beta F} - x_s x_r \sigma \right)^2 + \left( \frac{r_2'}{\beta} x_s + \frac{r_1}{\beta} x_{\mu n} \right)^2}$ ,  $a = mp / 19,62 f_n \pi$ ,  $p$  и  $m$  –

число пар полюсов и число фаз статора,  $\gamma = U / U_n$  – относительное напряжение,  $F = f / f_n$  – относительная частота,  $x_s = x_{1n} + x_{\mu n}$ ,  $x_r = x_{2n}' + x_{\mu n}$ ,  $\sigma = 1 - x_{\mu n}^2 / x_s x_r$ ,  $r_1$  и  $x_1$  – активное и индуктивное сопротивления обмотки статора,  $r_2'$  и  $x_2'$  – приведенные активное и индуктивное сопротивления обмотки ротора,  $\beta = Fs$  – параметр абсолютного скольжения,  $s$  – скольжение двигателя,  $x_{\mu n}$  – индуктивное сопротивление намагничивающей цепи двигателя.

Электромагнитный момент двигателя

$$M_{\text{э}} = \frac{2M_{\text{эК}}(1 + q\beta_{\text{к}})}{\frac{\beta}{\beta_{\text{к}}} + \frac{\beta_{\text{к}}}{\beta} + 2q\beta_{\text{к}}}, \quad (9)$$

где

$$M_{\text{эК}} = \left(\frac{\gamma}{F}\right)^2 \frac{aU_{\text{н}}^2 x_{\text{лн}}^2 / 2}{x_r \sqrt{\left[\left(\frac{r_1}{F}\right)^2 + x_s^2\right] \left[\left(\frac{r_1}{F}\right)^2 + (x_s \sigma)^2\right]} + \frac{r_1}{F} x_{\text{лн}}^2},$$

$$q = \frac{r_1 x_{\text{лн}}^2 / r_2 F}{\left(\frac{r_1}{F}\right)^2 + x_s^2}, \quad \beta_{\text{к}} = \frac{r_2}{x_r} \sqrt{\frac{\left(\frac{r_1}{F}\right)^2 + x_s^2}{\left(\frac{r_1}{F}\right)^2 + x_s^2 \sigma^2}}.$$

Производительность насоса в функции скольжения приводного двигателя

$$Q = Q_{\text{н}} \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_{\text{н}}} - H_{\text{см}}}{H_0 - H_{\text{н}} + RQ_{\text{н}}^2}}, \quad (10)$$

где  $s_{\text{н}}$  – номинальное скольжение двигателя.

Полезная мощность насоса в функции скольжения выразится

$$N = \frac{\rho H Q}{102} \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_{\text{н}}} - H_{\text{см}}}{H_0 - H_{\text{н}} + RQ_{\text{н}}^2}}. \quad (11)$$

Аналогично механическая мощность и момент сопротивления на валу насосного агрегата в функции скольжения будут:

$$N_{\text{мех}} = N_0 \frac{1-3s}{1-3s_{\text{н}}} + BQ_{\text{н}} \frac{1-2s}{1-2s_{\text{н}}} \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_{\text{н}}} - H_{\text{см}}}{H_0 - H_{\text{н}} + RQ_{\text{н}}^2}}, \quad (12)$$

$$M_c = M_0 \frac{1-2s}{1-2s_{\text{н}}} + (M_{\text{н}} - M_0) \frac{1-s}{1-s_{\text{н}}} Q_{\text{н}} \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_{\text{н}}} - H_{\text{см}}}{H_0 - H_{\text{н}} + RQ_{\text{н}}^2}}. \quad (13)$$

Отношение (11) к (12) дает КПД насоса в функции скольжения приводного двигателя

$$\eta_N = \frac{\frac{\rho H Q}{102} \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_H} - H_{cm}}{H_0 - H_H + RQ^2}}}{N_0 \frac{1-3s}{1-3s_H} + (N_{\text{мех.н}} - N_0) \frac{1-2s}{1-2s_H} \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_H} - H_{cm}}{H_0 - H_H + RQ^2}}}. \quad (14)$$

Коэффициент мощности приводного асинхронного двигателя при  $F = 1$  имеет вид

$$\cos \varphi = \frac{\frac{r_2'}{s} x_{\mu}^2 + r_1 \left( \frac{r_2'^2}{s} + x_r^2 \right)}{\sqrt{\left[ \left( \frac{r_1 r_2'}{s} - x_s x_r \sigma \right) + \left( \frac{r_2'}{s} x_s + r_1 x_r \right)^2 \right] \left( \frac{r_2'^2}{s^2} + x_r^2 \right)}}. \quad (15)$$

Таким образом, определены КПД и  $\cos \varphi$  насосного агрегата, в функции питающего напряжения сети и нагрузки на валу.

В третьей главе диссертации «Разработка энергосберегающего регулируемого электропривода насосных установок откачки пульпы» исследованы режимы работы насосных установок, определены условия работы насосных установок в энергосберегающем режиме, разработана математическая и имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса. В табл. 1 приведены основные соотношения электродвижущей силы  $E_1$ , магнитного потока в воздушном зазоре  $\Psi$ , тока статора  $I_1$ , тока ротора  $I_2'$ , тока намагничивания  $I_{\mu}$  и электромагнитного момента  $M$  в функции параметров схемы замещения и управляемых параметров  $F$  и  $\beta$  частотно-регулируемого асинхронного короткозамкнутого двигателя при питании от автономного инвертора напряжения (АИН) и автономного инвертора тока (АИТ)

Таблица 1

**Основные соотношения частотно - регулируемого асинхронного короткозамкнутого двигателя при питании от АИН и АИТ**

| Вели-<br>чины | От АИН              | От АИТ   |
|---------------|---------------------|--|
| $E_1$         | $c_1 f_{1H} F \Psi$ | $F I_1 \cdot \left[ \frac{x_{\mu}^2}{r_2'^2 + \beta^2 \cdot x_{\mu}^2 + 2\beta^2 \cdot x_{\mu}^2 \cdot x_2' + x_2'^2 \cdot \beta^2} \right]^{\frac{1}{2}}$ |

|         |  |   |
|---------|--|---|
| $\Psi$  | $\frac{U_n}{c_1 f_{1n}} \frac{\gamma}{F} \frac{x_\mu \sqrt{\left(\frac{r_2'}{\beta}\right)^2 + x_{rq}'^2}}{D}$ | $\frac{1}{c_1 f_{1n}} \cdot I_1 \cdot \left[ \left[ r_2'^2 + x_2'^2 \beta^2 \right] \cdot \frac{x_\mu^2}{r_2'^2 + \beta^2 \cdot x_\mu^2 + 2\beta^2 \cdot x_\mu' \cdot x_2' + x_2'^2 \cdot \beta^2} \right]^{\frac{1}{2}}$ |
| $I_1$   | $U_n \frac{\gamma}{F} \frac{\sqrt{\left(\frac{r_2'}{\beta}\right)^2 + x_2'^2}}{D}$                             | -   |
| $I_2'$  | $U_n \frac{\gamma}{F} \frac{x_\mu}{D}$   | $I_1 \frac{\beta}{\left[ \frac{1}{x_\mu^2} r_2'^2 + \beta^2 + \frac{2}{x_\mu} \beta^2 x_2' + \frac{1}{x_\mu^2} x_2' \beta^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$   |
| $I_\mu$ | $U_n \frac{\gamma}{F} \frac{\sqrt{\left(\frac{r_2'}{\beta}\right)^2 + x_{rq}'^2}}{D}$                          | $I_1 F \left[ \frac{r_2'^2 + x_2'^2 \beta^2}{r_2'^2 + \beta^2 x_\mu^2 + 2\beta^2 x_\mu' x_2' + x_2'^2 \beta^2} x_\mu^2 \right]^{\frac{1}{2}}$   |
| $M$     | $M_{kf} \frac{2 \cdot (1 + \varepsilon)}{\frac{\beta_k}{\beta} + \frac{\beta}{\beta_k} + 2\varepsilon}$        | $\frac{K_1 x_s x_r \beta r_2' (1 - \varepsilon) I_1^2 - K_1 x_s x_r \beta r_2' I_1^2 \sigma}{r_2'^2 + x_r^2 \beta^2}$   |

На рис. 5 приведены характеристики двигателя при частотном регулировании: - в режиме минимального тока; ----- в постоянстве потока. Уменьшение тока происходит в основном вследствие увеличения потокосцепления (напряжения).

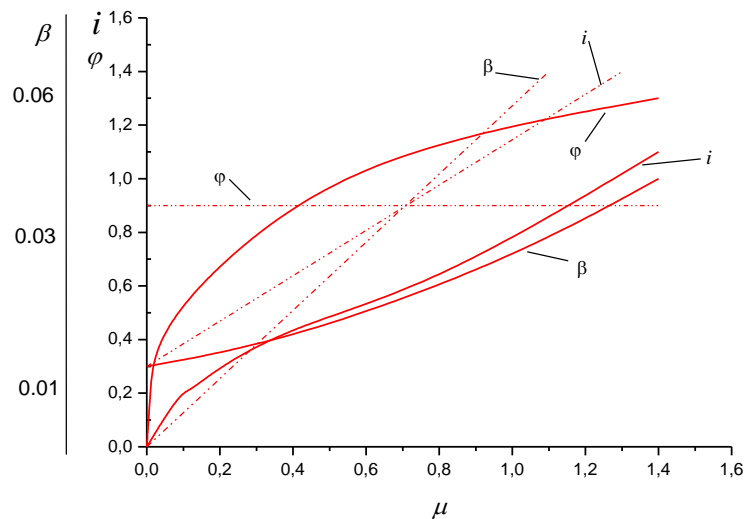


Рис. 5. Характеристики двигателя при частотном регулировании: — - в режиме минимального тока; ----- в постоянства потока.

Анализ этих зависимостей показывает, что управление по минимуму тока целесообразно только при небольших частотах. При возрастании частоты регулирование по минимуму тока нецелесообразно из-за увеличения реактивной мощности и увеличения напряжения. Управление в режиме минимума потерь позволяет существенно повысить коэффициент мощности, снизить потери за счет снижения потребляемого тока (отличается невысоким превышением тока по сравнению с режимом  $i_l = \min$ ). Однако в этом режиме увеличиваются полная мощность  $S$  и напряжение на статоре. Основным недостатком режима минимальных потерь является относительная сложность реализации этого режима.

Исследования показали, что наиболее рациональным законом управления насосным агрегатом откачки пульпы является управление по минимуму тока статора, в котором при заданных значениях скорости вращения и момента двигателя обеспечивается минимальный нагрев. Вместе с тем, управление по минимуму тока несколько проще в реализации, как в части датчика, так и в части функционального устройства.

Рассмотрим уравнение движение привода, которое для частотного пуска, как известно, имеет, вид

$$M = M_c + J\omega_{1n} \frac{dF}{dt} - J\omega_{1n} \frac{d\beta}{dt}. \quad (16)$$

Введем в рассмотрение относительные величины

$$\nu = \omega/\omega_n = F - \beta, \quad \mu = M/M_n, \quad \tau = t/T_M, \quad \mu_c = M_c/M_n,$$

где  $M_n$  - номинальный момент;  $\omega, \omega_n$  - текущая и номинальная скорость вращения;  $T_M = J \frac{\omega_n S_n}{M_n}$  - электромеханическая постоянная времени разгона массы электропривода.

Уравнение (16) преобразуем в относительные величины

$$\mu = \mu_c + \frac{d\nu}{d\tau}. \quad (17)$$

Изменение угловой скорости при пуске возможно по различным законам и может быть функцией многих параметров (тока, времени, скорости и других)

$$\frac{d\nu}{d\tau} = f(t, \tau, \nu, \dots). \quad (18)$$

Поскольку разбег будет происходить в зависимости от того, какой режим ускорения мы реализуем, нами рассмотрены различные режимы ускорения. Из уравнения (18) определим ускорение  $\zeta$

$$\zeta = \frac{\mu - \mu_c}{T_M (1 - \beta)}. \quad (19)$$

Также проанализируем пуск с постоянным  $\zeta_n$ , и линейным  $\zeta_l$  характером изменения ускорения, т.е.

$$\zeta_n = \frac{\mu_{кн} - \mu_c}{T_m (1 - s_{крн})}, \quad (20)$$

$$\zeta_l = \zeta_n F, \quad (21)$$

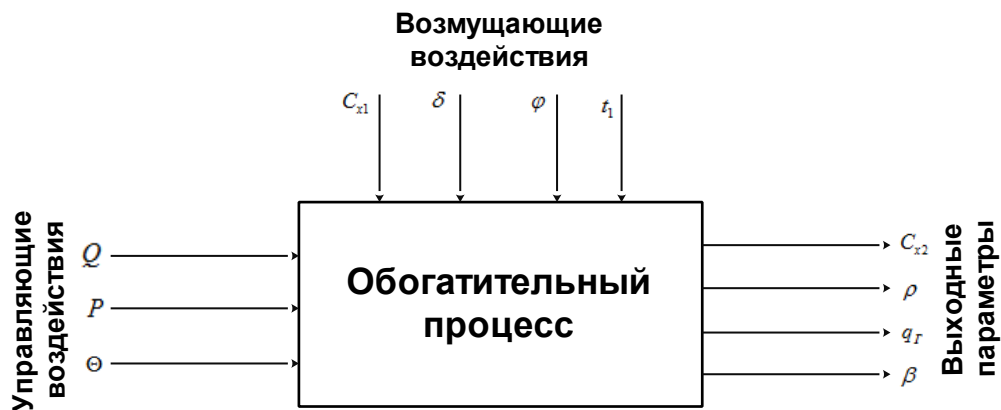
где  $\mu_{кн}$  – номинальный относительный критический момент равен  $\mu_c$  при  $F=1$ ,  $s_{крн}$  – номинальное критическое скольжение.

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы: наилучшими режимами являются управление по (19) и (21). Однако наиболее рациональным пуском является пуск с интенсивностью, определяемым по (21), в котором время переходного процесса и потери минимальны. Управление по (20) обеспечивает номинальный ток статора и приемлемое время регулирования, тем не менее в начале и конце диапазона регулирования из-за резкости характеристик возникают броски скорости, тока и потерь.

Четвертая глава диссертации «**Разработка удельных показателей и оценка энергоэффективности производства горно-металлургической промышленности**» представлена анализом норм расхода электроэнергии, классификацией и методами расчета норм расхода электроэнергии на горно-металлургических предприятиях.

Расчет количества потребляемой электроэнергии и норм ее расхода проводится по отдельным норм образующим элементам в соответствии со структурой норм.

Укрупненно технологическая схема обогатительного процесса представлена на рис. 6.



**Рис. 6. Технологическая схема обогатительного процесса**

Согласно рис.6 управляющими воздействиями являются: расход руды в обогатительном процессе  $Q$ , расход воды в обогатительном процессе  $\Theta$  и потребляемая мощность обогатительного процесса  $P$ . При этом вода подается в зависимости от того, сколько руды поступает на каждый цикл технологического процесса обогащения руды, в котором расход воды – это ведомый параметр, ведущий – расход руды.



Возмущающие воздействия: гранулометрический состав руды  $C_{x1}$  и физико-механические свойства руды  $\delta$ ; влажность  $\omega$  и температура исходной руды  $t_1$ .

Выходные параметры: гранулометрический состав измельченной руды  $C_{x2}$ ; плотность пульпы  $\rho$ ; производительность цикла по готовому классу  $q_T$ ; извлечение ценных компонентов в концентрат  $\beta$ . Выход концентрата определяется отношением производительности по концентрату  $Q_k$  к исходной руде  $Q$ , т.е.  $\frac{Q_k}{Q} < 1$ .

Задаваемая целевая функция – эти минимизация расхода энергоресурсов  $P, Q, \Theta$  в функции  $C_{x2}, \rho, q_T, \beta$ , что описывается как

$$J(Q, P(n), \Theta) = \int_0^T \Phi[t, C_{x2}(t), \rho(t), q_T(t), \beta(t)] dt \rightarrow \min. \quad (22)$$

Критерий  $J$  содержит отклонения управляющих воздействий от возмущаемых, при этом обеспечивается косвенный учет диапазона изменений управляющих и возмущающих воздействий. Оптимальное управление имеет форму нелинейной зависимости от текущей оценки вектора состояния.

Как видно из (22), основная функция сформированной модели образует вектор потребляемой мощности  $P$ , т.е. расход электрической энергии на обогатительные процессы  $W_{об}$  за время работы  $t$ , а также производительность по исходной руде  $Q$ . Данные показатели характеризуют удельный расход электрической энергии на производительность обогатительного процесса по исходной руде. В соответствии с этим за критерий оптимального управления примем удельный расход электрической энергии на производительность обогатительного процесса по исходной руде.

Удельный расход электроэнергии обогатительного процесса можно представить в виде

$$N_{об} = \frac{1}{1000} \frac{1}{kD_n^2 rn Q \eta \eta_{nep} \eta_n} \left( \begin{aligned} &1000 t_{m2} KV \xi \sqrt{D} P_0 \psi k D_n^2 r n \eta \eta_n + \\ &+ 1000 k_{io} k_z P_y t_{bc} k D_n^2 r n \eta \eta_{nep} \eta_n + \\ &+ \rho g Q_n H_n t_n k D_n^2 r n \eta \eta_{nep} + \\ &+ 1000 t_{m1} C m \sqrt{D} k D_n^2 r n \eta \eta_{nep} \eta_n + \\ &+ 1000 n^2 N_{\kappa-1} Q_\kappa k D_n^2 r \eta_{nep} \eta_n + \\ &+ 60000 t_\delta Q^2 \eta \eta_{nep} \eta_n \end{aligned} \right) \quad (23)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий прочность измельчаемого материала (для прочных материалов  $k=24$ );  $D_n$  – диаметр основания конуса, м;  $r$  – размах качания конуса в плоскости нижнего основания, м;  $n$  – частота обкаток конуса, 1/с;  $t_\delta$  – часы работы дробилки, час;  $Q$  – производительность

обогажительного процесса по исходной руде, тонн,  $Q_{i,k}$  - количество руды, поступающее на  $i$ -тый конвейер (питатель),  $mn$ ;  $n$  - число конвейеров (питателей),  $K$  – коэффициент нестабильности пульпы,  $K=1,05$ ;  $V$  - полезный объем мельницы;  $\xi$  – насыпная масса руды;  $\xi = 2,2 \text{ т/м}^3$ ;  $P_0$  - удельная мощность, зависящая от степени заполнения;  $\psi$  - относительная частота вращения;  $\eta_{пер}$  - КПД передачи;  $t_{m1}$  - время работы мельниц 1-й стадии, час,  $m_3$  – общая масса загрузки барабана мельницы:  $m_3 = 1,1m_T$  - для металлических мелеющих тел;  $m_T$  - масса мелеющих тел;  $C$  – коэффициент определяемый в зависимости от степени заполнения барабана мельницы, т.е.  $C = (8,8 \cdot 10^{-3} \div 5,2 \cdot 10^{-3})$ ;  $\eta$  - КПД электропривода;  $t_{m2}$  - время работы мельниц 2-й стадии, час, где  $\rho$  – плотность пульпы,  $\text{кг/м}^3$ ;  $Q_n$  - подача насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;  $H$  - напор насоса, м;  $\eta_n$  - КПД насоса;  $t_n$  - часы работы насосов, час.  $P_y$  - суммарная установленная мощность группы потребителей с  $k_{io}$  – использования оборудования во времени;  $k_z$  – загруженность оборудования по мощности, кВт;  $t_{oc}$  - число часов работы установок, ч.

Полученная модель удельного расхода электрической энергии на обогажительный процесс позволяет исследовать энергетические затраты по операциям и сформулировать целевую функцию для оптимальных удельных расходов электроэнергии.

Учитывая, что стратегия управления технологическим процессом обогащения руды направлена на снижение удельного расхода электроэнергии, увеличение переработки руды при снижении потребления электрической энергии, то более высокие требования предъявляются к подходу определения удельного расхода электроэнергии с учетом параметров, характеризующих качественные характеристики режимов работы обогажительного процесса.

Нами предлагается подход к оптимизации удельного расхода электроэнергии на обогажительный процесс, основывающийся на учете нескольких критериев оптимизации, в частности, учитывается потребляемая электрическая энергия каждого оборудования технологического цикла и его производительность по критерию минимизации:

$$N_{об}(\bar{x}) \Rightarrow \min, W_{об}(\bar{x}) \Rightarrow \min, Q(\bar{x}) \Rightarrow \max,$$

$$D = \left\{ \begin{array}{l} x \in W_{об} : Q; \\ x_j^- \leq x_j \leq x_j^+, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{array} \right\} \quad (24)$$

где  $W_{об}$  - расход электрической энергии на обогажительный процесс;  $x_j^-$ ,  $x_j^+$  - нижнее и верхнее предельные значения для  $j$ -го управляемого параметра.

Полученная модель удельного расхода электрической энергии на обогатительный процесс позволяет исследовать энергетические затраты по операциям и сформулировать целевую функцию для оптимальных удельных расходов электроэнергии.

Пятая глава диссертации «**Разработка модели прогнозирования потребления электроэнергии обогатительных процессов горно-металлургических предприятий**» представляет на базе теории планирования эксперимента математическая модель потребления электрической энергии обогатительным процессом.

Построение математической модели технологического процесса в зависимости от поставленной задачи может преследовать следующие цели: минимизировать потребление энергоресурсов, улучшить показатели надежности и т.п.; увеличить надежность и быстродействие управления, усилить эффективность контроля качества, создать условия для автоматизации процесса управления и т.п.; анализировать удельные нормы расхода электроэнергии на горно-металлургических предприятиях.

В результате проведенного регрессионного анализа получена математическая модель потребления электроэнергии обогатительными процессами в функции основных параметров, в которой коэффициенты модели значимы и достоверны

$$W = 0,14 - 0,35 \cdot p + 0,56 \cdot m + 0,21 \cdot k_{io} + 0,15 \cdot E + 0,05 \cdot v + 0,03 \cdot A - 0,06 \cdot k_z, \quad (25)$$

где факторы:  $k_{io}$  – использования оборудования во времени;  $k_z$  – загруженность оборудования по мощности;  $\lambda$  – количество перерабатываемой руды, т;  $E$  – параметры электрической сети;  $v$  – скорость потока пульпы  $м/с$ ;  $\rho$  – плотность пульпы,  $кг/м^3$ ;  $\mu$  – твердость руды,  $Па$ .

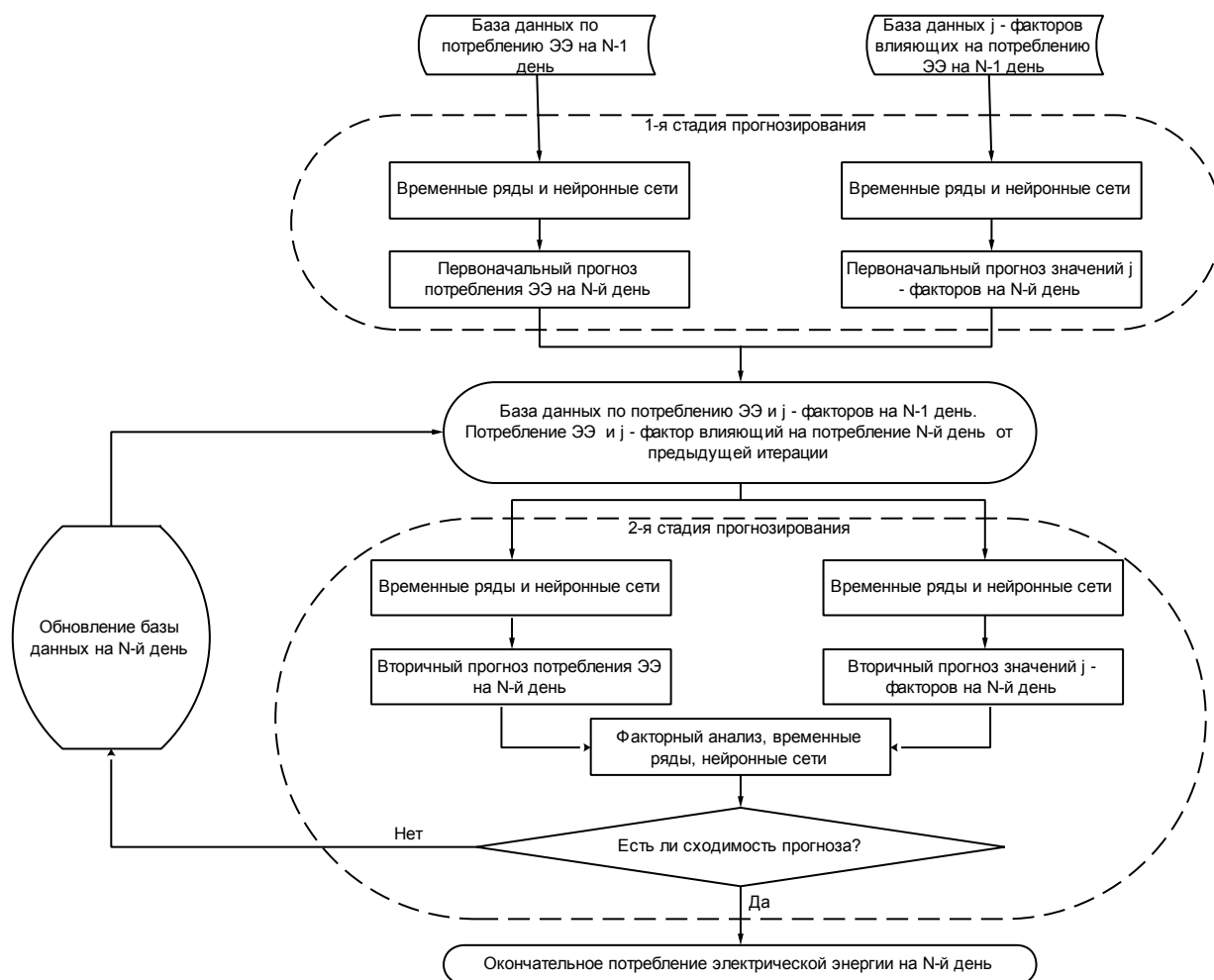
Существенное место в управлении электроэнергетикой промышленных предприятий занимает прогнозирование электрических нагрузок, которое является важным как для производителя, так и для потребителя электрической энергии.

Прогнозирование потребления электрической энергии достаточно сложная задача, так как ряды электрических нагрузок сложны и проявляются в нескольких уровнях сезонности, а также существует много важных экзогенных переменных.

На рис. 7 представлена инициализация построения интегрированной модели прогнозирования по технологии Data Mining. Данная двухступенчатая система прогнозирования обеспечивает углубленный анализ на взаимодействия между потреблением электрической энергии и факторами, которые оказывают влияние на её потребление, что позволяет выводить более точный результат прогнозирования.

В первой ступени исходные данные (потребление электрической энергии и факторы, влияющие на потребление электрической энергии)

вводятся и обрабатываются в отдельности, загружаются данные по N-1 день. Второй этап представляет собой итеративный процесс, который учитывает взаимозависимость электрической энергии и факторов, влияющих на потребление электрической энергии путем включения начальных данных на день N, рассчитанных на первой ступени. Таким образом, входные модули второй ступени прогнозирования потребления электрической энергии включают в себя базы данных со дня N -1 и начальные прогнозы на N-й день. Итак, потребление электрической энергии на N-й день обеспечивается итерационным процессом и продолжается до тех пор, пока не наблюдается существенной разницы между двумя последовательными прогнозами.



**Рис. 7. Инициализация построения интегрированной модели прогнозирования по технологии Data Mining**

Таким образом, как показали численные эксперименты, синтезированная прогностическая модель на основе технологии Data Mining не только обеспечивает достаточно точный прогноз в одношаговом режиме на сутки вперед, но может также успешно применяться и для краткосрочного прогнозирования на период до 20-30 дней. Для этого полученный прогноз электропотребления используется в качестве входного параметра модели на следующем шаге прогнозирования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по докторской диссертации на тему: «Разработка энергосберегающих технологий при переработке минерально-сырьевых ресурсов (на примере горно-металлургической промышленности)» представлены следующие выводы:

1. Рациональное управление режимами работы электромеханических систем и установок горно-металлургической промышленности позволяет повысить энергетическую эффективность технологии обогащения руды.

2. Характеристика технологического процесса обогащения руды как управляемого объекта позволяет выявить основные требования технологического процесса обогащения руды к электрическому приводу его механизмов.

3. Разработана математическая модель износа деталей насосного агрегата в функции скорости потока пульпы, плотности пульпы, твердости, прочности и угла атаки.

4. Анализированы энергетические и динамические характеристики частотно-регулируемого асинхронного электропривода насосной установки откачки пульпы при различных законах частотного управления, показавших, что наиболее рациональным законом частотного управления является управление по минимуму тока статора, в котором при заданных значениях скорости вращения и момента двигателя обеспечивается минимальный нагрев.

5. Разработана математическая модель системы «асинхронный двигатель – насос откачки пульпы» с учетом износа насосного агрегата, позволяющая определить энергетические параметры установки при частотном регулировании и без регулирования производительности.

6. Получены аналитические выражения для определения потребления электрической энергии мельничной установки при различных степенях загрузки шарами для мельниц 2-й стадии измельчения.

7. Получено математическое описание, позволяющее производить количественную оценку потребляемой электрической энергии обогатительным процессом, включая степень загрузки барабана мельницы шарами, учитывающей использование оборудования во времени, загруженность оборудования, количество перерабатываемой руды, параметры электрической сети, а также твердость руды.

8. Приводится структура обогатительного процесса с учетом управляющих, возмущающих и выходных технологических параметров. Определено, что целевой функцией управления обогатительным процессом является минимизация расходов энергоресурсов.

9. Установлена обобщенная многофакторная модель электропотребления обогатительного процесса, позволяющая оценивать удельный расход электроэнергии в зависимости от твердости руды и загруженности оборудования.

10. Приводятся энергетические модели каждого цикла технологического процесса обогащения руды, определяется критерий оптимального управления обогатительным процессом. Предлагается подход к оптимизации удельного расхода электроэнергии на обогатительный процесс. Решается задача нахождения оптимального удельного расхода электроэнергии на обогатительный процесс.

11. Определена структура состава расхода электрической энергии при обогатительном процессе. Разработана комплексная методика нормирования, моделирования и прогнозирования параметров электропотребления технологического процесса переработки окисленной руды для оценок объемов энергосбережения горно-металлургической промышленности.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD SCIENTIFIC DEGREE  
OF DOCTOR OF SCIENCES No. 14.07.2016.T.02.01 AT THE TASHKENT  
STATE TECHNICAL UNIVERSITY AND LIMITED LIABILITY  
COMPANY "SCIENTIFIC AND TECHNICAL CENTRE"**

---

**LIMITED LIABILITY COMPANY  
"SCIENTIFIC AND TECHNICAL CENTRE"**

**ISHNAZAROV OYBEK KHAYRILAEVICH**

**THE DEVELOPMENT OF ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES  
IN THE PROCESSING OF MINERAL RESOURCES (FOR EXAMPLE OF  
THE MINING AND METALLURGICAL INDUSTRY)**

**05.05.01- « Energy systems and complexes»  
(technical sciences)**

**ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION**

**Tashkent – 2016**

**The theme of the doctoral dissertation is registered at the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number 28.04.2016/B2016.2.T675**

Doctoral dissertation is carried out at the Doctoral dissertation is carried out at the Limited Liability Company "Scientific and Technical Centre".

Abstract of dissertation in three languages (Uzbek, Russian and English) is placed on the web page of Scientific council (www.tdtu.uz) and Information-educational portal «ZIYONET» to the address www.ziyonet.uz.

**Scientific consultant:**

**Kamalov Tolyagan Sirojiddinovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:**

**Aripov Nazirjon Mukaramovich**  
doctor of technical sciences

**Tetyana Morozyuk (Germany)**  
doctor of sciences, professor

**Alimhodjaev Kamoliddin Tillahodjaevich**  
doctor of technical sciences

**Leading organization:**

**JSC "Almalyk MMC"**

Defense of dissertation will take place on "\_\_" \_\_\_\_ 2016 at \_\_\_\_ o'clock at a meeting of the scientific council 14.07.2016.T.02.01 at the Tashkent State Technical University and the Limited Liability Company "Scientific and Technical Centre". (Address: 100125, Tashkent, Durmon yuli str., 29, tel.: (99871) 262-05-22; fax: (99871) 262-09-19; e-mail: info@energetika.uz).

Doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Limited Liability Company "Scientific and Technical Centre" (registration number \_\_\_\_). Address: 100125, Tashkent, Durmon yuli str., 29, tel. : (99871) 262-05-22.

Abstract of the dissertation sent out on "\_\_" \_\_\_\_ 2016 year.

Protocol at the register No \_\_\_\_\_ dated “\_\_” \_\_\_\_\_ 2016.

**H.M.Muratov**

Chairman of scientific council on award of  
Scientific degree of doctor of sciences,  
doctor of technical sciences, professor

**O.O.Zaripov**

Scientific secretary of scientific council,  
doctor of technical sciences, associate professor

**R.A.Zahidov**

The chairman of scientific seminar under  
scientific council, doctor of sciences, professor,  
Academician of the AS RUZ



## INTRODUCTION (summary of the doctoral dissertation)

**The relevance and demanding of the dissertation the theme.** Today, the world's countries with different level of provision of electric power, the average power consumption is 37% in the industry, including mining and metals industry accounted for 12 In connection with the depletion of easily recoverable reserves of mineral resources and the involvement in the exploitation reserves localized in more difficult geological conditions, energy consumption for mining industry is constantly growing. According to statistics, the annual consumption of electrical energy in the mining industry in the world is 913.2 TW·h. By results of researches by 2030 the growth of electrical energy consumption will be average 1.8% per year. Particular attention is paid to the implementation of measures to ensure the needs and requirements of industry, energy saving and efficiency of the process, optimization of electric energy consumption.

Mining and metallurgical industry is one of the largest energy consumers in the Republic of Uzbekistan, in which special attention is focused on the organization of effective measures for the implementation of high-performance technologies. In this regard, notable progress has been made in creating high-performance process control systems, standardization of electric energy consumption, improvement of management systems of technological process on the based of intelligent systems.

Acquired issues of particular importance to reduce energy intensity of process ore beneficiation process and energy efficiency technologies for processing mineral resources in view of its inherent characteristics. In this area, the implementation of targeted research is a priority, while highly relevant research in the following areas: the development of a rational law of variable frequency drive, identifying energy-saving modes of operation of the induction motor with static and dynamic processes and the creation of its mathematical model, the development of the wear pattern of the pump unit, the development of a mathematical model of the process and electricity rationing electricity consumption, taking into account the definition of the significant factors influencing the process, to develop an algorithm of forecasting of electric energy consumption. Ongoing scientific research on research areas above indicated is the actuality of the dissertation topic.

This dissertation research is to a certain degree perform tasks provided for in the law of the Republic of Uzbekistan "On the rational use of energy" (1997), Decree of the of the President of the Republic of Uzbekistan PD No. 2343 on May 5, 2015 "On the program to reduce energy consumption measures, the introduction of energy saving technologies in the fields of economy and social sphere for 2015-2019 " and the Decree of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan No. 333 on November 28, 2012 "On additional measures to reduce manufacturing costs and reduce production costs in the industry", as well as in other regulatory documents adopted in this area.

**Relevant research priority areas of science and developing technology of the republic.** Dissertation was performed in accordance with the priority direction for

development of the science and technology of Republic II. "Energy and resource saving"

### **Overview of the international research on the dissertation theme<sup>1</sup>.**

Scientific research on energy efficiency technologies of production processes based on the variable frequency drive, creation and implementation of energy-saving technologies, as well as the development of optimal process control systems conducted by leading research centers and universities of foreign countries, such as the University of Cambridge (England), University of Tennessee, Columbia University, Rockwell Automation, Data Flow Systems, Inc (USA), TU Dortmund University (Germany), National Research University "MEI", Triol Corporation (Russia), AGH University of Science and Technology (Poland), Schneider Electric, ALSTOM (France), ABB Group (Switzerland), Siemens AG (Germany), Hyundai Heavy Industries Co (Korea), Toshiba (Japan).

As a result, the world's research on the improvement and implementation of energy-saving technologies, management methods of equipments in the mining and metallurgical industry, received a number of research results, including developed: variable frequency drive pump installations through improved control algorithms (University of Cambridge, England); developed complex automated process control systems based on intelligent technologies (Data Flow Systems, Inc., USA); developed an integrated information system in Energy Management by Schneider Electric (France).

The world's research on the development of energy-saving technologies and energy efficiency of technological processes of mining and metallurgical industry on a number of priority areas of research are carried out, including: the development of variable frequency drives; identification of factors affecting the quality indicators of process ore and ore enrichment process; development of optimal management structure variable frequency drives; improvement of frequency control laws with scalar and vector of control induction motor; creation of optimal control system based on genetic algorithms; development of sensorless vector control methods for speed of the induction motors.

**Level of the study the problem.** Issues of development of energy-saving technologies, more efficient use of energy resources and energy-saving industries, optimizing the consumption of electric energy, regulation of asynchronous motors speed based on frequency control, automatic control of technological processes are studied by a number of scientists: Mark Cannon (University of Oxford), Marc Bodson (University of Utah), Geraint Jewell (University of Sheffield), Tetyana Morozyuk (Technical University of Berlin), Juha Pyrhönen (Lappeenranta University of Technology), Hans-Georg Herzog (Technische Universität München), Volker Staudt (Ruhr-Universität Bochum), K.T. Chau (University of Hong Kong) and others.

---

<sup>1</sup> Review of foreign scientific research on the topic of the thesis is based on: <http://search.ebscohost.com/>, <http://www.cyberleninka.ru>, <http://www.works.doklad.ru>, <http://elibrary.ru/>, Kazakov B., Shalimov A., Kiryakov A. Energy-saving mine ventilation / Journal of Mining Science. May 2013, Vol. 49 Issue 3, p 475-481 and other sources.

Research work related to the development of energy-saving modes of operation of asynchronous and synchronous motors and the introduction of industrial facilities variable frequency drives were conducted by the following researchers Siemon G.R., Ferreira F.J., Jahns T.M., Hanitsch R., Walters D.G., Schreiner R.T., Braslavsky V.I., Kozyaruk A.E., Figaro B.I., Kamalov T.S., Hoshimov O.O. et al., suggest that the current conditions in the manufacturing process of the introduction of frequency -Adjustable actuator mechanisms for continuous load can save electricity around 30%. As well as research on the optimization of modes of consumption of electric energy rationing electricity consumption and improving the energy efficiency of electric motors carried Melnikov M.A., Nasyrov T.H., Allaev K.R., Kudrin B.I., Hoshimov F.A., Aripov N.M., Alimhodjaev K.T., Bobozhanov M.K, Bose S.K., Hussein T. Mouftah and other scientists the positive results were obtained.

In studying issues of electric energy consumption and energy efficiency of metallurgical industry, number of scientists Lyahomskiy A.V., Oleynikov V.K., Nikiforov G.V., Osipov A.B., Zyubrovskiy L.G., Vasiliev I.E. and others suggests that the constant increase in production while reducing the content of components in the ore requires the development of new energy-and resource-saving techniques and technologies. It is well-known achievements made by scientists in the field of variable frequency drives, electric energy consumption and the impact of factors affecting its consumption, but the engineering support of these conditions is still at an insufficient level. However, despite the large number of studies on this issue, the problem of energy conservation management and technology management system enrichment processes developed enough. This is due, above all, various, often-contradictory requirements for enrichment processes. On the other hand, the enrichment process is a complex dynamic system with its inherent properties. However, in scientific publications insufficiently addressed research on energy efficiency based on variable frequency drives of mining and metallurgical industry, as well as the valuation and forecasting of electric energy consumption, taking into account the definition of the factors influencing consumption.

**Connection of dissertational research with the plans of scientific-research works of universities.** The dissertation research is carried out within the framework of research projects of basic and applied projects of the Limited Liability Company "Scientific-Technical Center" on the topic A-12-057 "Development of high-performance technologies and means of energy- and resource-saving electromechanical mining industry systems" (2006 -2008), YA3-FC-074 326 "Development of energy-efficient systems for regulated electric concentrating mechanisms, mathematical modeling and optimization of their operating modes" (2014-2015), F2-FA-0-12660 "The development of rational management theory interrelated electrical-hydro-mechanical processes and modes of energy-and resource saving in turbo mechanisms of mining industry and irrigation systems of pumping stations, machine channels with frequency-controlled electric drives"(2012-2016).

**The aim of the research** is to develop technical solutions based on the variable speed drive with electricity rationing parameters that provide energy efficiency enrichment processes.

**The tasks of research work:**

analysis of possibilities to improve efficiency of use of power equipment technological ore enrichment process;

identification of requirements process ore beneficiation process to the drive mechanisms;

study system of "electric motor - operating mechanism" as an object of control and determination of a rational structure of automatic control system that provides energy and resource efficiency of the process for the given requirements;

development of mathematical models of the system, "asynchronous motor-pump", the choice of system design and frequency control laws aimed at energy and resource saving pumping pulp.

study of the composition of electricity facilities the parameters of mining and metallurgical industry, the formation of the base of the test data for statistical processing;

determination of the structure of electricity facilities of mining and metallurgical industry, consisting of individual elements forming the electrical balance;

development of methods of rationing of electricity consumption per ton of processed ore and forecasting electricity consumption;

the practical application of a mathematical model of variable frequency drive pumping unit, energy-efficient mode of operation of pumping units at specific enterprises.

**Objectives of the research** is technological process of ore enrichment in mining and metallurgical industry.

**Subject of the research** - are regulated electric power consumption and parameters of technological equipment of enrichment processes.

**Methods of the research.** Theoretical studies were conducted with the assistance of modern methods of the theory of electrical and control theory. Experimental studies carried out by methods of mathematical modeling, experiment designs, the creation of simulation models of real objects, as well as instrumental measurements directly in research object.

**Scientific novelty of dissertational research** consists in the following:

identified the most important factors affecting the wear of pump components, developed a mathematical model of wear as a function of the main factors influencing it in the course of operation;

developed energy- and resource-saving operation of variable frequency drive system, "asynchronous motor - pump pumping pulp";

depending on the efficiency of installed electric power consumption of the degree of loading of the balls of the mill second-stage grinding the ore;

developed a comprehensive method of valuation and modeling of energy consumption parameters for the evaluation of energy saving efficiency;

developed a model for predicting the electrical energy consumption of the basic technological parameters of the function.

**Practical results of the research** are consist in the following:

identified opportunities to improve the efficiency of the use of power equipment technological ore enrichment process;

technological requirements revealed ore beneficiation process to the drive mechanisms;

studied system "electric motor - operating mechanism" as the object of control and defined a rational structure of automatic control system, which provides energy and resource efficiency of the process for the given requirements;

determined the structure of electricity facilities of mining and metallurgical industry, consisting of individual elements forming the electrical balance;

developed a technique of rationing of electricity consumption per ton of ore pererabotyvaemoy algorithm and prediction of electric energy consumption based on Data Mining technology.

**Reliability of obtained results.** The reliability of scientific statements, conclusions and recommendations grounded using modern research methods based on adequate mathematical models with the involvement of the relevant sections of the electric drive theory and mathematical physics, proven methods of experimental data processing. The reliability of the results was confirmed based on a comparative analysis of the calculated and experimental data obtained in hydrometallurgical plants and concentrators.

**Science and practical value of results of the research.** Based on the development of science-based technical solutions based on the variable speed drive with electricity rationing parameters that provide energy efficiency enrichment processes:

The scientific significance of the research is characterized by the scientific essence of the results of research on the development of system simulation theory "asynchronous motor - pump" with regard to the wear of the pump unit for frequency regulation, with measurement of dynamic processes, taking into account the impact of frequency control laws, the development of process control algorithms that provide reduction of energy consumption, planning of computational experiments and the creation of conditions for the practical application.

The practical significance of the results of the work is to develop frequency-controlled electric drive, the intensity of acceleration of dynamic engine processes, good governance law, methods of calculating specific consumption rates of electricity and forecasting of electric energy consumption in the mining and metallurgical production as well as to ensure improved technologies for processing mineral resources.

**Realization of the research results.** On the basis of the development of science-based technical solutions based on the variable speed drive with electricity rationing parameters that provide energy efficiency enrichment processes:

mathematical model of variable frequency drive pumping unit, energy-saving modes of pumping systems, block diagrams of control of the pump unit in place in

the enterprises of the Navoi Mining and Metallurgical Combine, including hydrometallurgical plant №2, №3 used to control and monitor the process of pumping units ore dressing process (Certificate given by the Navoi mining and metallurgical combine the introduction of №02-07-07 / 5028 from 05.04.2016, the). It is possible to reduce the consumption of electricity to pumping stations up to 5%;

frequency-regulated system, "asynchronous motor - pump" and the solution of forecasting electricity consumption used for determining the energy parameters for frequency regulation of turbo mechanisms, the structure of consumption of electric energy, the combined management of the asynchronous motor in the draft FA-F5-F050 "Research and modeling of related electrical, hydraulic and mechanical processes occurring in turbo mechanisms and development of sustainable management systems, electric "(2007-2011) (Certificate given by the Committee for coordination of science and technology №FTK-03-13 / 596 of 20 September 2016). Using the results of scientific research has allowed to increase the life of the pump units, to reduce electric energy consumption process and to ensure resource-saving mode of operation, as well as to evaluate the energy saving mode of operation of the process.

**Approbation of the work.** Results of the study were presented at 29 scientific conferences, including 13 international: the International scientific - technical conference "Modern equipment and technology of mining - metallurgical industry and their development" ( Navoi, 2010, 2011, 2015); at the All-Russian Scientific and Technical Conference "Energy: efficiency, reliability, security" (Russia, Tomsk, 2013); Interregional Engineering Conference in Technology and Education - Global Benchmarking and Monitoring (Krakow, 2011); at the VIII International scientific - technical conference «Machine drivers on transportation» (Ustron, 2011), at the International Youth Conference (Tomsk, 2012); at the XV International scientific-technical conference "Computer science: problems, methodology, technology" (Voronezh, 2015); at the International scientific and practical conference "Problems of increasing the efficiency of the use of electric energy in the fields of agro-industrial complex" (Tashkent, 2015) and 15 national conferences.

**Publication of the results.** According to the thesis topic published only 50 papers. Of these, 17 scientific papers, including 14 national, 3 in the international journals recommended by the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of basic scientific results of doctoral theses.

**Structure and volume of dissertation.** The dissertation consists of an introduction: five chapters, a conclusion, references and appendices. The size of the research is 197 pages.

## THE MAIN CONTENTS OF DISSERTATION

**Introduction** presents of the actuality and demand of the theme of the dissertation, formulated the purpose and problems, identified the object and subject of study, to determine the appropriate research priority areas of science and technology of the Republic of Uzbekistan, presented scientific novelty and practical results of the study justified the validity of the results disclosed theoretical and practical importance the results obtained are shown a list of implementation in practice of the research results, the results of testing work, information on published works and the thesis structure.

In the first chapter dissertation “**Current state and prospects of development of energy efficiency of technological process of enrichment of ore mining and metallurgical enterprises**” was given the analysis of the current state of technology of ore enrichment process, given an overview of research on energy efficiency equipments enrichment processes, compared the energy and technical and economic indicators of technological ore beneficiation process.

Given a review of the characteristics of the technological equipment of ore beneficiation process. Carried out analysis and review of research on improving the efficiency of pulp transportation, substantiated the necessity of pumping and control mode of operation for pumping the pulp slurry level in the sump is continuously determined directly during the manufacturing process.

Conducted instrumental survey of power consumption, which showed that in the milling stage accounted for the largest share of energy costs in the total cost of processing the ore.

Operating modes of pumping systems showed that the slurry pumping installation in most cases operate with excess pressure. The main problems of excess pressure are high power consumption, which leads to rapid wear of pump equipment, frequent replacement of seals, pipe breaks and connections, etc. It is shown that the main directions for effective energy and resource saving of slurry pumping units is the use of controlled electric drive.

The study of increasing energy efficiency problems of mining and metallurgical enterprises shows that in most cases, they are devoted to aspects related to technical factors of efficient use of energy recourses. However, research in this area requires special attention to the creation of power consumption regulates, identify the most important factors in the enrichment process.

As a result, based on defined goals and objectives identified requirements of the technological process to the drive of enrichment processing equipment.

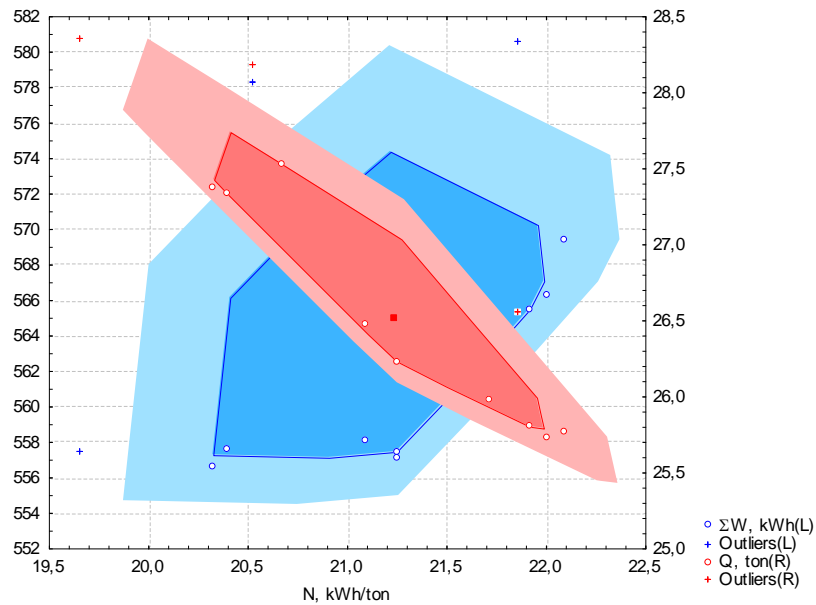
In the second chapter dissertation, “**The definition of energy-efficient modes of enrichment processes of mining and metallurgical enterprises**” presented methodological principles of research mode power consumption of mining and metallurgical enterprises, substantiated structure of the process of power consuming on enrichment processes.

From the standpoint of the efficiency of the ball mill is the most important control of load balls, which affects the performance and power consumption for the entire line of ore grinding, which was taken as the output characteristics of the

experimental research. To determine the performance of mills used gravimetric analysis.

Measurements were carried out consumption of electricity, current, voltage, power factor, efficiency at entire line weights ore grinding.

On the basis of instrumental measurements were obtained the energy characteristic of ore grinding stage shown in Figure 1.



**Fig. 1. Energy characteristics of ore grinding stage**

Based on experimental data identified the dependence of the degree of filling of the mill balls to the performance and power consumption. Fig. 5 shows the dependence of the consumed active power 2500 kW mill on the performance and the degree of filling balls. As shown in Figure 3 when booting balls  $k_b = 0.22$  (22% load) consumed active power is reduced by 2 times of the nominal value. But this increases the time of ore grinding in the mill, since falling on the balls are exposed with insufficient force. With increasing degree of loading balls increases active power consumption of the mill and the ore grinding.

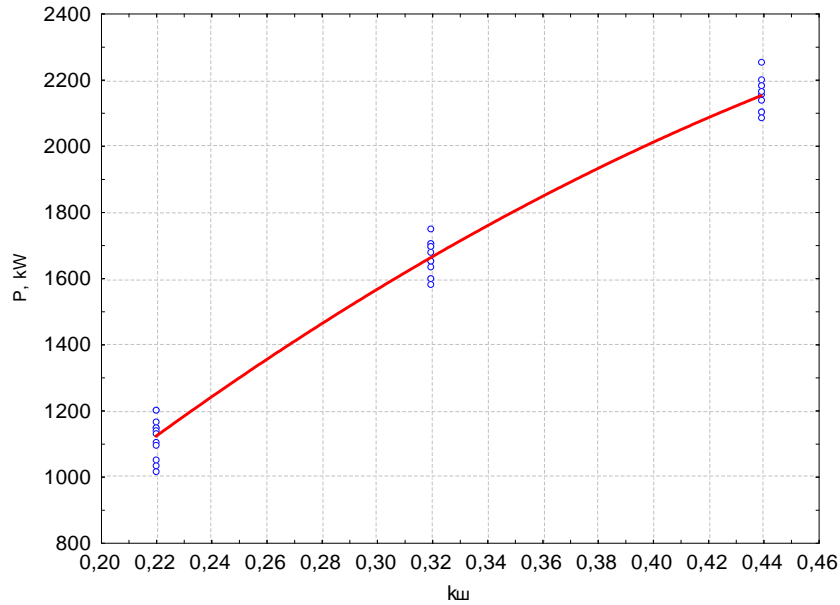
As a result of experimental data analysis determined that the performance and active power consumption affects the degree of load balls in mills. Performance and power consumption of the mill for grinding grow and reach a maximum at 50% the degree of filling of the mill balls. These data allow to determine the dependence of active power consumption of the mill as a function of the degree of filling of the mill balls.

On the basis of generalization of the experimental data obtained by the regression model of the active power consumption as a function of the degree of filling of the mill balls (for mills 1250 kW and 2500 kW), which is represented in Figure 2:

$$P = 8713,0682 \cdot k_b - 6089,015 \cdot k_b^2 - 504,6667, \quad (1)$$

where  $k_b$  - the degree of filling of the mill balls.





**Fig. 2. The active power consumption as a function of the degree of filling the mill balls (for mills 1250 kW and 2500 kW)**

Studies have shown that the efficiency of the production lines of mining and metallurgical enterprises is largely determined by the stability of operating modes of groundwater pumps.

However, the operation is marked lack of durability of groundwater pump, which causes an increase in hydroabrasive wear. Especially the lack of processing manifested in highly aggressive soils.

To assess the performance of soil pump needs index, which takes into account the technical condition of the machine and its ability to meet the technological requirements, as well as the economic feasibility of operating it in a controlled manner. This indicator may be the value of the wear pump parts wear

The intensity of wear of the pump unit is affected by several factors, namely fineness, hardness and relative velocity of soil particles; the angle of the soil particles meeting with a consumable part; slurry flux density; the wear resistance of the material, i.e.

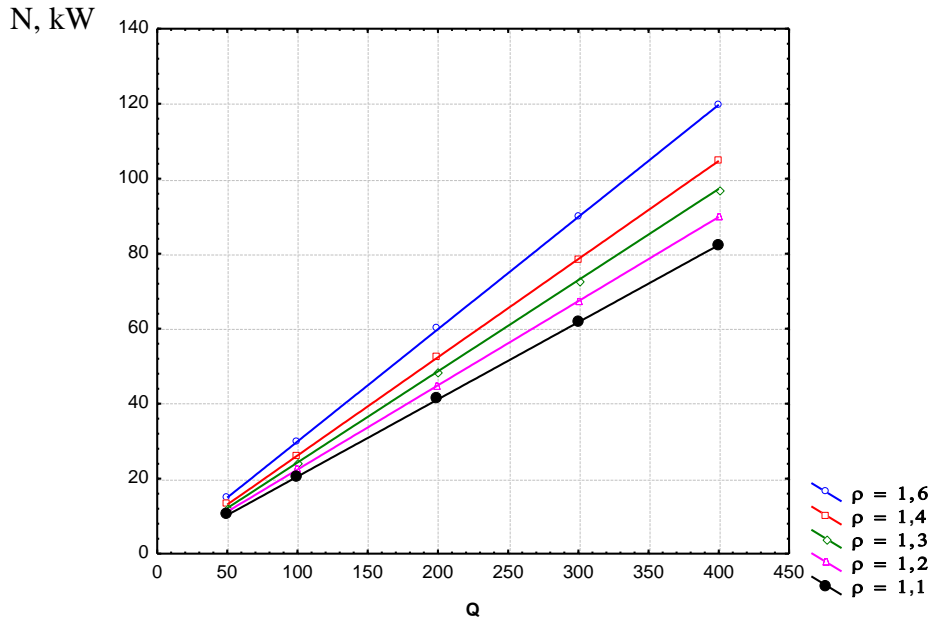
$$E = f(v, \rho, \delta, \lambda, \mu, \beta, \alpha), \quad (2)$$

where:  $v$  - the flow rate of slurry,  $m/s$ ;  $\rho$  - pulp density,  $kg/m^3$ ;  $\delta$  - limit the strength of the wear body, Pa;  $\lambda$  - The hardness of the wear body;  $\mu$  - hardness particles in the slurry, Pa;  $\beta$  - construction of pump components in contact with the slurry;  $\alpha$  - angle of attack flow velocity vector of the slurry.

Of all these factors, (2) influencing hydroabrasive wear significant impact in terms of wear on the process by selecting operation mode management pumps is - density of the slurry pumped ( $kg/m^3$ ), and  $v$  - the flow velocity of the slurry;  $m/s$ .

Slurry flux density is determined by the requirement of the technological process and amounts to  $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$ . Experience slurry pumps shows that in practice the operation of slurry pumping system to change the slurry pumped density. As a result, the system starts operation in transient mode with the changed

parameters. Calculations show as given in Fig. 3 that an increase in pulp density, power consumption is very long may exceed permissible, and with a decrease in the density of the slurry, the slurry velocity in the pipeline may decrease the risk of blockage of the pipeline. Also, the increased density of the pulp is accompanied by the increased wear, but the proportion of the ore gridding increased, compared to slurry pumping with low density as a time function.



**Fig. 3. Influence density of slurry on the power consumption of the pump.**  
**N- power consumption of the pump; Q - Productivity; ρ - slurry density, t/m<sup>3</sup>**

We will define economically justified limiting modes of groundwater pumps. As noted, when wear of pump increases power consumption and power consumption for pumping slurry, which reduces pump efficiency. It follows that the replacement of worn-out equipment pumps required when the cost overruns of power for pumping installation will exceed the cost of its repair. This can be achieved by setting the power at the worn pump:

$$\Delta W_{\text{п}} = \frac{\rho Q H}{102 \eta} t \left( \frac{\eta_N}{\eta_N} - 1 \right), \quad (3)$$

where: ρ - density of slurry, kg / m<sup>3</sup>; η<sub>N</sub> - rated efficiency of the pump; η<sub>w</sub> - efficiency of the worn pump.

As a result of regression analysis obtained by the following equation in the wear of the pump unit as a functions of flow rate of the slurry  $v$ , hardness particles in the slurry  $\mu$ , slurry density  $\rho$ , strength  $\delta$  and angle of attack  $\alpha$ .

$$E = 0,89 + 0,0375v + 0,02\mu + 0,025\rho + 0,0175\delta + 0,0125\alpha. \quad (4)$$

The real characteristics of the pump unit can only be obtained by simultaneous examination of the characteristics of the pump and the pressure

pipeline. In this regard, we have developed a mathematical model of the functioning of the system, "induction motor - pump - pressure pipeline."

The main characteristic of the pump is its consumable-pressure characteristics, ie, pressure depending on consumption. We will define consumption of the pump

$$Q = \sqrt{\frac{H_0 \left( \frac{\omega}{\omega_N} \right)^2 - H_{st}}{A + R}}. \quad (5)$$

Where:  $A = (H_0 - H_N) / Q_N^2$ ,  $H$  – full pressure of the pump (m),  $Q$  – performance,  $H_0$  – the pressure at  $Q = 0$  and  $\omega = \omega_h$ ,  $\omega$  – the angular velocity of rotation of the impeller,  $H_n$ ,  $Q_n$ ,  $\omega_N$  – their nominal values,  $H_{st}$  – static pressure,  $R$  – resistance coefficient of the pressure pipeline, which depends on the diameter and length of the pipeline, the roughness of its walls and number of the local resistances (elbows, valves, etc.).

Consumed primary, electromagnetic power and power at the motor shaft will be

$$P_1 = \left( \frac{\gamma}{F} \right)^2 \frac{m U_h^2}{D^2} \left\{ r_1 \left[ \left( \frac{r_2}{\beta} \right)^2 + x_r^2 + \frac{r_2'}{\beta} x_{\mu h}^2 F \right] \right\}, \quad (6)$$

$$P_2 = \left( \frac{\gamma}{F} \right)^2 \frac{m U_h^2 r_2' x_{\mu h}^2 F}{\beta D^2}, \quad (7)$$

$$P_3 = \left( \frac{\gamma}{F} \right)^2 \frac{m U_h^2 r_2' x_{\mu h}^2}{\beta D^2} (F - s), \quad (8)$$

where  $D = \sqrt{\left( \frac{r_1 r_2'}{F \beta} - x_s x_r \sigma \right)^2 + \left( \frac{r_2'}{\beta} x_s + \frac{r_1}{\beta} x_{\mu h} \right)^2}$ ,  $a = mp / 19,62 f_n \pi$ ,  $p$  and  $m$  – number of pole pairs and the number of stator phases,  $\gamma = U / U_N$  – relative voltage,  $F = f / f_N$  – relative frequency,  $x_s = x_{1N} + x_{\mu N}$ ,  $x_r = x_{2N} + x_{\mu N}$ ,  $\sigma = 1 - x_{\mu N}^2 / x_s x_r$ ,  $r_1$  и  $x_1$  – active and inductive resistance of the stator winding,  $r_2'$  и  $x_2'$  – given the active and inductive rotor winding resistance of the rotor,  $\beta = Fs$  – absolute slipping parameter,  $s$  – motor slip,  $x_{\mu N}$  – inductive reactance of the magnetizing circuit of the motor.

The electromagnetic torque of the motor

$$M_2 = \frac{2M_{2\kappa}(1 + q\beta_\kappa)}{\frac{\beta}{\beta_\kappa} + \frac{\beta_\kappa}{\beta} + 2q\beta_\kappa}, \quad (9)$$

where

$$M_{\text{эк}} = \left(\frac{\gamma}{F}\right)^2 \frac{aU_H^2 x_{\mu N}^2 / 2}{x_r \sqrt{\left[\left(\frac{r_1}{F}\right)^2 + x_s^2\right] \left[\left(\frac{r_1}{F}\right)^2 + (x_s \sigma)^2\right]} + \frac{r_1}{F} x_{\mu N}^2},$$

Pump capacity as a function of slipping of the drive motor

$$Q = Q_N \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_N} - H_{st}}{H_0 - H_N + RQ_N^2}}, \quad (10)$$

where  $s_N$  – nominal motor slip.

Useful power of the pump as a function slip expressed

$$N = \frac{\rho H Q}{102} \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_n} - H_{st}}{H_0 - H_n + RQ^2}}. \quad (11)$$

Similarly, mechanical power and torque resistance at the shaft of the pump unit as a slip function will be

$$N_{\text{mech}} = N_0 \frac{1-3s}{1-3s_N} + BQ_N \frac{1-2s}{1-2s_N} \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_h} - H_{st}}{H_0 - H_N + RQ^2}}, \quad (12)$$

$$M_R = M_0 \frac{1-2s}{1-2s_N} + (M_N - M_0) \frac{1-s}{1-s_N} Q_N \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_N} - H_{st}}{H_0 - H_N + RQ^2}}. \quad (13)$$

The ratio of (11) to (12) gives a pump efficiency in the motor slip drive function

$$\eta_N = \frac{\frac{\rho H Q}{102} \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_h} - H_{cm}}{H_0 - H_h + RQ^2}}}{N_0 \frac{1-3s}{1-3s_h} + (N_{\text{mech.h}} - N_0) \frac{1-2s}{1-2s_h} \sqrt{\frac{H_0 \frac{1-2s}{1-2s_h} - H_{cm}}{H_0 - H_h + RQ^2}}}. \quad (14)$$

The power factor of an induction motor when  $F=1$

$$\cos \varphi = \frac{\frac{r_2'}{s} x_{\mu}^2 + r_1 \left( \frac{r_2'^2}{s} + x_r^2 \right)}{\sqrt{\left[ \left( \frac{r_1 r_2'}{s} - x_s x_r \sigma \right) + \left( \frac{r_2'}{s} x_s + r_1 x_r \right)^2 \right] \left( \frac{r_2'^2}{s^2} + x_r^2 \right)}}. \quad (15)$$

Thus, the determined efficiency and  $\cos \varphi$  pump unit in the function of power supply voltage and a load on the shaft.

In the third chapter dissertation, “**The development of energy-saving regulated electric pumping units pumping pulp**” investigated regimes of pumping installations, determine the conditions of pumping installations as power saving mode, and developed a mathematical simulation model of frequency-controlled induction electric pump. Table 1 shows the fundamental relationships of the electromotive force  $E_1$ , the magnetic flux in the air gap  $\Psi$ , the stator current  $I_1$ , rotor current  $I_2$  magnetizing current and the electromagnetic torque  $M$  as a function of parameters of the equivalent circuit and the control parameters  $F$  and frequency-controlled induction squirrel-cage motor, powered by an autonomous voltage inverter (AVI) and autonomous current inverter (ACI). The algorithms of formation of information model GWI and its processing are offered, effective ways of presenting technological components - canals, rivers, infiltration basins and wells GWI are developed.

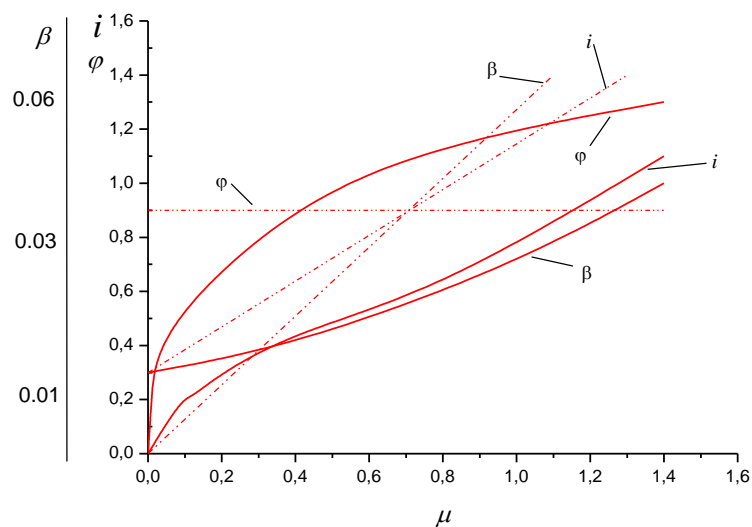
**Table 1**

**Main ratios of frequency - controlled induction squirrel-cage motor, powered by the AVI and ACI**

| Value  | From AVI  | From ACI  |
|--------|---|---|
| $E_1$  | $c_1 f_{1n} F \Psi$   | $FI_1 \cdot \left[ \frac{x_{\mu}^2}{r_2'^2 + \beta^2 \cdot x_{\mu}^2 + 2\beta^2 \cdot x_{\mu}^2 \cdot x_2' + x_2'^2 \cdot \beta^2} \right]^{\frac{1}{2}}$                           |
| $\Psi$ | $\frac{U_n \gamma}{c_1 f_{1n} F} \frac{x_{\mu} \sqrt{\left( \frac{r_2'}{\beta} \right)^2 + x_{rq}^2}}{D}$ | $\frac{1}{c_1 f_{1n}} \cdot I_1 \cdot \left[ \frac{x_{\mu}^2}{r_2'^2 + \beta^2 \cdot x_{\mu}^2 + 2\beta^2 \cdot x_{\mu}^2 \cdot x_2' + x_2'^2 \cdot \beta^2} \right]^{\frac{1}{2}}$ |
| $I_1$  | $\frac{U_n \gamma}{F} \frac{\sqrt{\left( \frac{r_2'}{\beta} \right)^2 + x_2'^2}}{D}$                      | -   |
| $I_2'$ | $U_n \frac{\gamma}{F} \frac{x_{\mu}}{D}$  | $I_1 \frac{\beta}{\left[ \frac{1}{x_{\mu}^2} r_2'^2 + \beta^2 + \frac{2}{x_{\mu}} \beta^2 x_2' + \frac{1}{x_{\mu}^2} x_2' \beta^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$                           |

|         |   |  |
|---------|---|--|
| $I_\mu$ | $U_n \frac{\gamma}{F} \sqrt{\left(\frac{r_2'}{\beta}\right)^2 + x_{rq}'^2}$                             | $I_1 F \left[ \frac{r_2'^2 + x_2'^2 \beta^2}{r_2'^2 + \beta^2 x_\mu^2 + 2\beta^2 x_\mu x_2' + x_2'^2 \beta^2} x_\mu^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ |
| $M$     | $M_{kf} \frac{2 \cdot (1 + \varepsilon)}{\frac{\beta_k}{\beta} + \frac{\beta}{\beta_k} + 2\varepsilon}$ | $\frac{K_1 x_s x_r \beta r_2' (1 - \sigma) I_1^2 - K_1 x_s x_r \beta r_2' I_1^2 \sigma}{r_2'^2 + x_r'^2 \beta^2}$                            |

Figure 5 shows the characteristics of the motor as the frequency regulation: - in minimum current mode; ----- constancy of flow. Current reduction is mainly due to increase in flux (voltage).



**Fig. 5. Motor performance for frequency regulation: - as a minimum current mode; -- constancy of flow.**

Analysis of these relationships shows that control of the current minimum is only suitable for small frequencies. With increasing frequency, the current regulation on the minimum current impractical due to an increasing of reactive power and voltage. Control in the mode of minimum loss provided significantly improve the power factor, reduce losses due to lower current consumption (different low excess current in comparison with the regime  $i_1 = \min$ ). However, in this mode, increases the total power  $s$  and stator voltage increases. The main disadvantage of the mode of minimum loss is the relative complexity of the implementation of this regime.

Studies have shown that the most efficient laws of the control pump motor with slurry pumping is to control the minimum stator current, which for given values of the motor rotation speed and torque which ensures minimal heat. However, control in the minimum current for some easier to implement as a part of the sensor, and a functional device.

Consider the equation of motion of the electrical drive, which for frequency start, as it is known, has the form

$$M = M_c + J\omega_{1N} \frac{dF}{dt} - J\omega_{1N} \frac{d\beta}{dt}. \quad (16)$$

Consider the relative values

$$\nu = \omega/\omega_N = F - \beta, \quad \mu = M/M_N, \quad \tau = t/T_M, \quad \mu_c = M_c/M_N,$$

where  $M_N$  - nominal torque;  $\omega, \omega_N$  - current and rated speed;  $T_M = J\omega_N s_N/M_N$  - electromechanical time constant of acceleration of the mass of electric drive.

Equation (24) to convert the relative values

$$\mu = \mu_c + \frac{d\nu}{d\tau}. \quad (17)$$

The change of angular velocity during starting is possible by various laws, and may be a function of many parameters (current, time, speed, etc.)

$$\frac{d\nu}{d\tau} = f(t, \tau, \nu, \dots). \quad (18)$$

Since the run will occur depending on whether the acceleration mode, we implement, we considered various acceleration modes. From equation (18) define the acceleration  $\zeta$

$$\zeta = \frac{\mu - \mu_c}{T_M(1 - \beta)}. \quad (18)$$

Also, we analyze the constant start  $\zeta_h$  and linear character  $\zeta_l$  acceleration change, ie,

$$\zeta_N = \frac{\mu_{KH} - \mu_c}{T_M(1 - s_{KPH})}, \quad (19)$$

$$\zeta_l = \zeta_h F, \quad (20)$$

where  $\mu_{KH}$  - nominal relative critical moment is equals to  $\mu_k$  at  $F=1$ ,  $s_{KPH}$  - rated critical slip.

Proceeding from the results obtained can be made, the following conclusions: are the best modes for control (19) and (21). However, the most efficient start is the start with an intensity determined by (21), wherein time of transient and low loss are minimum. Control in (20) provides a nominal stator current and control time is acceptable, however, at the beginning and end of the range of adjustment of the sharpening characteristics occur speed throws and current losses.

In the fourth chapter dissertation, “**Development and evaluation of specific indicators of energy production mining and metallurgical industry**” represented power consumption rates analysis, classification and methods of calculating the power consumption standards in the mining and metallurgical enterprises.

The calculation of the amount of electricity consumed and the norm of its consumption provided under a separate standard-setting items in accordance with the structure of the norm.

Enlargement, technological scheme of enrichment process is shown in Figure 6.

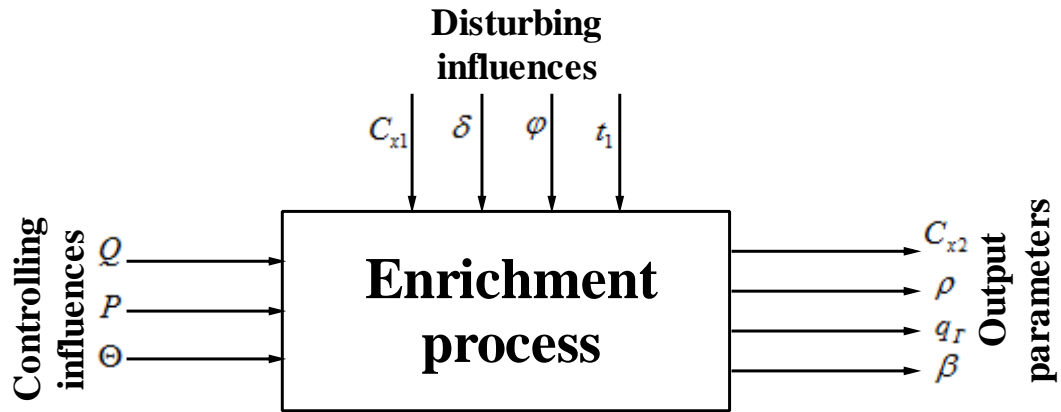


Fig. 6. Flowsheet enrichment process

According to Figure 6, control actions are: consumption of the ore in the enrichment process  $Q$ , the water consumption in the ore processing  $\Theta$  and power consumption of the ore processing  $P$ . In this process, water is supplied, depending on how much ore is supplied to each technological cycle of ore enrichment process in which the consumption of water - a slave parameter leading - ore consumption.

Disturbances: granulometric composition of the ore  $C_{x1}$  and the physical and mechanical properties of the ore  $\delta$ ; humidity  $\omega$  and temperature of the initial ore  $t_1$ .

Output parameters: granulometric composition of gridding ore slurry density  $\rho$  performance cycle for finished classes  $q_r$ ; extraction of valuable components in the concentrate  $\beta$ . Output of concentrate is determined by the ratio production rate  $Q_k$  concentrate to the original ore  $Q \frac{Q_k}{Q} < 1$ .

Definable objective function – this is the minimization of energy consumption  $P, Q, \Theta$  as a function  $C_{x2}, \rho, q_r, \beta$ , that is described as

$$J(Q, P(n), \Theta) = \int_0^T \Phi[t, C_{x2}(t), \rho(t), q_r(t), \beta(t)] dt \rightarrow \min. \quad (22)$$

Criterion  $J$  contains deviations of control actions from disturbance, while providing indirect account the range of changes of control and disturbances. Optimal control takes the form of a non-linear, depending on the current assessment of the state vector.

As can be seen from (22), the main function of the generated model forms a power consumption vector  $P$ , that is power consumption by enrichment processes for  $W_{ob}$  at time of working  $t$ , and also performance of the original ore  $Q$ . These figures characterize the specific power consumption for performance of ore processing on the original ore. Accordingly, for optimum control criterion take specific power consumption to performance of enrichment process on original ore.

Specific power consumption enrichment process can be represented as



$$N_{o\delta} = \frac{1}{1000} \frac{1}{kD_h^2 rn Q \eta \eta_{nep} \eta_H} \left( \begin{array}{l} 1000 t_{M2} K V \xi \sqrt{D} P_0 \psi k D_h^2 r n \eta \eta_H + \\ + 1000 k_{io} k_z P_y t_{gc} k D_h^2 r n \eta \eta_{nep} \eta_H + \\ + \rho g Q_H H t_H k D_h^2 r n \eta \eta_{nep} + \\ + 1000 t_{M1} C m \sqrt{D} k D_h^2 r n \eta_{nep} \eta_H + \\ + 1000 n^2 N_{\kappa-1} Q_\kappa k D_h^2 r \eta_{nep} \eta_H + \\ + 60000 t_\delta Q^2 \eta \eta_{nep} \eta_H \end{array} \right) \quad (23)$$

where  $k$  – coefficient taking into account the strength of the grinding material (for solid materials  $k=24$ );  $D_h$  – cone base diameter, m;  $r$  – swing oscillation cone in the lower ground plane, m;  $n$  – site tests frequency of the cone, 1/c;  $t_\delta$  – operation of the gridding in hours;  $Q$  – performance enrichment process on original ore, tonnes,  $Q_{i,\kappa}$  - the amount of ore supplied to the  $i$  conveyor (feeder),  $mH$ ;  $n$  - number of conveyors (feeder),  $K$  – slurry instability coefficient,  $K=1,05$ ;  $V$  - the useful volume of the mill;  $\xi$  – loose gravity of ore;  $\xi = 2,2 \text{ m/m}^3$ ;  $P_0$  - specific power depends on the degree of filling;  $\psi$  - relative rotating speed;  $\eta_{tran}$  - transmission efficiency;  $t_{M1}$  - 1st stage of the operating time mills, hours,  $m_3$  – total weight of the mill drum load:  $m_3 = 1,1 m_T$  - for metal grinding bodies;  $m_T$  - the mass of the grinding bodies;  $C$  – coefficient determined depending on the degree of filling of the mill drum,  $C = (8,8 \cdot 10^{-3} \div 5,2 \cdot 10^{-3})$ ;  $\eta$  - electric drive efficiency;  $t_{M2}$  - 2nd stage of operating time of mill, hours, where  $\rho$  – slurry density,  $kg/m^3$ ;  $Q_H$  - delivery of pump,  $m^3/s$ ;  $g$  – acceleration of gravity,  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ;  $H$  - pump head, m;  $\eta_p$  - pump efficiency;  $tp$  – operation time of pump, hour.  $P_y$  - the total installed capacity of group of consumers;  $k_{io}$  – use of the equipment in time;  $k_z$  – load of equipment for power, kW;  $t_{gc}$  - the number of hours of work installations, hours.

The obtained model of the specific power consumption for ore process allows to investigate power costs for operations and formulate the objective function for optimal unit electricity costs.

Considering that control strategy of the technological process of ore enrichment aimed at reducing specific energy consumption, increase in ore processing while reducing the power consumption, presenting the more demanding approach to the determination of the specific power consumption within the parameters that determine the quality characteristics of modes of enrichment process.

We propose an approach to optimize the specific energy consumption in the enrichment processing, based on the accounting number of optimization criteria, in

particular, take into account the energy consumption of each electrical equipment technological cycle and its performance, on the criterion of minimization

$$N_{o\bar{o}}\left(\bar{x}\right) \Rightarrow \min, W_{o\bar{o}}\left(\bar{x}\right) \Rightarrow \min, Q\left(\bar{x}\right) \Rightarrow \max,$$

$$D = \left\{ \begin{array}{l} x \in W_{o\bar{o}} : Q; \\ x_j^- \leq x_j \leq x_j^+, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{array} \right\} \quad (24)$$

where  $W_{o\bar{o}}$  - power consumption in the enrichment process;  $x_j^-$ ,  $x_j^+$  - lower and upper limits for a  $j$  controlled parameter.

The obtained model of the specific power consumption for enrichment process allows to investigate energy costs for operations and formulate the objective function for optimal unit electricity costs.

In the fifth chapter dissertation “**Development of electricity consumption forecasting models enrichment processes of mining and metallurgical enterprises**” are presented on the basis of experimental design theory, the mathematical model of consumption of power enrichment process.

Construction of mathematical model of technological process, depending on the task can pursue the following objectives: to minimize energy consumption, improve reliability indices, etc.; increase the reliability and control performance, increase the efficiency of quality control, to create conditions controlling the process, analyze norms of electricity, classification and methods of calculation of electricity consumption for the mining and metallurgical enterprises.

As a result of regression analysis obtained mathematical model of the power consumption of enrichment processes in the basic parameters of the function which the model coefficients are significant and reliable

$$W = 0,14 - 0,35 \cdot p + 0,56 \cdot m + 0,21 \cdot k_{io} +$$

$$+ 0,15 \cdot E + 0,05 \cdot v + 0,03 \cdot A - 0,06 \cdot k_z, \quad (25)$$

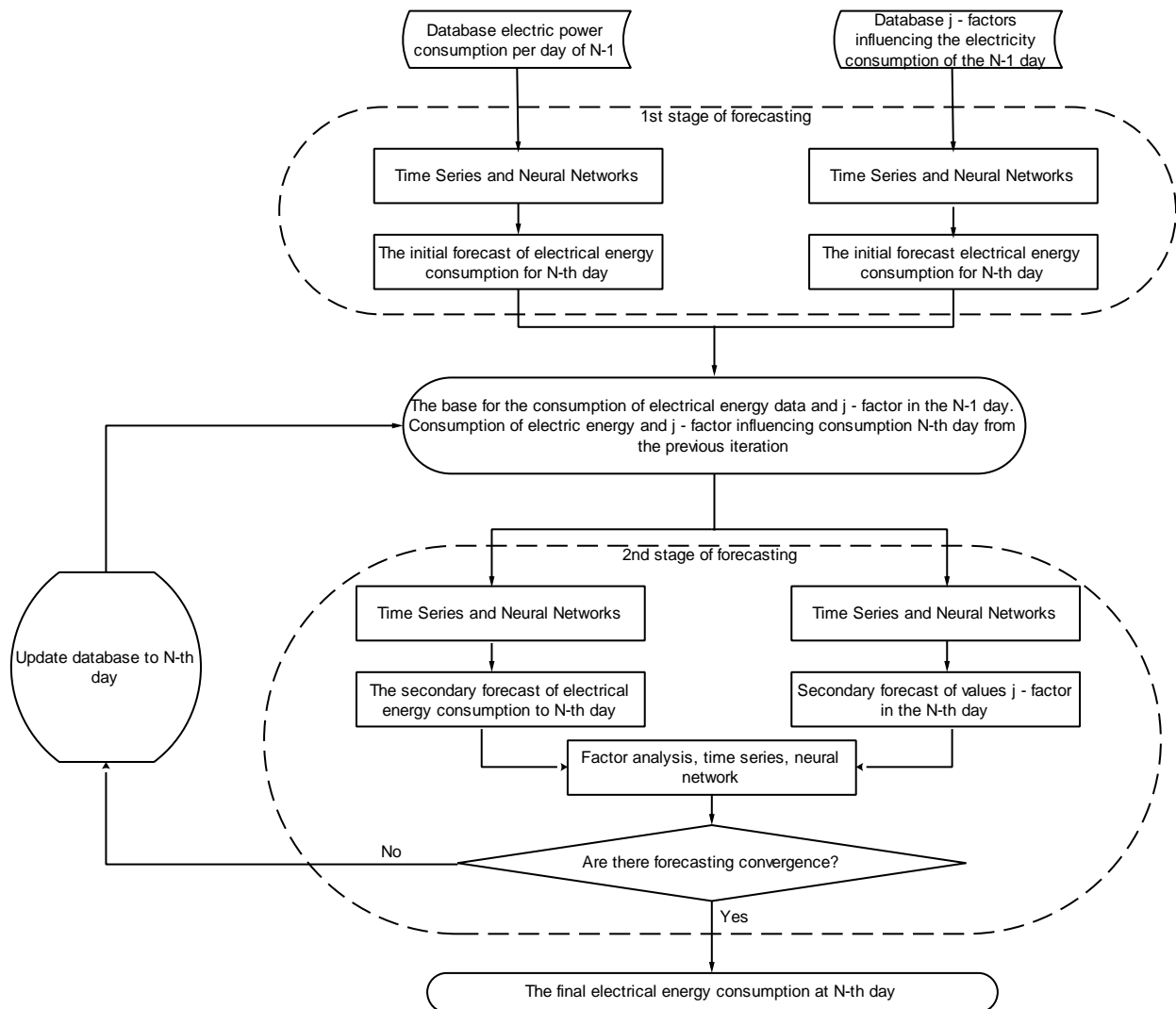
where factors:  $k_{io}$  – use of the equipment in time;  $k_z$  – load of equipment for power;  $\lambda$  – the number of processed ore,  $m$ ;  $E$  – parameters of the electrical network;  $v$  - slurry flow speed  $m/s$ ;  $\rho$  - slurry density,  $kg/m^3$ ;  $\mu$  - ore hardness,  $Pa$ .

Significant place in management of electric power industry takes forecasting of electric loads, which is important both for the producer and for power consumers.

Forecasting electricity consumption of a rather difficult task, as the ranks of the electrical loads is complex and multiple levels of seasonality, as well as there are many important exogenous variables.

Figure 7 shows the initialization of the construction of an integrated model for forecasting Data Mining technology. This two-level forecasting system provides in-depth analysis on the interaction between the power consumption and the factors that have an impact on the power consumption, which allows displaying a more accurate prediction of the result.

In the first stage, the initial data (the electric energy consumption and factors affecting consumption of electric energy) is input and processed separately loaded data in N-1 day. The second stage is an iterative process, which takes into account the interdependence of electricity, and factors affecting consumption of electricity by inserting initial data on day N, and initial forecast on N day. That is, the input modules of the second stage electric power consumption prediction include database with day N-1 and initial predictions for N-th day. Thus, electric power consumption per day of N-th iteration process is provided and extends up until there is no significant difference between two sequential projections.



**Fig. 7. Initialization of constructing an integrated model prediction by the technology Data Mining**

Thus, as shown by numerical experiments, synthesized predictive model based on Data Mining technology not only provides an accurate forecast in one-step mode for the day ahead, but can also be successfully used for the short-term forecast for the period up to 20-30 days. To do this, resulting power consumption forecast is used as the input parameters of the model to predict next step.

## CONCLUSION

Based on conducted research for his doctoral dissertation on the topic "The development of energy-saving technologies in the processing of mineral resources (for example of the mining and metallurgical industry)", presented the following conclusions:

1. Good governance modes of electromechanical systems and installations of mining and metallurgical industry can improve the energy efficiency of ore processing technology.

2. Characteristics of the process of ore enrichment process as a managed object identifies the basic requirements of process ore beneficiation process for the electric drive of its mechanisms.

3. The mathematical model of wear parts in the pump unit functions slurry flow rate, slurry density, hardness, strength and angle of attack.

4. Analyze the energy and dynamic performance of variable frequency induction motor pump unit pumping the pulp at various frequency control laws, show that the most rational law of frequency management is the management of the minimum stator current, which for given values of the engine rotation speed and torque ensures minimal heat .

5. The mathematical model of the system, "asynchronous motor - pump pumping pulp", taking into account the wear of the pump unit, which allows to determine the energy installation settings for frequency regulation and without capacity control.

6. The analytical expressions for determining the consumption of electric energy mill installation at various degrees of load balls for mills second grinding step.

7. The mathematical description, allowing making a quantitative assessment of the consumption of electric energy enrichment process, including the extent of drum mill balls download, taking into account the use of the equipment in time, equipment utilization, the amount of processed ore, the parameters of the electrical network, as well as the hardness of the ore.

8. We present the structure of the process of processing, taking into account control, disturbing and output of process parameters. It was determined that the target function of the control process of enrichment is to minimize energy costs.

9. Installed generalized multifactor model of electricity concentrating process, which assessed the specific energy consumption depending on the hardness of ore and load equipment.

10. We give energy patterns of each cycle process ore beneficiation process, determined the optimal control criterion enrichment process. An approach to the optimization of specific energy consumption in the processing process. The problem of finding the optimal proportion of electricity consumption in the processing process.

11. The structure of electrical energy consumption structure enrichment process. A comprehensive valuation methodology, modeling and power consumption parameters forecasting process oxide ore processing volumes for energy saving assessments of mining and metallurgical industry.

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

**I бўлим; (I часть; I part)**

1. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Повышение эффективности работы грунтовых насосов // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». 2003. - №1. - С. 32-38 (05.00.00; №5).

2. Камалов Т.С. Муминов К., Ишназаров О.Х. Коэффициент передачи функционального преобразователя системы асинхронного электропривода с частотным управлением // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2003. - №4. - С. 32-36 (05.00.00; №5).

3. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. К частотному пуску насосных агрегатов откачки пульпы // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2004. - №3. - С. 40-44 (05.00.00; №5).

4. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Динамические характеристики частотно-управляемого асинхронного двигателя насоса откачки пульпы // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2004. - №4. - С. 23-28 (05.00.00; №5).

5. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Применение теории нечетких множеств в управлении электроприводами // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2005. - №2. - С. 31-34 (05.00.00; №5).

6. Ишназаров О.Х. Имитационная модель частотно-регулируемых электроприводов пульпонасосов горнорудной промышленности // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2009. - №6. - С. 58-65 (05.00.00; №5).

7. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х., Тоиров О.З. Математическая модель и структурная схема частотно-регулируемой конвейерной установки // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2010. - №5. С. 34-39 (05.00.00; №5).

8. Камалов Т.С., Ким Д.П., Коробкин Ю.С., Ишназаров О.Х. Повышение эффективности использования электроэнергии меднообогатительной фабрики ОАО «Алмалыкский ГМК // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2011. - №5. - С. 37-43. (05.00.00; №5).

9. Камалов Т.С., Ким Д.П., Коробкин Ю.С., Ишназаров О.Х. Основные пути снижения энергозатрат на Медно-обогатительной фабрике ОАО «Алмалыкский ГМК» // Горный журнал. – Москва, 2012 г. - №8. - С. 131-134 (05.00.00; №28).

10. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Нормирование расхода электрической энергии на обогатительные процессы горно-металлургической промышленности // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики» – Ташкент, 2014. - №6. - С. 34-39 (05.00.00; №5).

11. Isakov A.J., Ishnazarov O.Kh. Energy Services and Rationing of Energy Resources Are the Basis of Energy Saving of Enterprises // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Jurnal), - India, 2015. - Volume 5, - Issue 3. – PP.510-513. (05.00.00; №14).

12. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Прогнозирование потребления электроэнергии промышленных предприятий на основе технологии DATA MINING // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2015. - №1-2. - С. 79-84 (05.00.00; №5).

13. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х., Муминов К. Математическое моделирование электропривода турбомеханизмов горно-металлургической промышленности // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2015. - №4. - С. 89-96 (05.00.00; №21).

14. Ишназаров О.Х., Нормуминов А. Многоступенчатый анализ потребления электроэнергии промышленными предприятиями // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2015. - №4. - С. 120-126 (05.00.00; №21).

15. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Моделирование динамических процессов насосной установки откачки пульпы // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2016. - №1. - С. 55-63 (05.00.00; №5).

16. Ишназаров О.Х. Модель потребления электроэнергии обогатительными процессами горно-металлургической промышленности // «Научно-технический журнал ФерПИИ». - Фергана, 2016. - №2. - С. 104 – 109 (05.00.00; №20).

17. Khushiev S., Ishnazarov O. Comprehensive Energy Saving Strategies in Industrial: Technical Potentials For Developing Countries // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India, 2016. - Volume 3, - Issue 5. – PP. 2155 – 2162 (05.00.00; №08).

## **II бўлим (II часть; II part)**

18. Khushiev S., Ishnazarov O. A Brief Review on Different Applications of Variable Speed Drive (VSD) in Electrical Motor Energy Savings and Energy Use // International Journal of Engineering Innovation & Research, - India, 2015. - Volume 4, - Issue 2. - PP. 294-299. (Directory of Open Access Journals. Impact Factor -3.121).

19. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Аналитическое исследование электропривода турбомеханизмов горно-металлургической промышленности // Электротехнические и компьютерные системы. – Украина, 2015. - № 17 (93). – С. 29 – 34.

20. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. О модели степени износа насосных агрегатов горно-металлургической промышленности // «Молодой учёный». № 7 (87). - Россия, Апрель, 2015 г. С. 144 - 148.

21. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Энергосбережение в электроприводах насосов откачки пульпы // Конференция молодых ученых АН РУз., посвященная 60 – летию АН РУз., Ташкент, 2003 г. С. 47-49.

22. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х., Муминов К. Влияние параметров насоса, напорного трубопровода и питающей сети на энергетическую эффективность электропривода насоса // Сборник статей Республиканской научно-практической конференции. Ташкент, 2003 г. С. 100-105.

23. Ишназаров О.Х. Энергосбережение в электроприводах насосов откачки пульпы // Конференция молодых ученых АН РУз., посвященная 60 – летию АН РУз., Ташкент, 2003 г. С. 47-49.

24. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Оптимизация режимов работы насосных установок откачки пульпы // Материалы Республиканской научной конференции молодых ученых – математиков, посвященной 125 – летию академика В.И. Романовского. Ташкент, 2004 г. С. 116-118.

25. Ишназаров О.Х. К регулируемому электроприводу насосов откачки пульпы // Материалы традиционной конференции молодых ученых АН РУз. Ташкент, 2004. С. 28-29.

26. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Регулируемый электропривод как средство энергосбережения в системах откачки пульпы // Республиканский научно-технический семинар "Тенденции развития теоретической теплотехники. Создание современных средств и технологий в теплоэнергетике" с участием зарубежных ученых: Сборник научных статей. Ташкент, 2004. С. 83-85.

27. Камалов Т.С., Муминов К., Ишназаров О. Имитационная модель технологического процесса откачки пульпы // Сборник научных статей Международной конференции «Инновация 2005». - Ташкент, 2005 г. С. 159-160.

28. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х., Холмуродов М.Б. Энергосберегающие режимы работы турбомеханизмов горно-металлургической промышленности // Сборник научных статей Международной конференции «Инновация 2010». - Ташкент, 2010 г. С. 118-120.

29. Ишназаров О.Х., Алланазарова С.Х. Основные направления создания энергосберегающих систем турбомеханизмов // Международная научно - техническая конференция «Современные техника и технологии горно – металлургической отрасли и пути их развития». – Навоий, 12-14 мая, 2010. – С. 125-158.

30. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х., Холмуродов М.Б. Нечеткое моделирование частотно-регулируемых электроприводов насосных установок // Международная научно - техническая конференция «Современные техника и технологии горно – металлургической отрасли и пути их развития». – Навоий, 12-14 мая, 2010.

31. Федулов В.И., Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Об электронных ключах // Труды 18-й Международной научно-технической конференции «Современное телевидение». Москва, март, 2010. – С. 264-266.

32. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х., Холмуродов М.Б. Разработка энерго- и ресурсосберегающих режимов работы процесса обогащения полезных ископаемых // Мустақиллик йилларида илм-фан тараққиёти: муҳим фундаментал натижалар, амалий ютуқлар ва инновациялар: Тез.докл. Респ. научно-практич. конф. – Ташкент, 2011. С. 51-52.

33. Ishnazarov O. Kh., Szpitko Y. Energy saving in transportation // the VIII International scientific - technical conference «Machine drivers on transportation». Poland, Ustron, 2011 y.

34. Ishnazarov O. Kh. Electric drive & automation of the pump system of the mining industry // Interregional Engineering Conference in Technology and Education - Global Benchmarking and Monitoring. Krakow, Poland, 2011. p. 480-485

35. Ishnazarov O. Kh. Energy saving technologies of the mining industry // Interregional Engineering Conference in Technology and Education - Global Benchmarking and Monitoring. Krakow, Poland, 2011. p. 485-492

36. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Повышение эффективности режимов работы турбомеханизмов горнорудной промышленности // Материалы Республиканской научно-технической конференции «Перспективы развития техники и технологии и достижения горно-металлургической отрасли за годы независимости Республики Узбекистан», посвященной 20-летию независимости Республики Узбекистан, г. Навоий 12-14 мая 2011 г.

37. Ишназаров О.Х., Холмуродов М.Б. Энергосберегающий электропривод насосных установок горнорудной промышленности // Республиканская научно-практическая конференция на тему «Проблемы развития малого бизнеса, основанные на достижениях науки и инновационной технологии, во взгляде молодёжи». Ташкент, 2011 г. С. 202-203.

38. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Энергосберегающее управление турбомеханизмами // Семнадцатая всероссийская научно-техническая конференция «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность». – Томск, 2011. С. 34-36.

39. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Нормирование и экономия энергоресурсов в горнорудной промышленности // Республиканская научно-практическая конференция на тему «Проблемы развития малого бизнеса, основанные на достижениях науки и инновационной технологии, во взгляде молодёжи». Ташкент, 2011 г. С. 191-192.

40. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х., Холмуродов М.Б. Разработка энерго- и ресурсосберегающих режимов работы процесса обогащения полезных ископаемых // Мустақиллик йилларида илм-фан тараққиёти: муҳим фундаментал натижалар, амалий ютуқлар ва инновациялар: Тез.докл. Респ. научно-практич. конф. – Ташкент, 2011. С. 51-52.

41. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Нормирование топливно-энергоресурсов как инструмент энергосбережения горно-металлургических предприятий // Материалы Республиканской научно-технической конференции «Перспективы развития техники и технологии и достижения



горно-металлургической отрасли за годы независимости Республики Узбекистан», посвященной 20-летию независимости Республики Узбекистан. г. Навоий, 12-14 мая 2011 г.

42. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Энергетическое обследование электроприводов турбомеханизмов горно-металлургической промышленности. Энергетическое обследование как первый этап реализации концепции энергосбережения // Международная молодёжная конференция. Томск, 3 – 4 декабря 2012 г. С. 67-68.

43. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Энерго- и ресурсосбережение обогатительных процессов горно-металлургической промышленности // “Замонавий илғор ва инновацион технологиялар” мавзусида Республика Илмий – амалий анжумани мақолалар тўплами. Бухоро, 2012й. 238-239 б.

44. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Оптимизация энергопотребления обогатительными процессами горно-металлургической промышленности. «Энергетика: эффективность, надёжность, безопасность». Материалы трудов XIX Всероссийской Научно-технической конференции. Томск, 4-6 декабря 2013 г. С. 385 – 386.

45. Камалов Т.С. Ишназаров О.Х. Вопросы энергосбережения предприятий горно-металлургической отрасли / Республика ёш олимлар Илмий-амалий конференцияси маъруза тезислари тўплами. Тошкент, 2014 йил 18 декабрь, 34-35 б.

46. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Нормирование электропотребления предприятий горно-металлургической отрасли // Республика ёш олимлар Илмий-амалий конференцияси маъруза тезислари тўплами. Тошкент, 2014 йил 18 декабрь, 35-36 б.

47. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х. Рациональный закон частотного регулирования турбомеханизмов // Замонавий ишлаб чиқаришни энергия таъминоти илмий муаммолари. Республика илмий – амалий анжуманининг материаллари тўплами, Бухоро, 2014 йил, 26-28 ноябрь, 216-216 б.

48. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х., Ташпулатов М.А. Математическое моделирование режимов работы насосной установки откачки пульпы горно-металлургической промышленности // Материалы XV Международной научно-технической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии». Воронеж 12-13 февраля 2015г. С.84-88.

49. Ишназаров О.Х., Хушиев С.М., Каракулов Ш. Ю. Энергиядан самарали фойдаланиш масалалари // Международная научно-практическая конференция «Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в отраслях агропромышленного комплекса», 25-26 мая 2015 года, г. Ташкент.

50. Ишназаров О.Х., Толипов Ж.Н. Вопросы оптимизации энергопотребления предприятий // Международная научно-практическая конференция «Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в отраслях агропромышленного комплекса», 25-26 мая 2015 года, г. Ташкент.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» илмий журнал таҳририятида таҳрирдан ўтказилди (12.09.2016 йил).

Босишга рухсат этилди: 28.09.2016 йил  
Бичими 60x45 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>, «Times New Roman»  
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табағи 5. Адади: 100. Буюртма: № \_\_\_\_\_.

Ўзбекистон Республикаси ИИВ Академияси,  
100197, Тошкент, Интизор кўчаси, 68

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ» ДУК