

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА
«ИЛМІЙ – ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МАСЪУЛИЯТИ ЧЕКЛАНГАН
ЖАМИЯТ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМІЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМІЙ КЕНГАШ**

**«ИЛМІЙ – ТЕХНИКА МАРКАЗИ»
МАСЪУЛИЯТИ ЧЕКЛАНГАН ЖАМИЯТ**

ТОИРОВ ОЛИМЖОН ЗУВУРОВИЧ

**ТОҒ-МЕТАЛЛУРГИЯ САНОАТИДА ТОҒ-КОН МАССАСИНИ
ҚАЗИШ ВА РУДА ТАЙЁРЛАШ ЖАРАЁНИНИНГ ЭНЕРГИЯ
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ**

05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари

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

Тошкент – 2018

Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации

Content of the Doctoral (DSc) Dissertation Abstract

Тоиров Олимжон Зувурович

Тоғ-металлургия саноатида тоғ-кон массасини қазिश ва руда
тайёрлаш жараёнининг энергия самарадорлигини ошириш 3

Тоиров Олимжон Зувурович

Повышение энергоэффективности процесса экскавации горной массы и
рудоподготовки в горно-металлургической промышленности..... 29

Toirov Olimjon Zuvurovich

Improving the energy efficiency of the process of excavation of rock mass
and ore preparation in the mining and metallurgical industry 55

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of pulished works 59

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА
«ИЛМІЙ – ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МАСЪУЛИЯТИ ЧЕКЛАНГАН
ЖАМИЯТ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМІЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМІЙ КЕНГАШ**

**«ИЛМІЙ – ТЕХНИКА МАРКАЗИ»
МАСЪУЛИЯТИ ЧЕКЛАНГАН ЖАМИЯТ**

ТОИРОВ ОЛИМЖОН ЗУВУРОВИЧ

**ТОҒ-МЕТАЛЛУРГИЯ САНОАТИДА ТОҒ-КОН МАССАСИНИ
ҚАЗИШ ВА РУДА ТАЙЁРЛАШ ЖАРАЁНИНИНГ ЭНЕРГИЯ
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ**

05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари

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

Техника фанлари бўйича фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.4.DSc/T125 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация «Илмий-техника маркази» маъсуляти чекланган жамиятида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз тилида (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот-таълим порталида (www.zionet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи: Камалов Толяган Сиражиддинович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: Хашимов Арифжон Адилевич
техника фанлари доктори, профессор

Wojciech Nowak (Польша)
техника фанлари доктори, профессор

Арипов Назиржон Мукарамович
техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот: Навоий давлат кончилик институти

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва «Илмий-техника маркази» маъсуляти чекланган жамияти ҳузуридаги DSc.27.06.2017.T.03.03 рақамли илмий кенгашнинг 2018 йил «26» 12 соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2-уй). Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (68 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2-уй). Тел.: (99871) 246-03-41).

Диссертация автореферати 2018 йил «14» 12 да тарқатилди.
(2018 йил «14» 12 даги 13 рақамли реестр баённомаси).



К.Р.Аллаев
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
т.ф.д., профессор, академик

О.Х. Ишнараров
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби,
т.ф.д., к.и.х.

М.И. Ибадуллаев
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қошидаги
илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

КИРИШ (Докторлик диссертацияси (DSc) аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда ишлаб чиқаришда технологик машина ва механизмлар, электромеханик қурилмаларнинг динамик иш режимларини замонавий бошқариш қурилмалари орқали яхшилаш, электромеханик тизим элементларини такомиллаштириш, бошқариш усулларни қўллаш орқали тоғ-металларугия саноатида энергия самарадор технологиялар яратилмоқда. «Тоғ-металлургия корхоналарида асосий энергия истеъмоли рудани қазиб олиш ва тайёрлаш жараёнига тўғри келади, ҳамда умумий энергия истеъмоли хажмининг 38% дан ортиғини ташкил этмоқда, қолаверса бу истеъмол жаҳондаги 10% дан кам бўлмаган энергия ҳаражатларига тўғри келмоқда»¹. Шу билан бирга конвейер қурилмаларини иш унумдорлигини ошириш, экскаваторлар электр юритмаларининг бошқариш тизимларини такомиллаштириш орқали энергия сарфини камайтириш ишлари олиб борилмоқда ва ўз навбатида мазкур соҳанинг ривожланишига алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда кон машина ва механизмлари электромеханик ускуналарнинг иш режимларини яхшилаш орқали ресурстежамкорликни ошириш ва оптималлаштириш, уларда ишланмалар ва энерготежамкор технологияларни жорий этиш, рудани қазиб олиш ва рудани тайёрлаш жараёнида энергетик самарадорликни ошириш учун электромеханик комплексларни мукамаллаштириш ва ростланувчи электр юритмаларни бошқариш схемаларини ишлаб чиқиш масалаларига қаратилган тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу соҳада, жумладан тоғ массасини қазиб олиш ва руда тайёрлаш жараёнининг энергия самарадорлигини аниқлаш методикасини таъсир этувчи асосий омилларни ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқиш, частотавий ростланувчи электр юритмаларни бошқариш қонуниятларини, математик моделлари ва структуравий схемаларини ишлаб чиқиш ва механизмларда қўллаш орқали уларнинг динамик режимларини яхшилаш, янги энергия ва ресурстежамкор усуллар ва технологиялар яратиш муҳим тадқиқотлардан бири бўлиб ҳисобланади.

Республикамизда тоғ-кон саноати корхоналарида рудани қазиб олиш ва руда тайёрлаш жараёнида энергия сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришни такомиллаштиришнинг устувор йўналишларини аниқлаш, рудани қазиб олиш жараёнида энергия самарадорлигини ошириш, карьер экскаваторлари электр юритмаларини бошқарув тизимини ишлаб чиқиш, юқори техник иқтисодий кўрсаткичларни таъминлаш учун энергияни тежовчи ускуналар ва технологияларни жорий этиш бўйича бир қатор чора-тадбирларни жорий этишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида устувор вазифалар сифатида, жумладан «... иқтисодиётнинг энергия ва ресурслар сиғимларини қисқартириш, иқтисодиёт тармоқларида энергия сарфини камайтиришнинг мақсадли параметрларига мувофиқ амалга

¹<https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sovremennogo-sostoyaniya-i-perspektiv-razvitiya-drobilno-razmolnogo-oborudovaniya>

ошириладиган энергия тежовчи технологияларни ишлаб чиқаришга кенг жорий этиш ...»² вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан рудани казиб олиш ва тайёрлаш жараёнининг энергетик самарадорлигини аниқлаш, ростланувчи электр юритмалар асосида кончилик машиналари ва механизмларининг энергия тежамкор иш режимларини ишлаб чиқиш ва жорий этиш, шунингдек кончилик машиналарининг технологик иш режимларини ва энергия ресурсларидан оқилона фойдаланишни ҳисобга олган ҳолда бошқариш тизимларини қуриш учун илмий асосланган ечимларни ишлаб чиқиш долзарб масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сон «2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳаларда энергия самарадорлигини ошириш бўйича чора-тадбирлар дастури тўғрисида»ги, 2017 йил 15 августдаги ПҚ-3211-сон «Олмалиқ КМК АЖни янада ривожлантириш бўйича кўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги, 2017 йил 23 августдаги ПҚ-3238-сон «Замонавий энергия самарадор ва энергия тежамкор технологияларни янада жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида» ва Вазирлар Маҳкамасининг 2018 йил 12 январдаги 22-сон «Электр энергияси ва табиий газдан фойдаланиш тартибини такомиллаштиришга доир кўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги Қарорларини ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги: Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик» устивор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи³.

Ростланувчи электр юритмаларнинг замонавий элементлар базаси асосида тоғ массасини казиб олиш ва рудани тайёрлаш жараёнининг энергия самарадорлигини оширишга қаратилган, технологик ускуналарнинг энергия ва ресурстежамкор режимларини жорий этишга йўналтирилган илмий тадқиқотлар жаҳоннинг кўплаб етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан, Massachusetts Institute of Technology, University of Texas at Austin, (АҚШ), University of Oxford, Imperial College London (Англия), Curtin University (Австралия), McGill University (Канада), Technische Universität Bergakademie Freiberg (Германия), Aalborg University (Дания), «Горний» Миллий маданий-хомашё университети, Москва энергетика институти (Россия), AGH University of Science and Technology (Польша), University of Witwatersrand (Шарқий Африка Республикаси), University of Technology and Mines (Ҳиндистон), Kyushu University (Япония), «Илмий-техника маркази»

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

³Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи <https://www.twirpx.com>, <http://www.sci-hab.la>, www.researchgate.net, <http://elibrary.ru>, <http://cyberleninka.ru>, www.disserscat.com, <https://uc-ieee.org> ва бошқа манбалар асосида бажарилган.

МЧЖ, Тошкент давлат техника университети (Ўзбекистон) томонидан кенг қамровли илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Рудани қазиб олиш жараёнининг энергия самарадорлигини ошириш, тоғ-металлургия саноатида энергия ва ресурсларни тежаш салоҳиятини аниқлаш, дунё миқёсида ускуналарни бошқариш усуллари ёрдамида энергияни тежовчи технологияларни яратиш бўйича тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан қуйидаги илмий натижалар олинган: тоғ-кон саноатида механизмларнинг частотавий бошқарилувчи электр юритмаларини бошқариш назарияси ривожлантирилган (Massachusetts Institute of Technology, АҚШ); умумсаноат механизмларининг энергияни тежайдиган электр юритмалари учун ноаниқ мантиқий ёндашув ишлаб чиқилган (McGill University Канада); технологик жараённи ростланувчи электр юритма воситалари билан оптимал бошқариш ишлаб чиқилган (Aalborg University, Дания); бойитиш жараёнида кон машиналарининг энерготежамкор режимлари ишлаб чиқилган (AGH University of Science and Technology, Польша); қазиб жараёнини автоматлаштириш учун амалий дастурлар ва кон экскаваторининг ишлашини комплекс баҳолаш учун моделлар ва алгоритмлар ишлаб чиқилган («Горный» Минерал-хом ашё миллий университети, Россия).

Дунёда тоғ-металлургия саноатида технологик жараёнларнинг энергетик самарадорлигини ошириш ва рудани қазиб олиш жараёнларини энергия ва ресурстежамкорликни ишлаб чиқиш бўйича қатор, жумладан қуйидаги устувор йўналишларда: генетик алгоритмлар асосида технологик жараёнларни бошқариш ва оптималлаштиришни ишлаб чиқиш, тоғ машиналарининг частотавий бошқарилувчи электр юритмалари воситалари билан энергия тежамкорлик масалаларини ечиш; рудани тайёрлаш технологиясининг энергия самарадорлигига таъсир этувчи бошқариш омилларини аниқлаш; экскаваторларни эксплуатация қилиш самарадорлигини оширишни комплекс баҳолаш методикасини ишлаб чиқиш борасида тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Бугунги кунга қадар тоғ-металлургия саноатида рудани тайёрлашда ва минерал-хом ашё ресурсларини қайта ишлашда энерготежамкор технологиялар, энергия самарадор тоғ машиналарининг частотавий бошқарилувчи электр юритмаларини ишлаб чиқиш, конда ишлатиладиган машиналарининг ростланувчи электр юритма воситалари орқали энергия тежамкорлик масалаларини ечишда қуйидаги олимлар, жумладан Ильинский Н.Ф., Москаленко В.В., Андреев В.П., Браславский И.Я., Шрейнер Р.Т., Фираго Б.И., Реутов А.А., Ключев В.И., Дмитриев В.В., Белов М.П., Бабокин Г.И., Антоняк Е., Козярук А.Е., Auinger Herbert, Bose Vimal, Heinrich Walter, Norbert Schaefer, Хамудханов М.З., Камалов Т.С., Хашимов А.А., Ишназаров О.Х. ва бошқаларнинг ишларида кўриб чиқилган. Тоғ-металлургия саноатида тоғ жинсларини қазиб олиш ва рудани тайёрлаш жараёнида электромеханик ускуналарининг энергия самарадорлигини ошириш бўйича назарий ва амалий вазифаларни ўрганиш бир қатор олимлар ва амалиётчилар, жумладан Микитченко А.Я., Сафошин В.В., Греков Э.Л., Малафеев С.И., Галкин В.И., Шишкин А.А., Кожубаев Ю.Н., Kulinowski P, Wojciech Nowak, Keyhani A., King Myke, Millar D ва

бошқаларнинг ишларида кўриб чиқилган. Саноатда энергия ресурсларидан самарали фойдаланиш ва электр энергиясини истеъмол қилиш усуллари оптималлаштиришга бағишланган масалалар бўйича Ўзбекистон олимлари орасида Насиров Т.Х., Аллаев К.Р., Ситдиқов Р.А., Хошимов Ф.А., Алимходжаев К.Т., Арипов Н.М., Бобожанов М.К. ва бошқалар шуғилланишган.

Аммо сезиларли муваффақиятларга қарамай рудани тайёрлашда электромеханик ускуналарнинг энергия самарадорлигини ошириш бўйича, жумладан тоғ-кон саноатида тоғ массасини қазиб ва рудани тайёрлаш жараёнида электромеханик ускуналарнинг энергия самарадорлигини ошириш билан бирга энергия сарфи ва энергия тежаш салоҳиятини аниқлаш билан боғлиқ масалалар етарли даражада ўрганилмаган.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти «Илмий техника маркази» маъсулияти чекланган жамиятнинг илмий-тадқиқот ишлари режаларининг Ф2-ФА-О-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), АЗ-ФА-Ф106 «Саноатда (тоғ-металлургия) ва қишлоқ хўжалигида (машинали суғориш тизимларининг насос станциялари) энерго- ва ресурстежамкор технологияларни, ишлаб чиқаришда технологик жараёнларнинг рационал режимларини таъминловчи типик механизмларга адаптациялашган частотавий-ростланувчи электр юритмалар асосида ишлаб чиқиш» (2012-2014), ФА-АЗ-90053 «Иқтисодиёт соҳаларининг энергияни кўп истеъмол қиладиган объектларида энергия сарфининг энерго-ресурс тежамкор режимларини ишлаб чиқиш» (2015-2017) ва БВ-Атех-2018-27 ««Олмалик КМК» АЖ бўлинмаларининг энергосиғимли объектларида кучли энергетик ускуналарнинг энергия- ресурстежамкорлик мониторинги: Мисни эритиш заводи ва бошқа бўлинмаларида ишлаб чиқаришни истиқболли ривожлантириш дастури бўйича янгидан ишга тушарилаётган кучли энергетика ускуналарнинг мониторинги» (2018-2020) лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади хом ашёларни ташиш йўли билан руда тайёрлаш агрегатлари орасида боғловчи звено сифатидаги конвейер қурилмаларининг энергия ҳажмини, ҳамда энергия-ресурстежамкорлик потенциалини аниқлаш, тоғ массасини қазиб ва руда тайёрлаш жараёнининг энергия самарадорлигини оширишдан иборат.

Тадқиқот вазифалари:

рудани қазиб олиш ва руда тайёрлаш жараёнида технологик машина ва механизмларнинг электромеханик ускуналари энергетик кўрсаткичларини, шунингдек электромеханик ускуналарнинг электр таъминоти тизимидаги гармоник ташкил этувчиларни аниқлаш;

рудани қазиб олиш жараёнида экскаваторларнинг электр юритмаларини бошқариш тизимларини қиёсий таҳлил этиш;

технологик ва энергетик омилларни ҳисобга олган ҳолда карьер экскаваторлари энергия самарадорлигининг математик моделини ишлаб чиқиш;

частота ўзгартиргичдан таъминлашнинг ўтиш режимларида механизм электр юритмаларининг кучланиши ва нисбий частоталар ўзгаришининг қонунларини аниқлаш;

ўзгарувчан бошқарув частотасида лентали конвейер қурилмаси асинхрон двигателининг математик моделлари ва структура схемаларини ишлаб чиқиш;

динамик режимларни ҳисобга олган ҳолда частотавий бошқарилувчи электр юритма конвейер лентасининг хизмат кўрсатиш муддатини ва унинг ресурсини аниқлаш;

тоғ массасини қазиб олиш ва руда тайёрлаш жараёнида рудани қазиб олиш ва ташишга электр энергия сарфини меъёрлаш методикасини, таъсир этувчи асосий омилларни ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқиш;

ростланувчи электр юритмалар асосида тоғ-кон машина ва механизмларининг энерготежамкор режимларини ишлаб чиқиш ва жорий этиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида «Олмалиқ КМК» АЖнинг Кальмакир руда бошқаруви ва Мисни бойитиш фабрикаси бўйича қазиб олиш жараёнида тоғ экскаваторининг электр юритмалари комплекси ва электромеханик ускуналари олинган.

Тадқиқотнинг предмети карьер экскаваторлари ишлашининг энергия самарадорлиги, лентали конвейерларнинг частотавий бошқарилувчи электр юритмаси ва уларнинг энерготежамкор бошқарув режимлари, рудани қазиб олиш ва тайёрлаш жараёнларида технологик ускуналарнинг энергия сифими ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Тадқиқот жараёнида электр юритма назариясининг замонавий усуллари, электромеханик тизимларини математик моделлаш, ишлаб чиқаришнинг энергия самарадорлигини ва сифимини аниқлаш бўйича комбинацияланган усули, қиёсий таҳлил, ишлаб чиқилган моделларнинг саноат синовлари натижалари статик ва аналитик ҳисоблаш усулларидан фойдаланилган.

Диссертация тадқиқотининг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

генератор-ўзгармас ток двигатели, тиристорли ўзгартиргич-ўзгармас ток двигатели ва частота ўзгартиргич-асинхрон двигатели тизимларида экскаватор механизмларидаги ҳар бир ташкил этувчиларининг ФИКни ҳисобга олган ҳолда электр юритмада ростланувчи ўзгартиргич билан энергияни ўзгартиришнинг структура схемалари ишлаб чиқилган;

рудани қазиб олишда асосий технологик ва энергетик параметрларни ҳисобга олган ҳолда экскаваторларнинг ишчи ва номинал иш режимларида математик модели ва электр энергия сарфи меъёрини баҳолаш ишлаб чиқилган;

«частота ўзгартиргичи – двигатель - конвейер» частотавий ростланувчи электр юритма тизимларининг энергия ва ресурстежамкор иш режимлари ишлаб чиқилган;

динамик режимларни ҳисобга олган ҳолда конвейер лентасини жадал емирилишига таъсир кўрсатувчи асосий ва бошқарувчи омиллар аниқланган,

эксплуатация жараёнида конвейер қурилмалари лентаси емирилишининг математик модели ишлаб чиқилган;

асосий таъсир этувчи омилларни ҳисобга олган ҳолда, тоғ массасини қазиб ва руда тайёрлаш жараёнида энергетик самарадорликни баҳолаш учун рудани қазиб олиш ва ташишга электр энергия сарфини меъёрлашнинг усули ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

электр ускуналарнинг ҳар бир ташкил этувчилари ва бутун механизмнинг берилган ФИК қийматларига асосланган аналитик ҳисоблаш усули билан карьер экскаваторининг энергетик сиғимини ҳисоблаш усули ишлаб чиқилди;

экспериментал тадқиқотлар асосида энергетик кўрсаткичлар ва турли бошқарув тизимларида экскаваторларнинг энергия самарадорлиги қиёсий таҳлил этилди, мавжуд экскаваторни модернизациялаш учун мақбул вариант аниқланди;

рудани ташишда асинхрон двигателлар частотавий бошқариладиган лентали конвейерларни ва электр юритмани танлаш алгоритми, шунингдек частота ўзгартиргичини бошқариш қонунини танлаш асослаб берилди;

динамик жараёнларда рудани ташиш жараёнларида лентанинг жадал емирилишига таъсир кўрсатадиган энг муҳим бошқарилувчи омиллар ўрнатилди;

рудани тайёрлашда энергия самарадорлик кўрсаткичларини мукаммаллаштириш мақсадида рудани янчиш ва майдалашга электр энергияси сарфининг солиштирма меъёрини аниқлаш методикаси ишлаб чиқилди.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги математик усуллар ва моделларнинг тўғри қўлланилганлиги, ўрганилаётган жараёнларни маълум мезонлар бўйича баҳолашда уларнинг адекватлиги, фундаментал фанларнинг маълум принципларидан фойдаланган ҳолда, тадқиқ этилаётган жараёнларни ҳисоблаш ва экспериментал маълумотлар билан асослаш, тоғ-кон корхоналарини энергетик текширув жараёнида олинган экспериментал маълумотларни қайта ишлашнинг статик усулларини жорий этиш билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти тоғ массасини қазиб ва электр энергияси сарфи меъёрининг математик модели, энергетик самарадорликка таъсир кўрсатадиган асосий омиллар функциясида ишлаб чиқилган; лентали конвейер двигателларининг энергия тежамкор иш режимларини S-шаклли частотавий бошқарувнинг ўзгариш қонуни вақт бўйича функциясида ишлаб чиқилган; динамик жарёнларда рудани ташиш жараёнида лентанинг жадал емирилишини камайтирувчи бошқарилувчи омилларнинг ўрнатилиши билан характерланади.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти технологик ускуналарнинг энергетик самарадорлигини ошириш учун частотавий бошқариладиган электр юритма асосида конвейер қурилмаларнинг унумдорлигини бошқариш ишлаб чиқилган; технологик ускуналарнинг энергия ва ресурстежамкор режимлари ростланувчи электр юритмаларнинг замонавий элементлар базасида ишлаб чиқилган; Олмалиқ кон-металлургия комбинатининг корхоналарида тоғ жинсларини қазиб олиш ва рудани тайёрлаш жараёнида электр энергиясини сарфини меъёрлаш методикасини ишлаб чиқишдан иборатлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Энергетика текширувларини ўтказиш методологиясидан фойдаланиш ва тоғ-металлургия саноатида тоғ жинсларини қазиб олиш ва рудани тайёрлаш жараёнининг энергия самарадорлигини ошириш бўйича олинган натижалар асосида:

мавжуд бўлган ўзгармас ток генератори тизимини алмаштириш ва юритма двигателини тиристорли ўзгартиргич-двигатель билан алмаштириш ва Кальмакир карьери Олмалик кон-металлургия комбинати бўйича турли бошқарув тизимлари билан ишлайдиган экскаваторларнинг энергия самарадорлигини аниқлаш усули жорий этилди («Олмалик кон-металлургия комбинати»нинг 2018 йил 24 октябрдаги 31-10-403-сон маълумотномаси). Натижада 369000 кВт·соатга электр энергиясини тежаш имкони яратилган;

лентали конвейернинг бошланғич режимининг назорат қилиш тизими S-шаклдаги частоталарни бошқариш қонунига мувофиқ фаол статор қаршилигидаги кучланишнинг камайиши ва частота ўзгартиргич асосида 0 дан $1/3f_n$ гача бўлган қўшимча форсировкали тизим Мисни бойитиш фабрикасида жорий этилди («Олмалик кон-металлургия комбинати»нинг 2018 йил 24 октябрдаги 31-10-403-сон маълумотномаси). Энергия тежамкор конвейер тизимлари бўйича ушбу усулларни қўллаш энергия сарфини 5-10% га қисқартирди. Натижада йилига мис ишлаб чиқариш заводида 809424 кВт·соатга электр энергиясини тежаш имкони яратилган;

Мисни бойитиш фабрикасида рудани қазиб олишнинг энергия самарадорлигини ошириш кўрсаткичларини яхшилаш мақсадида алоҳида машиналар учун электр энергиясидан фойдаланишнинг солиштирма сарф меъёрларини аниқлаш услуги жорий этилди («Олмалик кон-металлургия комбинати»нинг 2018 йил 24 октябрдаги 31-10-404-сон маълумотномаси). Натижада бирлик маҳсулотни ишлаб чиқариш учун солиштирма меъёрни тоннасига 0,49 кВт·соатга тежаш имкони яратилган;

рудани қайта ишлаш бўйича энергияни тежаш ва электр энергиясидан оқилона фойдаланиш учун бутун Мисни бойитиш фабрикаси бўйича электр энергиясининг сарфини меъёрлаш усуллари жорий этилди («Олмалик кон-металлургия комбинати»нинг 2018 йил 24 октябрдаги 31-10-404-сон маълумотномаси). Натижада электр энергия истеъмолини 2% га тежаш имкони яратилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқотлар натижалари 30 та илмий-техник конференцияларда, жумладан 20 та халқаро ва 10 республика илмий амалий анжуманларида муҳокама қилинган ва апробациядан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 50 та илмий иш чоп этилган, жумладан 20 илмий мақола шундан 14 та республика ва 6 та халқаро журналларда нашр этилган. Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий нашрларда 18 та илмий мақола жумладан, 13 таси республика, 5 таси хорижий журналларда нашр этилган.

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

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ ҚИСМИ

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

Диссертациянинг **«Тоғ-металлургия саноатида руда тайёрлаш ва қазил жараёнларининг замонавий ҳолати ва уларнинг самарадорлигини ошириш масалалари»** деб номланган биринчи бобда тоғ-кон металлургия саноатида руда тайёрлаш ва тоғ массаларини қазилнинг технологик жараёнлари замонавий ҳолатининг таҳлили келтирилган, тадқиқотларнинг асосий вазифалари аниқланган ва бошқарилувчи электр юритмаларнинг замонавий элементлар базаси асосида рудани тайёрлаш ва тоғ массаларини қазил жараёнларида иштирок этадиган электр қурилмаларнинг энергия самарадорлигини ошириш бўйича адабиётлар тизимлаштирилган ва тадқиқотларнинг таҳлили келтирилган.

Тоғ-кон бойитиш корхоналарида рудани майдалаш ва бойитишда, янчишда, уларни ташишда, тоғ массаларини қазилда, тоғ иши жараёнларида энергия истеъмолининг таркибий тақсимланиши ва тизими берилган.

Руда тайёрлаш ва ташишда ажратилган алоҳида тизим бўйича «Олмалик кон-металлургия комбинати» тизими аниқланган. Руда тайёрлаш ва тоғ массаларини қазил жараёнларида электр техникавий қурилма таркибига руда тайёрлаш жараёнларида транспорт звеносини боғловчи сифатида конвейер қурилмалари киритилган. Руда тайёрлаш жараёнида электр қурилмалар ишлашининг технологик регламентлари кўриб чиқилган.

Рудани тайёрлаш ва ташиш жараёнларининг энергия самарадорлигини ошириш бўйича ишланмаларга бағишланган адабиётларда кон-металлургия саноатининг технологик жараёнларнинг энергия самарадорлигини оширишни таъминлайдиган бошқарилувчи электр юритмаларга тааллуқли масалалар етарлича ёритилмаганлиги келтирилган.

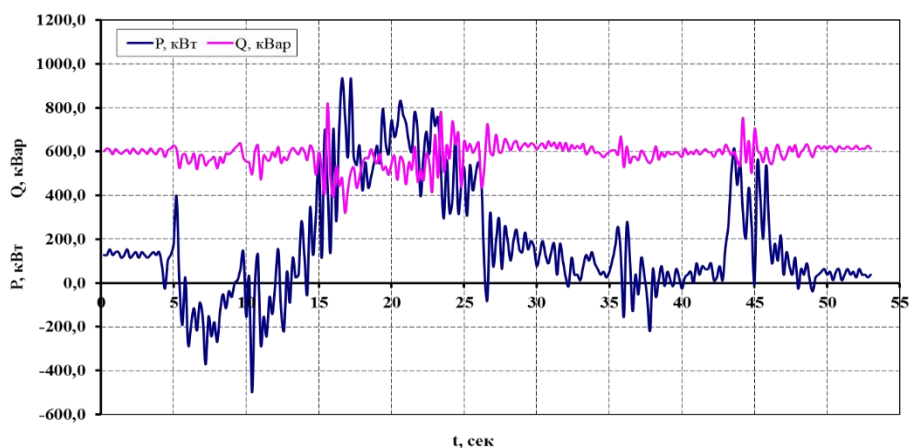
«Олмалик кон-металлургия комбинати»нинг бўлимларида ўтказилган тадқиқот ишлари, олиб борилган илмий ва амалий ишлар таҳлили асосида тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари аниқланган.

Диссертациянинг **«Тоғ-металлургия саноати карьер экскаваторларининг энергия самарадорлиги»** номли иккинчи бобда тоғ-металлургия саноати экскаваторлари электр юритмаларини бошқарув тизимининг қиёсий таҳлили ва иш режимлари баён қилинган, очиқ кон ишланмаларида электромеханика қурилмаларини электр таъминотининг энергетик кўрсаткичлари ва гармоник таркиблари аниқланган, шунингдек, технологик ва энергетик омилларни ҳисобга олган ҳолда карьер экскаваторлари энергия самарадорлигининг математик модели ишлаб чиқилган.

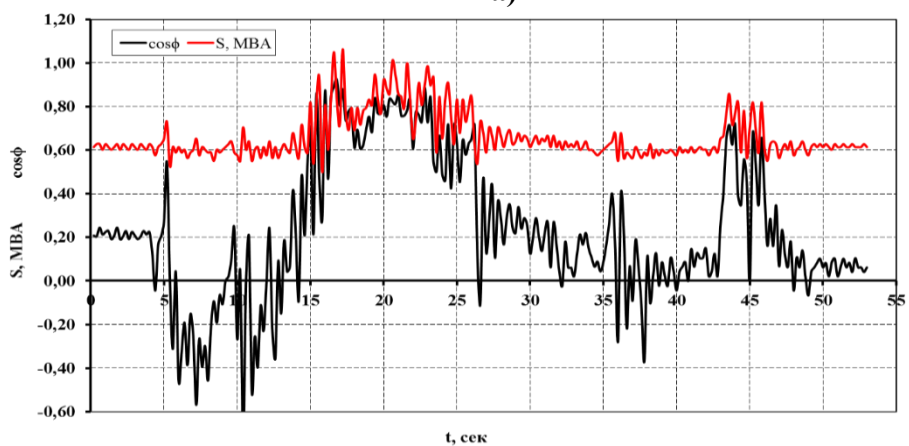
Тоғ-кон саноати карьерларида ЭКГ турдаги бир чўмичли экскаватор асосий технологик қурилма бўлиб ҳисобланади ва тоғ-кон саноатининг ишлари уларнинг самарали ишлашига боғлиқдир. ЭКГ экскаваторларининг асосий механизмларига грунтларни қазиб жараёнларида қатнашадиган кўтариш, бурилиш ва босимли механизмлар киради.

Ҳозирги вақтда экскаваторларнинг электр юритмаларида уч хил кўринишли бошқарув тизимлари қўлланилади: 1. Г-Д генератор-ўзгармас ток электр двигатель тизими бўйича электр юритма; 2. ТЎ-Д тизими бўйича ўзгармас ток электр юритмаси тиристорли ўзгартиргичлар билан; 3. ЧЎ-АД тизими бўйича ўзгарувчан ток электр юритмаси бевосита частота ўзгартиргичлар билан.

Назарий ҳисоблаш асосида асосий ишчи механизмларнинг юкламали диаграммалари қурилди. Механизмларнинг ҳақиқий юкламалари назарий ҳисобланган юкламалардан фарқ қилади. Назарий натижалар билан ишчи юкламаларнинг диаграммаларини таққослаш учун «Олмалик кон-металлургия комбинати» нинг Кальмакир карьеридида реал объекти ЭКГ-10 да экспериментал тадқиқотлар олиб борилди, унда экскаватор асосий механизмларининг электр юритмалари бошқаруви ҳар бир циклда Г-Д, ТЎ-Д ва ЧЎ-АД тизимлари бўйича амалга оширган.



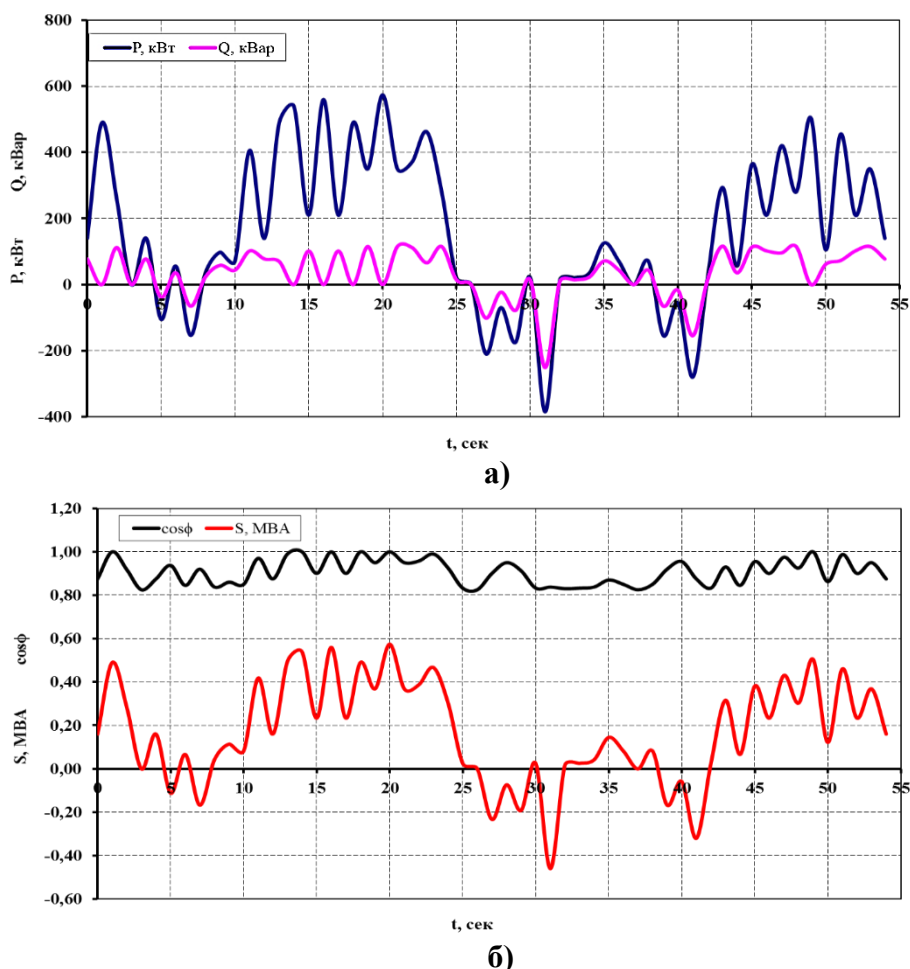
а)



б)

1-расм. Г-Д тизимида бир цикл бўйича ЭКГ-10 турдаги экскаваторнинг энергетик параметрлари ва истеъмол қувватининг диаграммаси: а – актив ва реактив қувват, б – умумий қувват ва қувват коэффиценти

1-2 расмларда эскпериментал натижалар асосида олинган турлича бошқарув тизимли ЭКГ-10 турдаги экскаваторнинг асосий энергетик кўрсаткичлари бир цикл учун келтирилган.



2-расм. ТЎ-Д тизимида бир цикл бўйича ЭКГ-10 турдаги экскаваторнинг энергетик параметрлари ва истеъмол қувватининг диаграммаси: а – актив ва реактив қувват, б – умумий қувват ва қувват коэффициенти

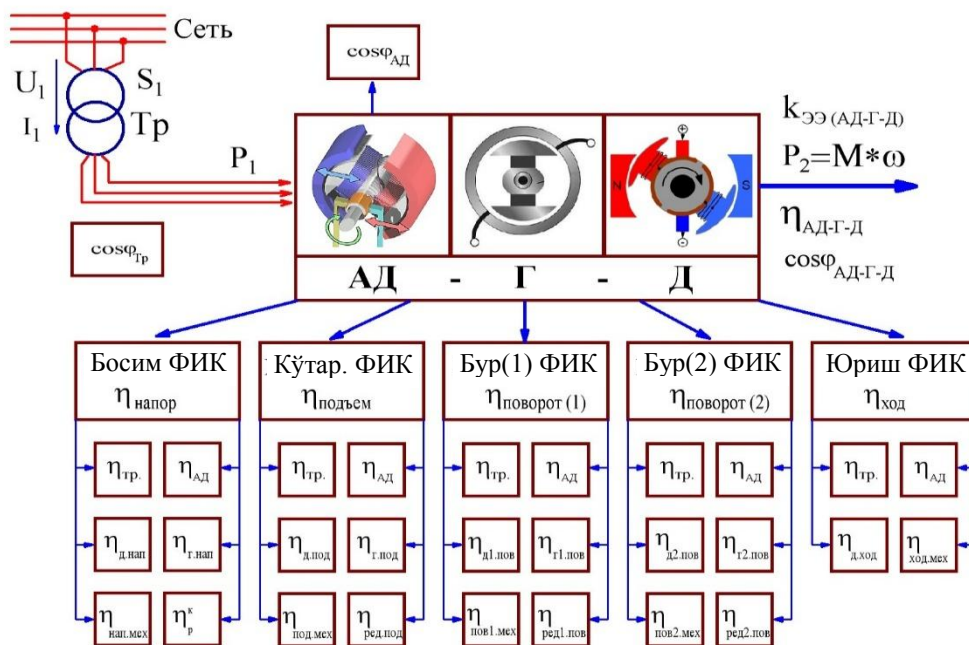
ЭКГ-10 турдаги экскаватор электр қурилмасида Г-Д тизими мавжуд электр юритмалар ўрнига ЧЎ-АД бошқарув тизими бўйича учта трансформатор билан таъминланади. Учта трансформаторларнинг мавжудлигидан келиб чиқиб, ЭКГ-10 турдаги экскаваторнинг битта циклдаги иш режимида энергетик параметрлар ва истеъмол қилинадиган қувватнинг диаграммалари олинган.

Диаграммалардан (1, 2-расм) кўришиб турибдики, экскаватор асосий юритмаларининг иш режимлари юкламанинг тез-тез ўзгариши билан характерланади. Шунинг учун экскаватор механизмларининг юритмалари етарли даражада силлиқ шчи ва ростловчи характеристикаларга эга бўлиши керак. Бундан экскаватор асосий механизмлари юритмаларининг иш режимларини қаноатлантирувчи электр юритмалар бошқарув тизимларига қўйиладиган аниқ талабларни аниқлаш келиб чиқади.

Шу нуқтаи назардан, мавжуд машиналарни модернизациялаш учун мақбул вариантни танлаш мақсадида электр юритмаларнинг мавжуд тизимлари кўриб чиқилди. Экскаватор электр юритмаларини ҳар бир бошқарув тизими

бўйича барча таркибий коэффициентларни ҳисобга олган ҳолда, энергия самарадорлик коэффициенти ва асосий энергетик параметрлар аниқланди ва таққослаб чиқилди.

3-5 расмларда Г-Д, ТЎ-Д, ЧЎ-АД тизимларида ҳар бир таркибий бажарувчи механизмлар ФИКни ҳисобга олган ҳолда ўзгартиргични ростлаш бўйича электр юритмаларда энергия ўзгаришининг структура схемалари келтирилган.



3-расм. АД-Г-Д тизимида энергияни ўзгатиришдги механизмларнинг структура схемаси: T_r – куч трансформатори; P_1 – тармоқдан истеъмол қилинаётган актив қуввати; $\cos\varphi_{AD}$, $\cos\varphi_{Tr}$, – АД ва куч трансформаторининг қувват коэффициенти; $\eta_{напор}$, $\eta_{подъем}$, $\eta_{пов(1)}$, $\eta_{пов(2)}$, $\eta_{ход}$ – босим, кўтарилиш, ўнг-чап бурилиш ва юришнинг умумий ФИК; $\eta_{тр}$ – куч трансформаторининг ФИК; η_{AD} – тармоқ двигателининг ФИК; $\eta_{г.нап}$, $\eta_{г.под}$, $\eta_{г1.пов}$, $\eta_{г2.пов}$ – босим, кўтарилиш ва ўнг-чап бурилиш генераторларининг ФИК; $\eta_{д.нап}$, $\eta_{д.под}$, $\eta_{д1.пов}$, $\eta_{д2.пов}$, $\eta_{д.ход}$ – босим, кўтарилиш, ўнг-чап бурилиш ва юришдаги электродвигателларнинг ФИК; $\eta_{нап.мех}$, $\eta_{под.мех}$, $\eta_{пов1.мех}$, $\eta_{пов2.мех}$, $\eta_{ход.мех}$ – босим, кўтариш, ўнг-чап бурилиш ва юриш механизмларининг ФИК; $\eta_{ред.нап}$, $\eta_{ред.под}$, $\eta_{ред1.пов}$, $\eta_{ред2.пов}$, $\eta_{ред.ход}$ – босим, кўтариш, ўнг-чап бурилиш ва юриш редукторларининг ФИК; η_r – босим механизмидаги бир тишли жуфт редукторнинг ФИК; $k_{ЭЭ(АД-Г-Д)}$ – энергия самарадорлик коэффициенти; P_2 – двигателнинг фойдали актив қуввати; $\eta_{ЭЭ(АД-Г-Д)}$, $\cos\varphi_{ЭЭ(АД-Г-Д)}$ – АД-Г-Д тизимидаги қувват коэффициенти ва умумий ФИК.

Бунда энергия самарадорлик коэффициенти қанча кўп бўлса, тармоқдан токни истеъмол қилиш ҳам шунча кам бўлади ва янада энергия самарадорли ва электр энергиянинг ўзгатириш сифати яхши бўлади. Структура схемаси асосида (3-расм) Г-Д бошқарув тизими бўйича энергия самарадорлик коэффициенти $k_{ЭЭ(АД-Г-Д)}$ қуйидаги формула ёрдамида аниқланади.

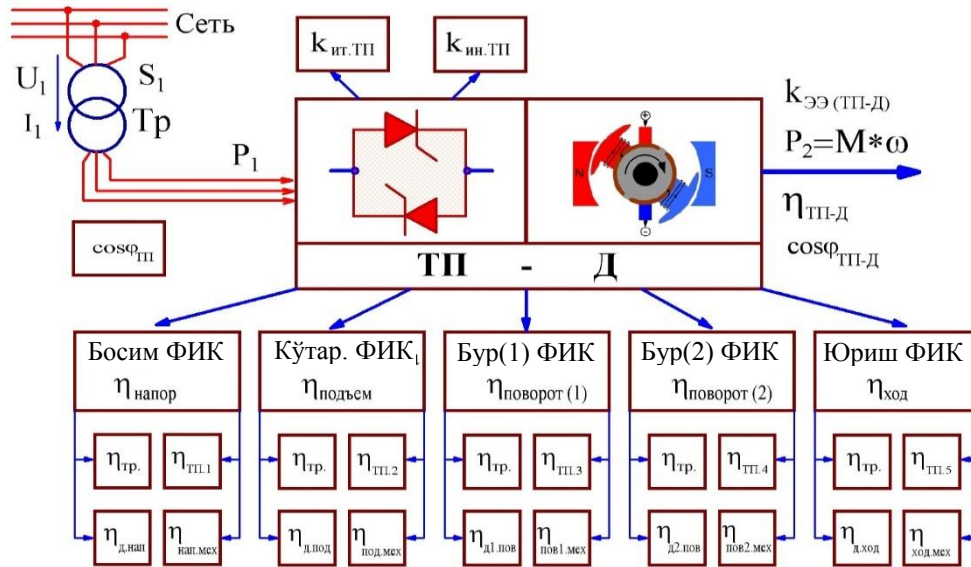
$$k_{ЭЭ(АД-Г-Д)} = \cos \varphi_{АД-Г-Д} \cdot \eta_{АД-Г-Д} = \cos \varphi_{АД} \cdot \eta_{напор} \cdot \eta_{подъем} \cdot \eta_{пов(1)} \cdot \eta_{пов(2)} \cdot \eta_{ход} \quad (1)$$

Экскаваторнинг босим, кўтариш, ўнг-чап бурилиш ва юришнинг ҳар бир операциядаги цикл учун умумий ФИК қуйидагича бўлади:

$$\begin{aligned} \eta_{напор} &= \eta_{тр} \cdot \eta_{AD} \cdot \eta_{г.нап} \cdot \eta_{д.нап} \cdot \eta_{нап.мех}, & \eta_{подъем} &= \eta_{тр} \cdot \eta_{AD} \cdot \eta_{г.под} \cdot \eta_{д.под} \cdot \eta_{под.мех}, \\ \eta_{пов1} &= \eta_{тр} \cdot \eta_{AD} \cdot \eta_{г.пов} \cdot \eta_{д1.пов} \cdot \eta_{пов.мех}, & \eta_{пов2} &= \eta_{тр} \cdot \eta_{AD} \cdot \eta_{г.пов} \cdot \eta_{д2.пов} \cdot \eta_{пов.мех}, \\ \eta_{ход} &= \eta_{тр} \cdot \eta_{AD} \cdot \eta_{г.ход} \cdot \eta_{д.ход} \cdot \eta_{ход.мех}. \end{aligned} \quad (2)$$

ТЎ-Д бошқариш тизими бўйича структура схемаси асосида (4-расм) энергия самарадорлик коэффициенти $k_{ЭЭ(ТП-Д)}$ қуйидаги формула билан аниқланади.

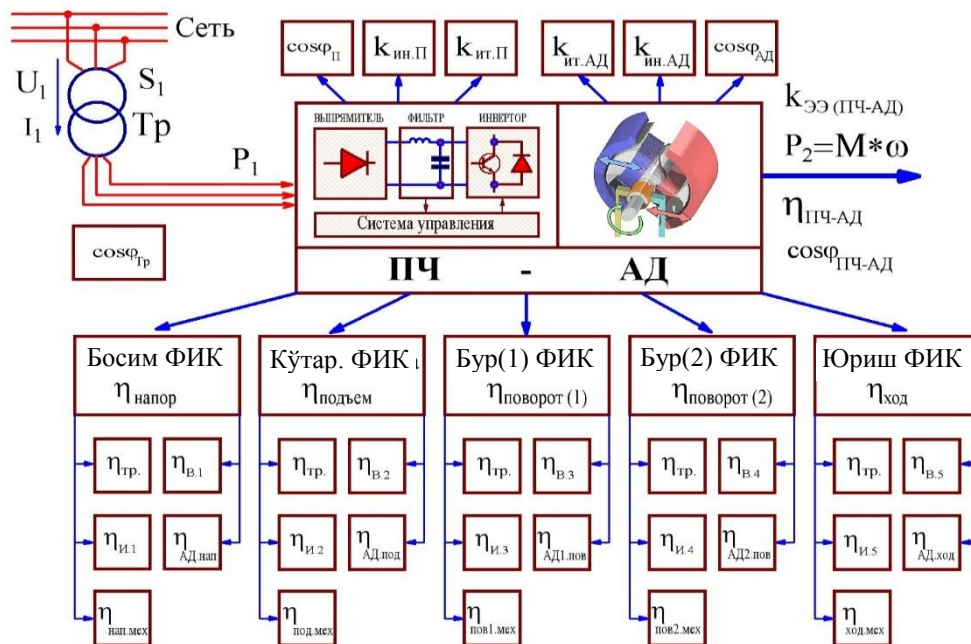
$$k_{ЭЭ(ТП-Д)} = \cos \varphi_{ТП} \cdot k_{умТП} \cdot k_{инТП} \cdot \eta_{ТП-Д} = \cos \varphi_{ТП} \cdot k_{умТП} \cdot k_{инТП} \cdot \eta_{напор} \cdot \eta_{подъем} \cdot \eta_{пов(1)} \cdot \eta_{пов(2)} \cdot \eta_{ход} \quad (3)$$



4-расм. ТЎ-Д тизимида энергияни ўзгартиришдаги механизмларнинг структура схемаси: $\cos \varphi_{ТП}$ – тиристорли ўзгартиргичнинг қувват коэффициенти; $k_{ит.ТП}$, $k_{ин.ТП}$ – тиристорли ўзгартиргичдаги кучланиш ва токнинг бузилиш коэффициенти; $\eta_{ТП1}$, $\eta_{ТП2}$, $\eta_{ТП3}$, $\eta_{ТП4}$, $\eta_{ТП5}$ – тристорли ўзгартиргичларнинг ФИК.

Структура схемаси асосида (5-расм) энергетик самарадорлик коэффициенти $k_{ЭЭ(ПЧ-АД)}$ қуйидаги формула бўйича аниқланади.

$$k_{ЭЭ(ПЧ-АД)} = \cos \varphi_{ПЧ-АД} \cdot k_{ум(ПЧ-АД)} \cdot k_{ин(ПЧ-АД)} \cdot \eta_{ПЧ-АД} = \cos \varphi_{ПЧ} \cdot \cos \varphi_{АД} \cdot k_{умПЧ} \cdot k_{инПЧ} \cdot k_{умАД} \cdot k_{инАД} \cdot \eta_{напор} \cdot \eta_{подъем} \cdot \eta_{пов(1)} \cdot \eta_{пов(2)} \cdot \eta_{ход} \quad (4)$$



5-расм. ЧЎ-АД тизимида энергияни ўзгартиришдаги механизмларнинг структура схемаси: $\cos \varphi_{ПЧ}$ – ЧЎнинг қувват коэффициенти; $k_{ит.ТП}$, $k_{ин.ТП}$ – ЧЎнинг киришда кучланиш ва токнинг бузилиш коэффициенти; $\eta_{В1}$, $\eta_{В2}$, $\eta_{В3}$, $\eta_{В4}$, $\eta_{В5}$ – тўғрилагичнинг ФИК; $\eta_{И1}$, $\eta_{И2}$, $\eta_{И3}$, $\eta_{И4}$, $\eta_{И5}$ – инверторларнинг ФИК.

Турли бошқарув тизимларига эга экскаваторларнинг энергетик кўрсаткичлари ва энергия самарадорлигининг қиёсий таҳлили ҳисоблаш ва экспериментал тадқиқотлар асосида ўтказилди, улар бир-биридан анчагина фарқ қилади (Жадвал 1). Фарқ қилувчи ўзига хос хусусиятлари қуйидагилардан иборат:

- анъанавий Г-Д тизимли ва замонавий ЧЎ-АД тизимли бошқарув ТЎ-Д бошқарув тизими билан таққослаганда, цикл давомида энергиянинг актив қувватни истеъмоли 23%, ва 6% га камаяди, бунда истеъмол қилинаётган тўлиқ қувват 55% гача пасаяди; карьер экскаваторларида ТЎ-Д бошқарув тизимини қўллаш рудани қазишда электр энергиясининг солиштирма сарфини 0,27 кВт·соат/м³ гача камайишини таъминлаши аниқланди;

- ТЎ-Д бошқариш тизимидаги ўзгартиргич ва барча ташкил этувчи механизмларни ва ҳисобга олган ҳолда экскаваторнинг умумий ФИК Г-Д ва ЧЎ-АД бошқарув тизимидаги ФИК дан 28% ва 4% га юқори;

- ТЎ-Д бошқарув тизимининг қувват коэффициенти бошқарув тизимига нисбатан мос равишда 58% ва 5% га ортик, қувват коэффициентини ошириш экскаваторнинг энергия исрофини камайтиришга ва электр тармоғи сифат кўрсаткичларини яхшилашга имкон беради;

- турли бошқарув тизимларига эга экскаваторларнинг энергия самарадорлик коэффициентлари аниқланди. Частотани бошқариш жараёнидаги частота ўзгартиргичдан фойдаланишда энергия самарадорлик коэффициенти ТЎ-Д тизимига нисбатан 40% га камаяди. ТЎ-Д бошқарув тизимли энергия самарадорлик коэффициенти Г-Д бошқарув тизимига нисбатан 20% га ошади.

Турли бошқарув тизимларига эга экскаваторларнинг энергетик кўрсаткичлари ва энергия самарадорлигини қиёсловчи жадвал

Энергетик кўрсаткичлар	ЭЖГ электр юритмаларининг бошқарув тизимлари		
	Г-Д	ТЎ-Д	ЧЎ-АД
Умумий ФИК, механизмларнинг барча ташкил этувчиларини ва ўзгартиргичларни ҳисобга олиб, %	65	83	80
Қувват коэффициенти, $\cos\varphi$	0,3÷0,7	0,95	0,90
Цикл давомида актив энергия истеъмоли, W, кВт·с	10,08	7,65	8,10
Цикл давомида реактив энергия истеъмоли, Q, кВар·с	11,02÷34,34	2,51	3,92
Цикл давомида тўлиқ истеъмол қилинаётган қувват, S, кВА·с	15,43÷36,00	8,05	9,00
Рудани қазишга электр энергиясининг солиштирма сарфи, N, кВт·с/м ³	1,12	0,85	0,90
Энергетик самарадорлик коэффициенти, $k_{э}$	0,65	0,78	0,55

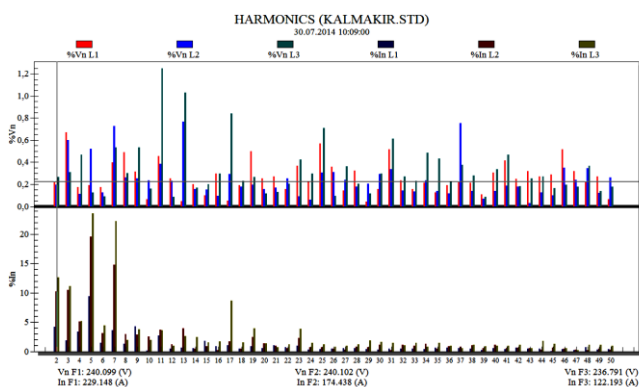
Тиристорли ўзгартиргич – ўзгармас ток двигатели тизими бўйича электр юритмани қўллаш ЭЖГ мавжуд экскаваторни модернизациялаш учун энг мақбул вариант ҳисобланади. Бу қуйидаги сабабларга кўра асосланади: экскаватор конструкциясига деярли ўзгартиришлар талаб қилинмайди; ўзгартиргичнинг блок-модуль конструкциясини таъмирлаш вақтини ва машинанинг тўхтаб туришини камайтиради; экскаваторнинг электр энергияси сарфини ва асосий механизмларнинг емирилиши камайиши эвазига; рудани

қазиб олишда электр энергияси солиштирма сарфини ва иш режимларида инерциянинг камайиши ҳисобига ишлаш циклини камайтиради; юқори ФИК ва қувват коэффициентлари, ишончилилик ва тез ҳарактланиш.

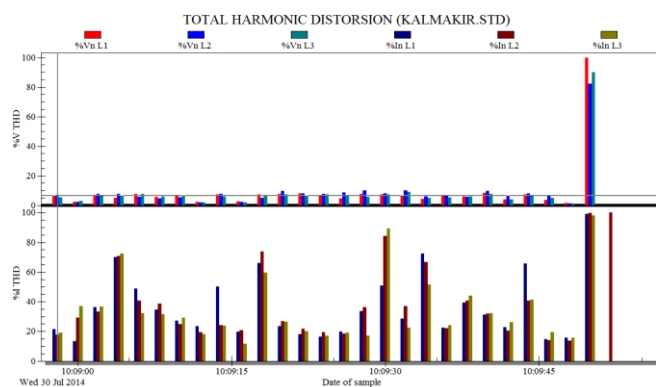
Бизнинг тадқиқотлар ва бир қатор муаллифларнинг тадқиқотлари электр энергияси сифатига, энергия ва ресурс тежамкорликка таъсир этувчи омиллардан бири юқори гармоникалар эканлигини кўрсатди. Мазкур масалалар чуқур ўрганишни талаб қилади, чунки улар фақатгина юқори гармоникалар манбаларига боғлиқ бўлмасдан, балки электромеханик тизими энергия ўзгартиргичларидан таъминланадиган технологик ускуналарнинг иш режимларига ҳам боғлиқдир. Бу масала айниқса, тизимнинг динамик режимларда ишлашида долзарб ҳисобланади.

Кальмакир карьерида эксплуатация қилинаётган ЭКГ-10 да экспериментал тадқиқотлар ўтказилди, унда экскаватор асосий механизмлари электр юритмаларини бошқариш мавжуд Г-Д тизими ўрнига ЧЎ-АД тизими бўйича амалга оширилди.

6-расмда ЭКГ-10 да ўлчанган кучланиш ва ток гармоника таркибининг оний қийматлари осциллограммалари 50 та гармоникагача келтирилган. Кучланиш ва токнинг графигидан гармоника таркибида жуфт ва тоқ гармоникалар борлиги кўриниб турибди. Кучланиш ва токнинг гармоникаларида тоқ гармоникалар, айниқса 3, 5, 7 ажралиб турибди.



6-расм. ЭКГ-10 да 50 та гармоникагача кучланиш ва ток гармоника таркибининг оний қийматлари.

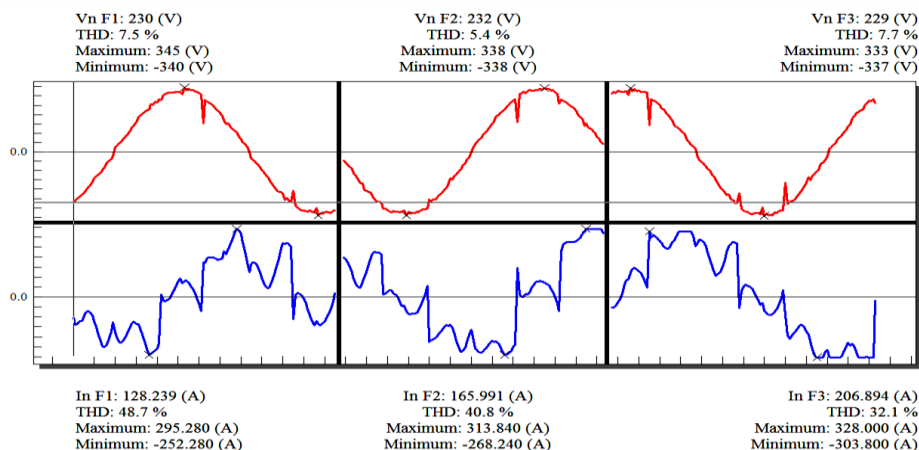


7-расм. ЭКГ-10 да 50 с вақт давомидаги ток ва кучланиш гармоникаларининг ўзгариши.

7-расмда 50 с вақт давомида қурилма иш циклининг ҳар бир фазасида ток ва кучланиш гармоникалари таркиби келтирилган. Кўриниб турибдики, гармоникалар таркиби вақт давомида ўзгаради. Кучланиш бўйича гармоникалар амплитудаси ўзгармасдан қолади, ток гармоникаси амплитудаси цикл давомийлигига - босим, бурилиш ва кўтаришга боғлиқ равишда ўзгаради. Кучланиш бўйича гармоник бузилишларнинг THD йиғма коэффициенти 2-6% чегарада ўзгаради, алоҳида сакрашлар 85 % га тенг. Ток бўйича гармоний бузилишларнинг THD йиғма коэффициенти 18-84% чегарада ўзгаради.

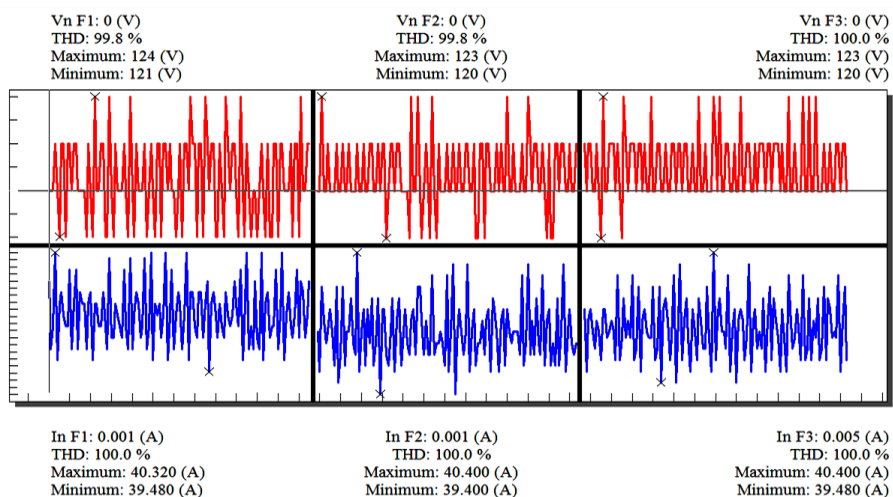
8-расмда ишчи циклининг ҳар бир даври учун ҳар бир фазанинг кучланиш ва ток шакллари келтирилган. Кучланишнинг шакли ҳар бир ярим даврда ҳар бир фаза бўйича тоқ гармоникаларда кескин тушиш шаклидаги бузилишга эга.

Ҳар бир фазанинг ток шакли ўнг циклниги иш режимига боғлиқ кескин тушиш ва кўтарилишга эга. Кучланиш бўйича ҳар бир фаза гармоник бузилишларнинг THD йиғма коэффиценти мос равишда 7,5%, 7,4% ва 7,7% ни ташкил этади. Ток бўйича ҳар бир фаза гармоник бузилишларнинг THD йиғма коэффиценти мос равишда 48,7%, 40,8% ва 32,1% ни ташкил этади.



8-расм. ЭКГ-10 да ҳар бир давр учун ҳар бир фазанинг кучланиш ва ток шакллари.

9- расмда ЭКГ-10 ни ишга тушириш даврида ҳар бир фазанинг кучланиш ва ток шакллари оциллограммалари келтирилган. Оциллограммадан кўриниб турибдики, ҳар бир фазанинг кучланиш ва ток бўйича гармониканинг таркиби бир-биридан фарқ қилади. Ток гармоникалари кучланиш гармоникаларига нисбатан ортиқроқ ифодаланган. Кучланиш бўйича ҳар бир фаза гармоник бузилишларнинг THD йиғма коэффиценти мос равишда 99,8%, 99,8% ва 100% ни ташкил этади. Ток бўйича ҳар бир фаза гармоник бузилишларнинг THD йиғма коэффиценти 100% ни ташкил этади.



9-расм. ЭКГ-10 ни ишга тушириш даврида ҳар бир фазанинг кучланиш ва ток шакллари

Ток бўйича йиғма коэффицентнинг қиймати экскаваторнинг электр механик тизимлари ночизиғий юклама натижасида юзага келади. Кучланиш бўйича гармоник бузилишларнинг йиғма коэффиценти электр юритма

истеъмол қилаётган ток шаклининг кучли ўзгариши натижасида бўлади. Юқори гармоникаларни компенсациялаш қурилмаси частоталарнинг кенг спектрига ёки актив филтрларни қўллашга асосан созланган бўлиши шарт. Электротехник ускуналарнинг ишлашига юқори гармоникаларнинг таъсири охириги натижада электромеханик ускуналарнинг энергетик самарадорлиги ва ресурстежамкорлик захирасида акс этади.

Мавжуд экскаваторларнинг асосий кўрсаткичларидан бири, уларнинг энергия сиғими ҳисобланади. Карьер экскаваторининг энергия сиғимини ҳисоблаш усули, бажарувчи механизмнинг (босим, реверс ва юришни ҳисобга олган ҳолда кўтариш, бурилиш) маълум истеъмол қилаётган қувватида электр қурилмаларнинг ҳар бир ташкил этувчилари ва бутун механизмнинг берилган ФИК қийматларига асосланган аналитик ҳисоблаш усули билан ишлаб чиқилди. Ушбу усул тўлиқ циклни бажаришда иштирок этмаётган электр қурилмаларни истисно этган ҳолда, электр юритманинг ТЎ-Д тизими учун ҳам, шунингдек ЧЎ-АД тизими учун ҳам ўринлидир.

Карьер экскаваторини эксплуатация қилишда унинг энергия самарадор ишлашига қуйидаги асосий ички ва ташқи омиллар ва ускунанинг иш режимлари таъсир этади: 1. Машинани бошқарувчининг квалификация даражаси. 2. Қазилма қийинчилиги бўйича тоғ жинси категорияси. 3. Иқлим омиллари. 4. Тоғ жинсларининг зичлиги – ρ , т/м³. 5. Экскаваторнинг юкни туширишидаги бурилиш бурчаги – $\alpha_{пов}$, град. 6. Қурилманинг энергия самарадорлик коэффициенти – $k_{э}$. 7. Қазилма учун электроэнергия сарфи – W , кВт·соат. 8. Экскаваторнинг унумдорлиги – Q , тонна.

Бир вақтнинг ўзида бу омиллар рудани қазилма жараёнида электр энергияси сарфи меъёри кўрсаткичига ҳам таъсир этади. Шунга кўра, рудани қазилмага электр энергияси сарфи меъёри қуйидаги функциялардан иборат:

$$N = f(k_{ст. маш}, k_{пород}, T, \rho, \alpha_{пов}, k_{э}, W, Q) \quad (5)$$

Регрессия таҳлиллари ёрдамида экспериментал ўлчашлар натижаларига кўра, рудани қазилмага электр энергияси сарфи меъёрининг ишончли математик модели машинани бошқарувчининг меҳнат стажи, қурилманинг энергетик самарадорлиги, тоғ жинси категорияси, ҳаво ҳарорати, экскаватор юкни туширишидаги бурилиш бурчаги, истеъмол қилинаётган электр энергияси, тоғ массасининг зичлиги ва қазилма олиш функцияси асосида олинган.

$$N_{ЭКГ} = 1,105323 + 0,025526 \cdot k_{ст. маш} + 0,033076 \cdot k_{пород} - 0,000083 \cdot T + 0,042356 \cdot \rho + 0,000434 \cdot \alpha_{пов} - 0,7056 \cdot k_{э} + 0,000193 \cdot W - 0,000163 \cdot Q \quad (6)$$

Диссертациянинг «Тоғ-металлургия саноати конвейерлар ишининг энергия самарадорлиги»га бағишланган учинчи боби лентали конвейер қурилмаларининг замонавий ҳолати ва уларнинг энергия ва ресурс тежамкорлик масалаларига бағишланган. Тоғ-металлургия саноати конвейер қурилмалар ишининг таҳлили келтирилган частотавий бошқарилувчи электр юритма билан лентали конвейерларни бошқарилишининг ишга тушириш режимларини бошқариш масалалари кўрилганда конструктив ўзига хосликни ҳисобга олган ҳолда, рудани ташишда лентали конвейер қурилмаларини электр

энергияси сарфи меъёрлари позицияларининг энергия самарадорлиги аниқланган.

Руда ташишнинг технологик жараёнларида конвейер қурилмалари боғловчи звено бўлиб ҳисобланади. Технологик қурилмаларни ишлаш самарадорлигини таъминлаш учун конвейер қурилмаларни келишилган ҳолда бошқариш керак. Тажрибалар шуни кўрсатдики, қурилмаларининг иш режимлари, юклама бўйича уларнинг ишлаши нотекис ҳаракатга эга. Технологик қурилмалар ва конвейер юкламаларининг бир текис ишлашини таъминлаш учун руда тайёрлашнинг технологик жараёнлари талабларига жавоб берадиган частотавий бошқарилувчи электр юритмаларни жорий этиш юқори самарали ва истиқболли ҳисобланади.

Олмалиқ кон-металлургия комбинати мисолида тоғ-металлургия саноатида конвейер қурилмаларининг ишлаши таҳлиллари келтирилган.

Технологик жараёнларни берилган талаблар бўйича энергия тежамкор иш режимларини таъминловчи ўзгарувчи частотали бошқаришда лентали конвейер қурилмалари асинхрон двигателнининг структура схемаси ва математик модели ишлаб чиқилган.

Частотавий бошқарилувчи электр юритмалар орқали лентали конвейерларни ишга тушириш режимларини бошқариш масалалари кўриб чиқилган. Частотавий бошқариладиган асинхрон электр юритманин асосий кўрсаткичларидан бири уларнинг энергетик кўрсаткичлари ҳисобланади.

Электромагнит моментнинг максимуми абсолют β сирпаниш параметрининг критик катталиги билан аниқланади.

$$\beta_K = \pm \frac{\dot{r}_2}{\chi_r} \sqrt{\frac{(\frac{r_1}{F})^2 + \chi_s^2}{(\frac{r_1}{F})^2 + (\chi_s \sigma)^2}} \quad (7) \quad M_K = \frac{1}{2} \left(\frac{U}{F}\right)^2 \frac{a \chi_{\mu H}^2}{\chi_r \sqrt{[(\frac{r_1}{F})^2 + \chi_s^2][(\frac{r_1}{F})^2 + \chi_s \sigma]^2 + \frac{r_1}{F} \chi_{\mu H}^2}} \quad (8)$$

Двигателнинг қувват коэффиценти

$$\cos \varphi = \frac{(\frac{\dot{r}_2}{\beta}) \chi_{\mu H}^2 + \frac{r_1}{F} [(\frac{\dot{r}_2}{\beta})^2 + \chi_r^2]}{D \sqrt{(\frac{\dot{r}_2}{\beta})^2 + \chi_r^2}} \quad (9)$$

Ўзгарувчан частотавий бошқаришдаги АДнинг электромагнит исрофлари

$$\Delta P_{\text{э}} = \left(\frac{U}{F}\right)^2 \frac{m}{D^2} \left\{ r_1 \left[\left(\frac{\dot{r}_2}{\beta}\right)^2 + \chi_r^2 \right] + \frac{k_{CT} \chi_{\mu H}^2 F}{m C_E^2 f_H} \left[\left(\frac{\dot{r}_2}{\beta}\right)^2 + \chi_{2H}^2 \right] + r_2^2 \chi_{\mu H}^2 \right\} \quad (10)$$

АДнинг электромагнит фойдали иш коэффиценти

$$\eta_{\text{э}} = \frac{\frac{a w_{1H}}{m} \left(\frac{F}{\beta} - 1\right)}{\frac{k_{CT} F}{m r_2^2 C_E^2 f_H} \left[\left(\frac{\dot{r}_2}{\beta}\right)^2 + \chi_{2H}^2 \right] + \frac{r_1}{r_2 \cdot \chi_{\mu H}^2} \left[\left(\frac{\dot{r}_2}{\beta}\right)^2 + \chi_r^2 \right] + \left(\frac{F}{\beta} - 1\right) \frac{a w_{1H}}{m} + 1} \quad (11)$$

Олинган ифодалардан кўриниб турибдики асинхрон двигатель ишлашини характерлайдиган асосий катталиклар U/F , r_2/β ва r_1/F ўзгаришларга боғлиқ. Конвейер қурилмалари АДнинг тежамкор ишлашини таъминлаш учун

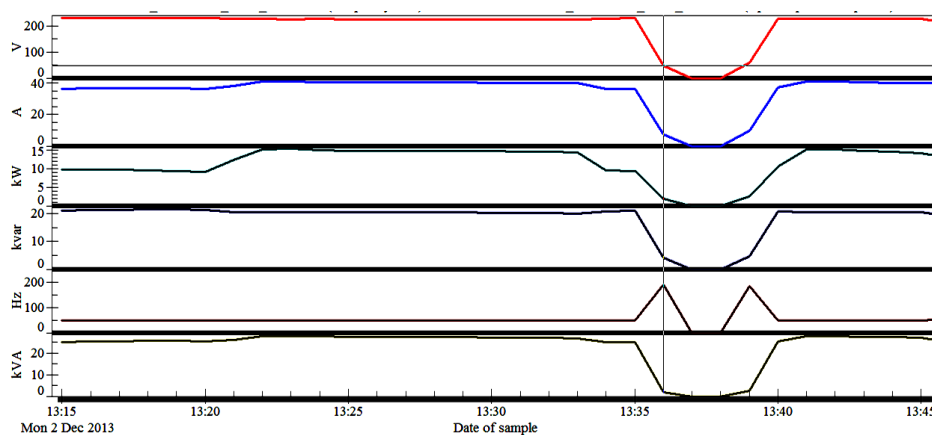
кучланишни частотага боғлиқлик муносабатини шундай бошқариш керакки, унинг ўзгариши двигатель ва юклама параметрларини ўзгаришига таъсирини компенсацияласин, яъни асинхрон двигатель иш режимларининг унинг номинал режимига яқин ишлашини таъминласин.

Мисни бойитиш фабрикасида лентали конвейерлар мисолида экспериментал тадқиқотлар ўтказилди, айти вақтда, технологик қурилмалар учун частотали ўзгартиргичлар кенг жорий этилмоқда.

10-расмда лентали конвейер қурилмасининг экспериментал катталиклари 30 минут вақт мобайнида график шаклда келтирилган.

Графикдан лентали конвейерни юклаш ток ва қувватнинг ошишига, қувватнинг актив ташкил этувчиси ортиши билан реактив ташкил этувчининг камайишига қандай таъсир қилиши кўриниб турибди.

Назарий ва экспериментал тадқиқотларнинг натижалари шуни кўрсатдики, лентали конвейерлар учун равон ишга тушириш шартларини энг яхши қаноатлантирувчи тезликнинг кучайиши, частотани S-шаклли бошқариш қонуни бўйича, ишга туширишда кучланиш 0 дан $1/3f_n$ гача жадаллаштиришни ҳисобга олган ҳолда бошқарувни амалга ошириши ҳисобланади.



10-расм. Лентали конвейернинг частота ўзгартиргичдан таъминланаётган электр юритма электр параметрларининг ўлчаш графиклари

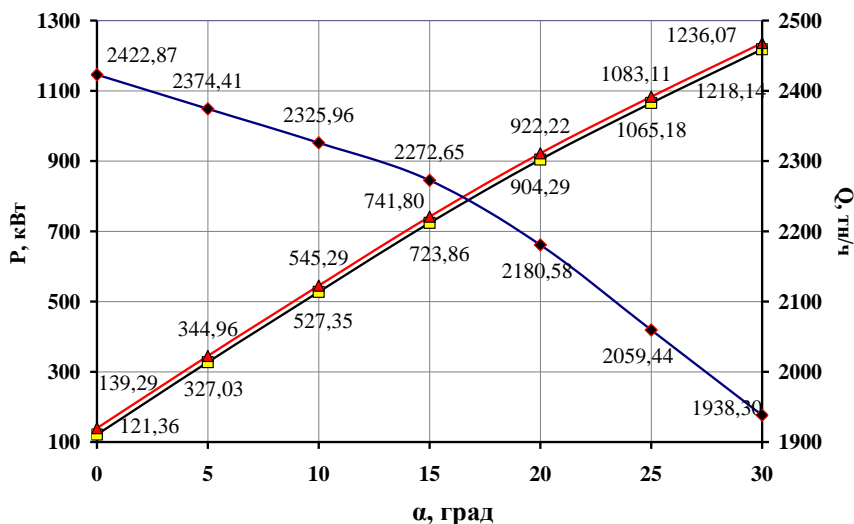
Солиштирма меъёрнинг ўзгариш кўрсаткичлари кўтарилиш бурчаги билан 0 дан 30° гача чегарали конвейер вариантлари учун ташилаётган руданинг кўтарилиш баландлиги ўзгарувчан бўлганда, шунингдек ташилаётган руданинг кўтарилиш баландлиги ўзгармас бўлганда, конструкцияси горизонт ва қия қисмдан таркиб топган конвейерлар учун кўриб чиқилган.

11- расмда конвейернинг турли кўтарилиш бурчақларида юритманинг ҳисобланган қуввати ва конвейернинг унумдорлиги келтирилган.

Рудани ташишда электр энергияси сарфининг солиштирма меъёри кўрсаткичлари қуйидаги ҳолатлар учун аниқланган:

а) рудани ташишда кўтариш горизонтал қисми бўлмаган кўтариш бурчаги $5-30^\circ$ чегарасида бўлган, конвейер унумдорлиги ўзгармас $Q=const$ ва $Q=var$ ўзгарувчан бўлган конвейер лентаси конструкцияси учун;

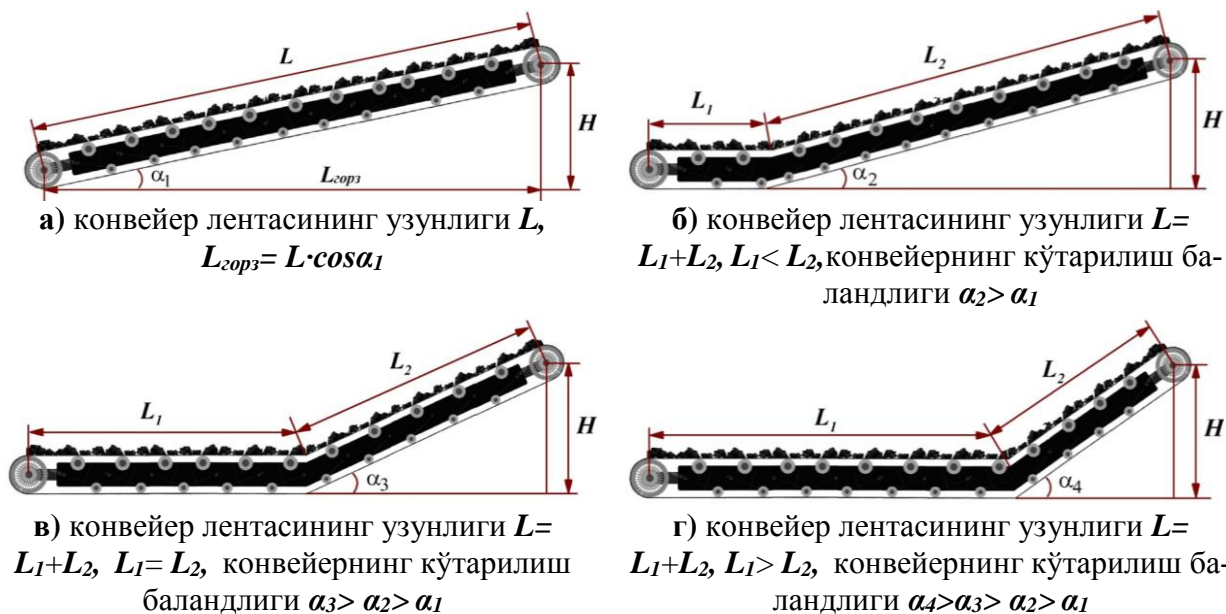
б) рудани ташишда кўтариш иккита таркибдан тузилган горизонтал ва қия қисми ташиладиган руданинг кўтарилиш баландлиги ўзгармас $Q=\text{const}$ ва ўзгарувчан $Q=\text{var}$ бўлган конвейер конструкциялари учун.



— \square $P_{де}$ – содалаштирилган формула бўйича турли кўтарилиш бурчларида конвейер юритмасининг қуввати, кВт; — \triangle $P^I_{де}$ – аниқ формула бўйича турли кўтарилиш бурчларида конвейер юритмасининг қуввати, кВт; — \diamond Q – конвейернинг турли кўтарилиш бурчларидаги унумдорлиги, тн/с.

11-расм. Конвейернинг турли кўтарилиш бурчларида лентали конвейернинг унумдорлиги ва қуввати

12-расмда келтирилган қуйидаги вариантларда кўтарилиш баландлиги (H) ва конвейер узунлигининг доимий қийматларида кўтарилиш бурчагининг турли катталикларида конвейернинг энергия самарадорлигига боғлиқлиги ўрганилди.



12-расм. $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ кўтарилиш бурчлари ва L, L_1, L_2 боғлиқликка мос ҳолда конвейернинг конструктив бажарилиши

Лентали конвейернинг кўтарилиш баландлиги ва умумий узунлиги бир хил бўлган, таркибий қисми горизонтал бўлмаган конструктив кўринишда бажарилган конвейер энг самарали ҳисобланади.

Лентали конвейер қурилмаларининг энергия самарадорлиги бирлик маҳсулотга кетган электр энергиясининг сарфи меъёри нуқтаи назаридан аниқланган, қайсики двигатель юритмасининг қуввати, юкланиш коэффициенти, фойдаланиш коэффициенти, юкланган руда ҳажми, конвейер лентасининг кенглиги, конвейер лентасининг ҳаракатланиш тезлиги, ташиладиган юкнинг ҳажмий зичлиги, конвейер юзасини юк билан тўлдириш коэффициенти, конвейернинг кўтарилиш бурчаги ошганда, юкнинг бир қисми тўкилиши ҳисобига самарадорликни камайишини ҳисобга оладиган коэффициент, лентали конвейернинг узунлиги, конвейернинг кўтарилиш бурчаги, ҳаракатланганда қаршилик коэффициенти, юкни кўтариш баландлиги, юритманинг ФИК, юритма барабанининг ФИК, узатиш механизмининг ФИК ва двигателнинг қувват коэффициенти функцияларида аниқланган.

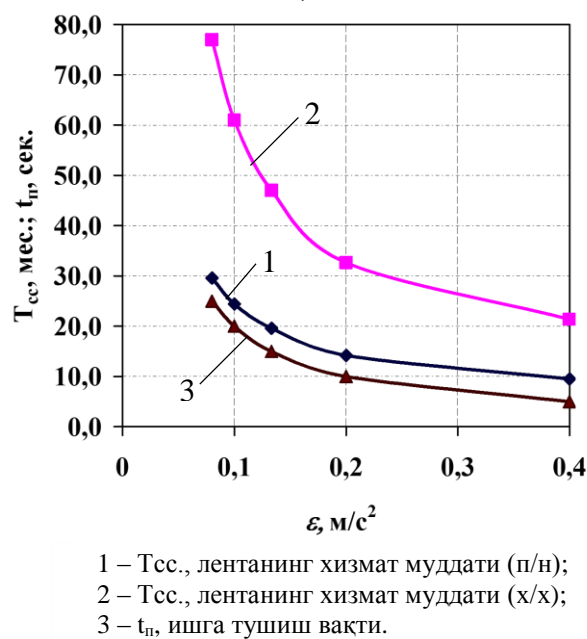
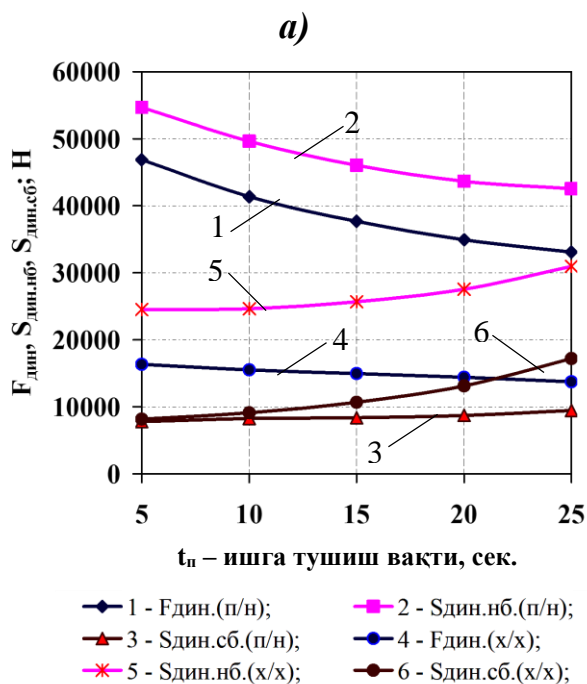
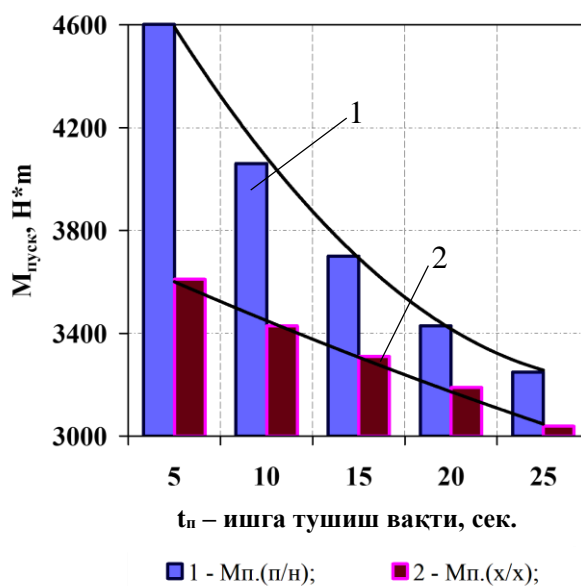
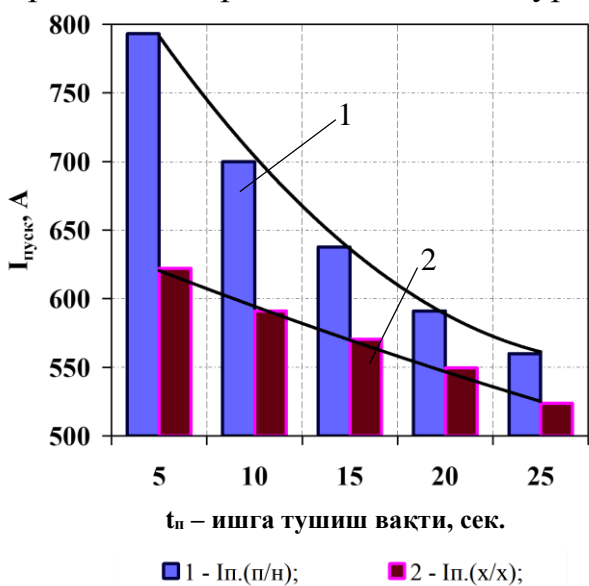
Диссертациянинг тўртинчи **«Частотавий бошқарилувчи конвейер қурилмалари лентаси емирилишининг математик модели ва экспериментал тадқиқоти»** боби рудани ташишда конвейер ленталарининг хизмат қилиш муддати ва чидамлилигини аниқлаш бўйича мавжуд усулларнинг таҳлилига бағишланган, экспериментал тадқиқотлар олиб борилган ва частотавий бошқариладиган конвейер қурилмалари лентаси емирилишининг математик модели ишлаб чиқилган. Лентали конвейерларнинг асосий ва қимматбаҳо саналадиган элементларидан бири юкни ташувчи лента ҳисобланади. Унинг баҳоси бутун конвейер қурилмасининг 50-70% ни ташкил этади. Тоғ-металлургия саноатида конвейер ленталарининг емирилиши ва хизмат қилиш муддати бошқа корхоналардан кучли фарқ қилиб, лентали конвейернинг иш режими ва эксплуатация шароитларига боғлиқдир.

Рудани ташишда конвейер ленталарининг хизмат қилиш муддати ва давомийлигини аниқлаш бўйича мавжуд методикалар таҳлил қилинди. Бу методикалар, динамик жараёнларда конвейер ленталарининг чидамлилиги ва хизмат қилиш муддатига таъсир қиладиган энергетик параметрларни ҳисоблашга имкон бермаслиги аниқланди. Конвейер лентасини эксплуатация қилишни ҳисобга олган ҳолда, рудани ташишнинг динамик режимларида конвейер лентасининг хизмат қилиш муддатини аниқлашнинг мавжуд методикаси такомиллаштирилди.

Рудани ташишда лентага тушаётган динамик юкланишни ўрганиш мақсадида КЛС-1600 лентали конвейернинг экспериментал тадқиқотлари олиб борилди. Экспериментал тадқиқотлар асосида частотавий бошқарилувчи лентали конвейер юритмалари ва лентанинг тезлиги ва тезланиши, двигателнинг моменти ва ишга туширишда юк тортишнинг кучайиши ва ўзгаришини динамик манзараси рудани ташишнинг технологик жараёнларида конвейернинг салт юриши ва юкламали ҳолатини ҳисобга олган ҳолда аниқланган. Бу натижалар 13 расмда келтирилган.

Экспериментал ва назарий тадқиқотлар ишга тушириш режимида лентали конвейер двигателининг тезлиги жадаллашиши ва интенсивлиги $0,08 \text{ м/с}^2$ гача

камайишини, $0,4 \text{ м/с}^2$ юклама остида белгиланган номинал тезланишдан лентанинг хизмат қилиш муддати ва жойидан қимирламасдан пробуксовка даражаси 3 мартагача ошишини кўрсатди.



13-расм. Юклама ва салт юриш режимларини ҳисобга олган ҳолда, динамик юкламаларда двигателни ишга тушириш токи (а) ва моментга (б), конвейернинг тортиш кучайишига, лента ҳаракатларининг динамик таранглиги (с) -двигателнинг тезланиш вақтига; конвейер лентаси хизмат қилиш муддатининг тезланишга (д) боғлиқлик графиклари

Олиб борилган таҳлиллар натижасида тоғ-металлургия саноатида конвейер ленталарининг хизмат қилиш муддати ва емирилиши асосий омиллар функцияларида аниқланди, жумладан: ташиладиган руданинг йириклиги, зичлиги ва ҳарорати; юк ортиш пунктида тоғ массаларининг эркин тушиш баландлиги; лентанинг ҳаракат тезлиги ва жадалланиши; лентанинг узунлиги ва

кенглиги; конвейернинг қиялик бурчаги ва унумдорлиги; двигателнинг ишга тушиш вақти, токи ва моменти; динамик юкламада конвейернинг юк тортиши; келувчи ва кетувчи лента тармоқларининг динамик таранглиги; лентанинг боғланиш коэффициенти; юритмали конвейер барабани юзасига лентанинг босими; конвейер лентасида эластик тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги; унумдорлик ва вақт бўйича конвейердан фойдаланиш коэффициенти.

$$T_{cc} = f(a', \rho, H, v, \varepsilon, L, B_d, \alpha, t_{\text{нукс}}, M_{\text{нукс}}, I_{\text{нукс}}, F, S_{\text{дин.сб}}, S_{\text{дин.нб}}, \mu, P_{\sigma}, c', k_Q, k_{\sigma}) \quad (14)$$

Рудани ташишнинг динамик жараёнларида лента емирилишининг интенсивлигига таъсир этадиган бошқарилувчи омиллар, яъни двигателнинг тезланиши ва частотавий ишга тушиш вақти аниқланди.

Экспериментал маълумотлар ва регрессив таҳлиллар асосида конвейер лентаси емирилишининг математик модели динамик юкламаларини ҳисобга олган ҳолда, лента ҳаракатининг тезлиги v , конвейер тезланиши ε , ишга тушиш вақти $t_{\text{ишга туш.}}$, руданинг зичлиги ρ_n ва юкланишда руданинг тушиш баландлиги H функциясида олинди.

$$T_{cc} = 54,91397 - 9,65223 \cdot v + 14,73002 \cdot \varepsilon + 1,24159 \cdot t_{\text{нукс}} - 8,47626 \cdot \rho_n - 8,00793 \cdot H \quad (15)$$

Динамик жараёнларни ҳисобга олган ҳолда, лента емирилишининг моделини адекватликка текшириш шуни кўрсатдики, КЛС-1600 турдаги лентали конвейер учун ҳақиқий натижалар билан моделлашнинг натижаларининг номуносивблиги 3,39% дан кам эканлиги аниқланди. Моделнинг дастлабки маълумотларга мослигини таҳлил этиш олинган натижаларнинг етарли даражада аниқлигини кўрсатади.

Диссертациянинг бешинчи **«Мисни бойитиш фабрикасида руда тайёрлаш жараёнида электр энергияси сарфи меъёрини ишлаб чиқиш ва унинг таҳлили»** боби инструментал ўлчашлар натижалари бўйича руда тайёрлаш жараёнида электр энергия сарфи меъёрини ишлаб чиқаришга, Мисни бойитиш фабрикаси бўйича рудани қайта ишлаб чиқаришда электр энергия сарфининг солиштира меъёри кўрсаткичларининг динамик ўзгаришларига, Мисни бойитиш фабрикаси бўйича алоҳида технологик жараёнларда ўрнатилган частотавий ўзгартиргичли электр юритмалардан фойдаланишни таҳлил этишга бағишланган.

Ўзбекистон Республикаси Президенти Фармонида мувофиқ, Мисни бойитиш фабрикасининг янчиш ва майдалаш бўлимларини такомиллаштириш» лойиҳаси, фабрикада мисни ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш мақсадида жорий этилди. Комбинациялашган усул асосида рудани тайёрлаш жараёнлари учун энергетик сизим ва энергия ва ресурс тежамкорлик потенциали аниқланди, электр энергия сарфининг меъёри ишлаб чиқилди.

Руда тайёрлаш жараёнида технологик механизмларнинг электр юритмалари учун кучланишнинг ишчи частоталари 17 дан 55 Гц гача чегарада аниқланди. Бу асосан пластинкали ва лентали конвейерларнинг двигателларидир.

Рудани қайта ишлашга электр энергияси сарфининг солиштира меъёри кўрсаткичларини ўзгариш динамикаси таҳлил этилди. Рудани тайёрлаш

жараёнида энергия самарадорлигини баҳолаш учун электр энергия сарфини меъёрлашнинг комплекс методикаси, асосий таъсир этувчи омилларни ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилди. Экспериментал тадқиқотлар ва ҳисобот натижалари таҳлили асосида рудани қайта ишлашда янчиш ва майдалашга электр энергияси сарфи меъёри технологик, умумий цех ва умумий завод учун ишлаб чиқилди. Бирлик рудани ишлаб чиқаришга электр энергиясининг базавий сарфи меъёри мавжуд базавий меъёр билан солиштирилганда 2 %га камайди.

Диссертация **иловаларида** Мисни бойитиш фабрикаси 1- Янчиш цехи ва 2-Янчиш-бойитиш комплекси частотавий ўзгартиргичли механизмларининг экспериментал тадқиқотлари, карьер экскаваторларини модернизациялаш бўйича таклифлар ҳақида маълумотнома ва жорий қилинганлик далолатномалари, турли бошқарув тизимли экскаваторларнинг энергия самарадор ишлашини аниқлаш методикаси, лентали конвейернинг динамик жараёнини бошқариш тизимини мукамаллаштириш, шунингдек “Олмалик ТМК” АЖ Мисни бойитиш фабрикасида рудани янчиш ва майдалашга индивидуал машина ва механизмларнинг солиштирама электр энергия сарфи меъёрларини аниқлаш бўйича методикасини жорий қилиш далолатномаси ва маълумотнома келтирилган.

ХУЛОСА

Техника фанлари бўйича фан доктори (DSc) диссертация мавзуси «Тоғ металлургия саноатида тоғ-кон массасини қазиб ва руда тайёрлаш жараёнининг энергия самарадорлигини ошириш» бўйича илмий тадқиқот ишининг натижалари асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилган:

1. Генератор-ўзгармас ток двигатели, тиристорли ўзгартиргич-ўзгармас ток двигатели ва частота ўзгартиргич-асинхрон двигатели тизимларида экскаватор механизмларидаги ҳар бир ташкил этувчиларининг ФИКни ҳисобга олган ҳолда электр юритишда ростланувчи ўзгартиргич билан энергияни ўзгартиришнинг структура схемалари ишлаб чиқилди. Натижада турли бошқарув тизимлари бўйича экскаваторларнинг энергетик кўрсаткичлари ва энергия самарадорлик коэффициенти аниқлаш имконини берди.

2. Мавжуд ЭКГ типли экскаваторини модернизациялаш учун ТЎ-Д тизими бўйича мақбул бўлган вариант аниқланди. Натижада, карьерларда йилига 369 минг кВт·соатга электр энергиясини тежаш имконини берди. Карьер экскаваторлари ва бурғуловчи станоклари электромеханик ускуналарининг кучланиш ва ток гармоникалари таҳлил этилди. Натижада электр энергияси сифатига ва экскаваторларнинг энергия самарадорлигига таъсирини аниқлаш имконини берди.

3. Карьер экскаваторининг энергия самарадорлигини аниқлаш усули аналитик ва экспериментал ҳисоблаш усуллари ёрдамида ишлаб чиқилди, натижада карьер экскаваторининг тоғ массасини қазиб олиш учун электр энергияси сарф меъёрини аниқлаш имконини берди.

4. Карьер экскаваторининг энергия самарадорлигига таъсир этувчи асосий ташқи ва ички омиллар аниқланди; ҳамда экспериментал тадқиқотлар асосида энергия самарадорлигининг математик модели ишлаб чиқилди. Натижада карьер экскаваторларининг энергия самарадорлигини электр энергия сарфининг меъёри орқали баҳолаш имконини беради.

5. Рудани ташиш учун лентали конвейерни ишга туширишда бошқариш тизимини двигатель статорининг актив қаршилигида кучланиш тушишини S – шаклли частотавий бошқариш қонуни билан компенсациялаш ва частота ўзгартиргичи асосида ишга туширишда кучланишни 0 дан $1/3f_n$ гача қўшимча форсировка йўли билан аниқланди. Ушбу усулни қўллаш натижасида электр энергия сарфини 5-10%га камайтириш имконини берди, ҳамда йилига 809424 кВт·соатга электр энергиясини тежаш имкони яратди.

6. «Частота ўзгартиргичи-двигатель» тизимининг частатовий бошқарилувчи электр юритманинг математик модели ва структура схемаси ишлаб чиқилди; конвейер қурилмалари учун частотани бошқариш қонуни ва ўтиш жараёнларида частота ўзгариши қонунини ҳисобга олган ҳолда электр юритмани ва частота ўзгартиргичини танлаш алгоритми ишлаб чиқилди. Натижада конвейер қурилмаси учун частота ўзгартиргич ва электр юритмани тўғри танлаш имконини берди.

7. Лентали конвейер қурилмаларининг энергия самарадорлиги, конструктив ва энергетик параметрларнинг функциясида, маҳсулот бирлигига сарфланадиган электр энергияси меъёри позициясидан аниқланди. Натижада рудани ташиш учун электр энергияси сарф меъёрини аниқлаш имконини берди.

8. Рудани ташиш жараёнида лентанинг жадал емирилишига таъсир кўрсатувчи энг асосий бошқарув омиллари аниқланди. Натижада лентанинг емирилиш жадаллиги камайди ва унинг хизмат кўрсатиш муддати номинал қийматдан 3 мартага ошиш имконини берди.

9. Рудани ташиш жараёнида динамик режимларни ҳисобга олган ҳолда, лентанинг емирилиши ва хизмат кўрсатиш муддатини частотавий бошқаришнинг математик модели ишлаб чиқилди. Натижада мазкур математик модель конвейер лентасининг ҳаракатланиш тезлиги, тезланиши, ишга тушириш вақти, руданинг зичлиги ва юкланиш жараёнида руданинг тушиш баландлиги функциясида лента емирилишининг баҳолаш имконини берди.

10. Рудани қайта ишлаш жараёнида энергетик самарадорликни баҳолаш учун Мисни бойитиш фабрикаси бўйича таъсир этувчи асосий омилларни ҳисобга олган ҳолда, электр энергиясининг сарфини меъёрлаш усуллари ишлаб чиқилди ва жорий этилди. Натижада электр энергияси истеъмолини 2% га тежаш имкони берди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ
СТЕПЕНЕЙ DSc 27.06.2017.Т.03.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ И
ОБЩЕСТВЕ С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»**

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

ТОИРОВ ОЛИМЖОН ЗУВУРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА
ЭКСКАВАЦИИ ГОРНОЙ МАССЫ И РУДОПОДГОТОВКИ В
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

05.05.01 – Энергетические системы и комплексы

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

Ташкент – 2018

Тема докторской диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2018.4.DSc/T125.

Диссертация выполнена в Обществе с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр»

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

Научный консультант: Камалов Толяган Сиражиддинович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Хашимов Арифжон Адилевич
доктор технических наук, профессор

Wojciech Nowak (Польша)
доктор технических наук, профессор

Арипов Назиржон Мукарарович
доктор технических наук, профессор

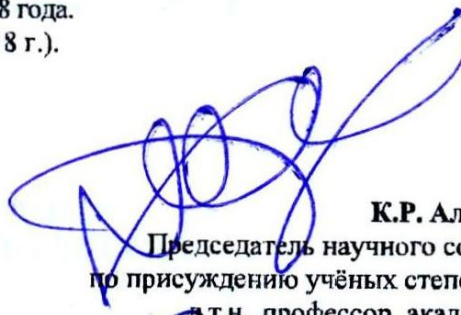
Ведущая организация: Навоийский государственный горный институт

Защита диссертации состоится 26 12 2018 г. в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc 27.06.2017.T.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете и обществе с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр». Адрес: 100095, г Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

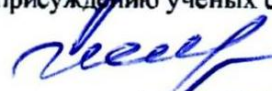
С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер - 68). (Адрес: 100095, Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан 14 12 2018 года.
(протокол рассылки № 13 от 14 12 2018 г.).




К.Р. Аллаев
Председатель научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик


О.Х. Ишнazarов
Учёный секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней, д.т.н., с.н.с.


М.И. Ибадуллаев
председатель научного семинара
при научном совете по присуждению
учёных степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире путем улучшения динамических режимов работы технологических машин и механизмов, элементов электромеханической системы современными регулирующими устройствами, совершенствование элементов электромеханической системы, использования способов управления создаются энергоэффективные технологии в горно-металлургической промышленности. «Основное энергопотребление в горно-обогатительных предприятиях происходит в процессе экскавации и рудоподготовки, что составляет более 38% от общего объема потребления энергии, в том числе на процессы рудоподготовки приходится не менее 10% мировых энергозатрат»¹. Вместе с этим путем повышения энергоэффективности работы конвейерных установок, усовершенствования систем управления электроприводов экскаваторов проводятся работы по снижению расхода электрической энергии и в свою очередь отдельное внимание уделяется развитию данной отрасли.

В мире ведутся исследования направленные на вопросы повышения ресурсосбережения и оптимизации путем улучшения режимов работы электромеханических установок горных машин и механизмов, внедрение в них разработок и энергосберегающих технологий, усовершенствование электромеханических комплексов и разработка схем управления регулируемым электроприводом для повышения энергоэффективности процессов экскавации и рудоподготовки. В этой области, важными разработками считаются разработка методики определения энергоэффективности процессов выемки горной массы и рудоподготовки с учетом основных влияющих факторов, законов управления частотно регулируемого электропривода, улучшение их динамических режимов путем разработки математических моделей и структурных схем и применение их в механизмах, создание новых способов и технологий энерго- и ресурсосбережения.

В нашей республике уделяется особое внимание реализации ряда мероприятий на горно-обогатительных предприятиях по снижению энергозатрат в процессах экскавации и рудоподготовки, определению приоритетных направлений по совершенствованию производства, повышению энергоэффективности в процессе экскавации, разработке системы управления электроприводов карьерных экскаваторов, внедрению энергосберегающего оборудования и технологии, обеспечивающих получение высоких технико-экономических показателей. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы» отмечены задачи «...сокращения энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, реализуемых по целевым параметрам снижения энергоемкости в отраслях экономики»². Реализация

¹<https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sovremennogo-sostoyaniya-i-perspektiv-razvitiya-drobilno-razmolnogo-oborudovaniya>

² Указ Президента Республики Узбекистан № ПП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

данных задач, в том числе определение энергоэффективности процесса экскавации и рудоподготовки, разработка и внедрение энергосберегающих режимов работы электропривода горных машин и механизмов на базе регулируемого электропривода, а также разработка научно обоснованных решений для построения систем управления электроприводов горных машин с учетом технологического режима и рационального использования энергетических ресурсов является одним из актуальных вопросов.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-3012 от 26 мая 2017 года «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сферы на 2017-2021 годы», № ПП-3211 от 15 августа 2017 «О дополнительных мерах по дальнейшему развитию АО «Алмалыкский ГМК»», № ПП-3238 от 23 августа 2017 года «О мерах по дальнейшему внедрению современных энергоэффективных и энергосберегающих технологий» и Постановление Кабинета Министров от 12 января 2018 года №22 «О дополнительных мерах по совершенствованию порядка пользования электрической энергией и природным газом», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики: II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации³.

Научные исследования, направленные на повышение энергоэффективности процесса экскавации горной массы и рудоподготовки на основе современной элементной базе регулируемых электроприводов, внедрение энерго- и ресурсосберегающих режимов технологического оборудования, проводятся во многих ведущих международных научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе, Massachusetts Institute of Technology, University of Texas at Austin, (США), University of Oxford, Imperial College London (Англия), Curtin University (Австралия), McGill University (Канада), Technische Universität Bergakademie Freiberg (Германия), Aalborg University (Дания), Национальном минерально-сырьевой университет «Горный», Московском энергетическом институте (Россия), AGH University of Science and Technology (Польша), University of Witwatersrand (Южно-Африканская Республика), University of Technology and Mines (Индия), Kyushu University (Япония), в ООО «Научно-технический центр», в Ташкентском государственном техническом университете (Узбекистан).

³Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации выполнен на основе <https://www.twirpx.com>, <http://www.sci-hab.la>, www.researchgate.net, <http://elibrary.ru>, <http://cyberleninka.ru>, www.dissercat.com, <https://uc-ciee.org> и других источниках.

В результате проведенных исследований по повышению энергоэффективности процесса рудоподготовки, определению потенциала энерго- и ресурсосбережения в горно-металлургической промышленности, созданию энергосберегающих технологий с помощью методов управления оборудования в мировом масштабе получены следующие научные результаты: развита теория управления частотно-регулируемого электропривода в механизмах горнорудной промышленности (Massachusetts Institute of Technology, США); разработаны нечеткий логический подход для энергосберегающих электроприводов общепромышленных механизмов (McGill University Канада); разработаны оптимальные управления технологического процесса средствами регулируемого электропривода (Aalborg University, Дания); разработаны энергосберегающие режимы горных машин в процессе обогащения (AGH University of Science and Technology, Польша); разработаны алгоритмы и модели комплексной оценки наработки карьерного экскаватора и пакета прикладных программ для автоматизации процесса экскавации (Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Россия).

Научные исследования по разработке энерго- и ресурсосберегающих режимов процесса рудоподготовки и повышению энергоэффективности технологического процесса в горно-металлургической промышленности в мире проводятся по следующим приоритетным направлениям: разработка регулирования и оптимизация технологических процессов на основе генетических алгоритмов, а также вопросы энергосбережения средствами частотно-регулируемого электропривода горных машин; определение управляющих факторов, влияющих на энергоэффективность технологии рудоподготовки; разработка методики комплексной оценки повышения эффективности эксплуатации экскаваторов.

Степень изученности проблемы. В настоящее время в горно-металлургической промышленности разработаны и внедрены энергосберегающие технологии при рудоподготовке и переработке минерально-сырьевых ресурсов, энергоэффективные частотно-регулируемые электроприводы горных машин. Значительный вклад вопросам энергосбережения средствами регулируемого электропривода горных машин посвящены работы Ильинского Н.Ф., Москаленко В.В., Андреева В.П., Браславского И.Я., Шрейнера Р.Т., Фираго Б.И., Реутова А.А., Ключева В.И., Дмитриева В.В., Белова М.П., Бабокина Г.И., Антоняка Е., Козярука А.Е., Auinger Herbert, Bose Bimal, Heinrich Walter, Norbert Schaefer, Хамудханова М.З., Камалова Т.С., Хашимова А.А., Ишназарова О.Х. и других. Вопросам исследования теоретических и практических задач по повышению энергоэффективности электромеханического оборудования процесса экскавации горной массы и рудоподготовки в горно-металлургической промышленности посвящены исследования ряда учёных и практиков, в частности Микитченко А.Я., Сафошина В.В., Грекова Э.Л., Малафеева С.И., Галкина В.И., Шишкина А.А., Кожубаева Ю.Н., Kulinowski P, Wojciech Nowak, Keyhani A., King Myke, Millar D. Вопросам посвященных эффективному использованию энергоресурсов в промышленности и оптимизации режимов

потребления электрической энергии среди ученых Узбекистана следует отметить работы: Т.Х. Насырова, Аллаева К.Р., Сытдыкова Р.А., Хошимова Ф.А., Алимходжаева К.Т., Арипова Н.М., Бобожанова М.К., и других.

Вместе с тем, не смотря на значительные достижения анализ работ показал, что в научных публикациях в достаточной мере не рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности электромеханического оборудования рудоподготовки, включая электромеханическое оборудование процесса экскавации в горно-металлургической промышленности.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках проектов, включенных в план научно-исследовательских работ ООО «Научно-технический центр» Ф2-ФА-О-12660 «Развитие теории рационального управления взаимосвязанными электромеханическими процессами и режимами энерго- и ресурсосбережения в турбомеханизмах горнорудной промышленности и систем оросительных насосных станций машинных каналов с частотно-управляемыми электроприводами» (2012-2016), АЗ-ФА-Ф106 «Модернизация энерго- и ресурсосберегающих технологий в промышленности (горно-металлургической) и сельском хозяйстве (насосные станции систем машинного орошения) на базе частотно-регулируемых электроприводов, адаптированных к их типичным механизмам, обеспечивающие рациональные режимы технологического процесса производства» (2012-2014), ФА-АЗ-90053 «Разработка энерго- и ресурсосберегающих режимов энергопотребления энергоёмких объектов отраслей экономики» (2015-2017) и БВ-Атех-2018-27 «Мониторинг энерго- и ресурсосбережения энергосилового оборудования энергоёмких объектов АО «Алмалыкский ГМК» в подразделениях: Медеплавильный завод и вновь поступающего энергосилового оборудования по программе перспективного развития производства по другим подразделениям Алмалыкского ГМК» (2018-2020).

Цель исследования состоит в повышении энергоэффективности процесса экскавации горной массы и рудоподготовки, включая конвейерные установки, как связующее звено между агрегатами рудоподготовки путем транспортировки сырья, определения энергоёмкости и выявления потенциала энерго- и ресурсосбережения.

Задачи исследования:

определение энергетических показателей электромеханического оборудования технологических машин и механизмов в процессе экскавации и рудоподготовки, а также гармонического состава в системе электроснабжения электромеханического оборудования;

сравнительный анализ систем управления электроприводами экскаваторов в процессе экскавации и их энергоэффективность;

разработка математической модели энергоэффективности карьерных экскаваторов с учетом технологических и энергетических факторов;

определение закона изменения относительной частоты и напряжения электропривода механизмов при питании от преобразователя частоты в переходных режимах.

разработка математической модели и структурной схемы асинхронного двигателя ленточной конвейерной установки при переменной частоте управления;

определение срока службы конвейерных лент и его ресурса при частотном регулировании электропривода с учетом динамических режимов;

разработка методики нормирования расхода электрической энергии на выемку и транспортировку руды в процессе экскавации горной массы и рудоподготовки с учетом основных влияющих факторов;

разработка и внедрение энергосберегающих режимов горных машин и механизмов на базе регулируемого электропривода.

Объектом исследования являются комплекс электроприводов горных экскаваторов в процессы экскавации и электромеханические оборудования рудоподготовки по Калмакырскому рудоуправлению и Медно-обогадательной фабрики АО «Алмалыкского ГМК».

Предметом исследования являются энергоэффективность работы карьерных экскаваторов, частотно-регулируемый электропривод ленточных конвейеров и их энергосберегающие режимы управления, энергоемкость технологического оборудования процесса экскавации и рудоподготовки.

Методы исследования. Методологическую основу работы составляют современные методы теории электропривода, математического моделирования электромеханических систем и комбинированный метод по определению энергоэффективности и энергоемкости производства, сравнительный анализ, расчетно-аналитические и статические обработки результатов при промышленных испытаниях разработанных моделей.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана структурная схема преобразования энергии в электроприводе с регулируемым преобразователем с учетом КПД каждой составляющей исполнительного механизма экскаватора в системах генератор-двигатель, тиристорный преобразователь-двигатель и преобразователь частоты-асинхронный двигатель;

разработана математическая модель и оценка нормы расходы электроэнергии на выемку руды при экскавации в рабочих и номинальных режимах работы экскаваторов с учетом основных технологических и энергетических параметров;

разработан энерго- и ресурсосберегающий режим работы частотно-регулируемого электропривода системы «преобразователь частоты-двигатель-конвейер»;

выявлены основные и управляющие факторы, влияющие на интенсивность изнашивания ленты с учетом динамических режимов, разработана математическая модель износа ленты конвейерных установок в процессе эксплуатации;

разработана комплексная методика нормирования расхода электрической энергии на выемку и транспортировки руды в процессе экскавации горной массы и рудоподготовки с учетом основных влияющих факторов для оценки энергоэффективности.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана методика расчета энергоемкости карьерного экскаватора расчетно-аналитическим методом, базирующимся на заданных значениях КПД каждой составляющей электрооборудования и механизма в целом;

проведен сравнительный анализ энергетических показателей и энергоэффективности экскаватора с различными системами управления на основе экспериментальных исследований, определен приемлемый вариант для модернизации действующего экскаватора;

обоснованы выбор рационального закона частотного управления асинхронными двигателями ленточных конвейеров при транспортировке руды и алгоритм выбора электропривода и закона управления преобразователя частоты;

установлены наиболее существенные управляющие факторы, влияющие на интенсивность изнашивания ленты в процессе транспортировки руды при динамических процессах;

разработана методика определения удельной нормы расхода электрической энергии на дробление и измельчение руды с целью совершенствования показателей энергоэффективности рудоподготовки

Достоверность результатов исследования. Достоверность полученных результатов исследования подтверждаются корректным применением математических методов и моделей, их адекватностью по известным критериям оценки изучаемых процессов, использованием известных положений фундаментальных наук, обоснованием исследуемых процессов расчетным и экспериментальным данным, внедрением статических методов обработки экспериментальных данных, полученных в процессе энергетических обследований горных предприятий.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость полученных результатов исследований характеризуется разработкой математической модели нормы расхода электроэнергии на выемку горной массы в функции основных факторов, влияющих на энергоэффективность; с разработкой энергосберегающих режимов работы двигателей ленточного конвейера в функции S – образного закона изменения частоты управления от времени; с установлением управляющих факторов на снижение интенсивности изнашивания ленты в процессе транспортировки руды при динамических процессах.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке регулирования производительности конвейерных установок на базе частотно-регулируемого электропривода для повышения энергоэффективности работы технологического оборудования; разработке энерго- и ресурсосберегающих режимов энергопотребления технологического оборудования на современной элементной базе регулируемых электроприводов, обеспечивающих рациональные режимы работы технологического процесса производства; разработке методики нормирования расхода электрической энергии в процессе экскавации горной массы и рудоподготовки на горных предприятиях АО «Алмалыкский ГМК».

Внедрение результатов исследования. На основе результатов исследований научно-исследовательских работ, в частности использование методологии проведения энергетических обследований и внедрение

предложенных мероприятий по повышению энергоэффективности процесса экскавации горной массы и рудоподготовки в горно-металлургической промышленности внедрены:

на карьерных экскаваторах путем замены существующей системы генератора постоянного тока и приводного двигателя на тиристорный преобразователь-двигатель и методика определения энергоэффективности работы экскаваторов с различными системами управления по Кальмакырскому рудоуправлению АО «Алмалыкского ГМК» (справка АО «Алмалыкского ГМК» № 31-10-403 от 24.10.2018 года). В результате получена экономия 369000 кВт·ч электроэнергии на карьерах.

усовершенствованная система управления пускового режима ленточного конвейера путем компенсации падения напряжения в активных сопротивлениях статора двигателя по S – образному закону частотного управления и дополнительной форсировки напряжения при его пуске от 0 до $1/3f_n$ на базе преобразователя частоты внедрена в Медно-обогадительной фабрике. (справка АО «Алмалыкского ГМК» № 31-10-403 от 24.10.2018 года). Применение этих способов регулирования на энергоёмких конвейерных установках позволило сократить электропотребление на 5-10%. В результате получена экономия 809424 кВт·ч электроэнергии

методика определения удельной нормы расхода электрической энергии индивидуальных машин и механизмов на дробление и измельчения руды с целью совершенствования показателей энергоэффективности рудоподготовки внедрена в Медно-обогадительной фабрике (справка АО «Алмалыкского ГМК» № 31-10-404 от 24.10.2018 года). В результате получена возможность снижения удельной нормы на единицу продукции 0,49 кВт·ч на тонну;

методы нормирования расхода электрической энергии в целом по предприятию для обеспечения экономии и эффективного использования электроэнергии по переработке руды на Медно-обогадительной фабрике (справка АО «Алмалыкского ГМК» № 31-10-404 от 24.10.2018 года). В результате использования методики нормирования расхода электрической энергии даёт возможность экономии электроэнергии 2% на переработку руды.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования докладывались и обсуждались на 30 научно-технических конференциях, в том числе на 20 международных и 10 республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 50 научных работ. Из них 20 научных статей, в том числе 14 в республиканских, 6 в зарубежных журналах, опубликованы 18 статей (13 – в республиканских, 5 – в зарубежных журналах) в научных публикациях, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан о публикациях основных научных результатов докторских диссертацией.

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновываются актуальность и востребованность темы диссертации, 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, обоснована достоверность полученных результатов, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, результаты апробации работы, сведения по опубликованным научным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Современное состояние процесса экскавации и рудоподготовки горно-металлургических предприятий и задачи повышения их эффективности»** приведен анализ современного состояния технологического процесса экскавации горной массы и рудоподготовки горно-металлургических предприятиях, приведен обзор исследований и систематизированы публикации по повышению энергоэффективности электрооборудования, участвующих в процессе экскавации горной массы и рудоподготовки на основе современной элементной базе регулируемых электроприводов выявлены основные задачи исследований.

Дана структура и распределение состава энергопотребления в процессах горных работ, экскавации горной массы и ее транспортировки, дробление и измельчение руды и обогащение в горно-обогатительных предприятиях.

Определена структура Алмалыкского горно-металлургического комбината с выделением отдельных структур по экскавации и рудоподготовки. В состав электротехнического оборудования процесса экскавации горной массы и рудоподготовки включены конвейерные установки, как связывающее транспортное звено в процессе рудоподготовки. Рассмотрен технологический регламент работы электрооборудований в процессы рудоподготовки.

Определено, что публикации посвященные разработке повышения энергоэффективности процесса экскавации и рудоподготовки не достаточно освещены, особенно вопросы, касающиеся регулируемого электропривода, обеспечивающие повышение энергоэффективности технологического процесса горно-металлургической промышленности.

На основании проведенного научного анализа и наших исследовательских и практических работ в подразделениях Алмалыкского горно-металлургического комбината определены цель и задачи исследования.

Во второй главе диссертации **«Энергоэффективность карьерных экскаваторов горно-металлургической промышленности»** изложены рабочие режимы и сравнительный анализ систем управления электроприводами экскаваторов горно-металлургической промышленности, выявлены энергетические показатели и гармонический состав электроснабжения электромеханического оборудования открытых горных разработок, а также разработаны математические модели энергоэффективности карьерных экскаваторов с учетом технологических и энергетических факторов.

В карьерах горнорудной промышленности основным технологическим оборудованием являются одноковшовые экскаваторы типа ЭКГ и от эффективности использования их существенно зависит работа горного предприятия. К главным механизмам ЭКГ относятся механизмы непосредственно участвующие в процессе экскавации грунта: подъёмный, поворотный, напорный.

Настоящее время на экскаваторах применяются три вида системы управления электроприводов: 1. Электропривод по системе генератор - электродвигатель постоянного тока Г-Д. 2. Электропривод постоянного тока с тиристорными преобразователями по системе ТП-Д постоянного тока. 3. Электропривод переменного тока с непосредственными преобразователями частоты по системе НПЧ-АД.

Построены нагрузочные диаграммы основных рабочих механизмов на основании теоретических расчетов. Фактические нагрузки механизмов несколько отличаются от расчетных. Для сопоставления рабочих нагрузочных диаграмм с теоретическими данными нами проведены экспериментальные исследования на реальном объекте в карьере Кальмакыр «Алмалыкского ГМК» на ЭКГ-10, в котором регулирование электроприводов основных механизмов экскаватора осуществлено по системы Г-Д, ТП-Д и ПЧ-АД за каждый цикл.

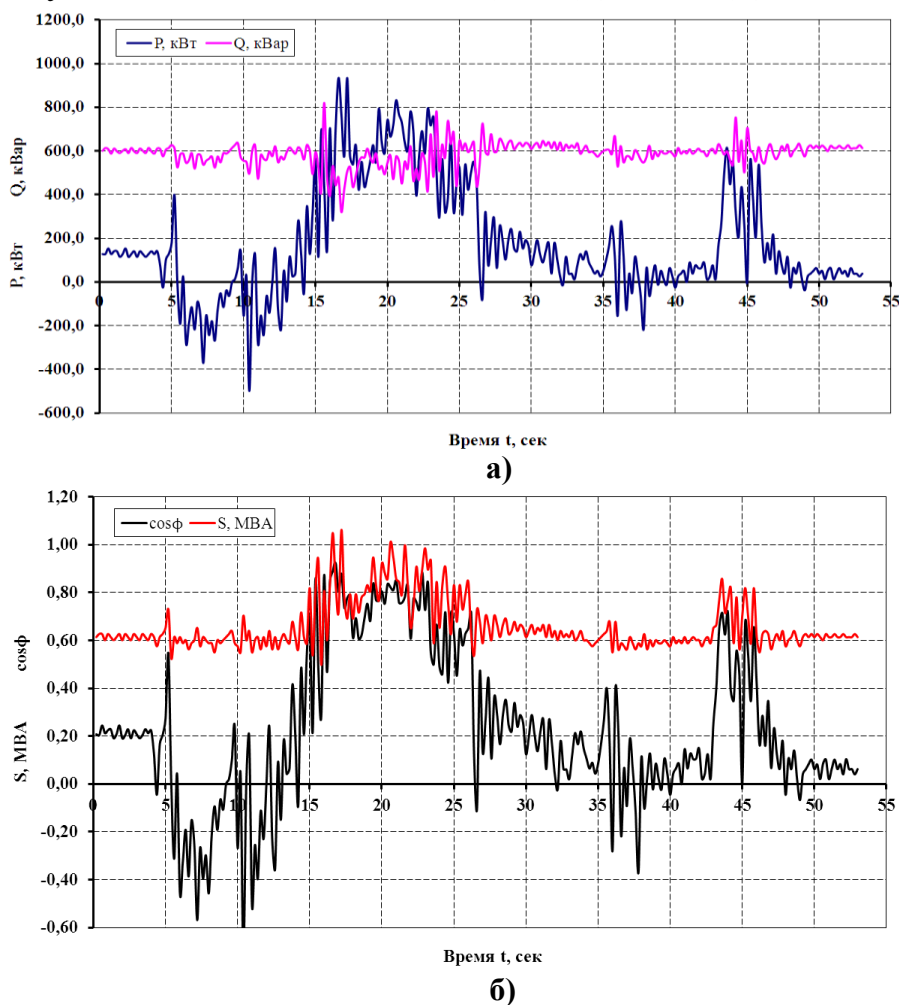


Рис. 1. Диаграмма потребляемой мощности и энергетические параметры экскаватора ЭКГ-10 в системе Г-Д за один цикл: а – активная и реактивная мощность, б – полная мощность и коэффициент мощности

Получены экспериментальные результаты основных энергетических показателей экскаватора ЭКГ-10 с различными системами управления за один цикл, которые приведены на рисунках 1-2.

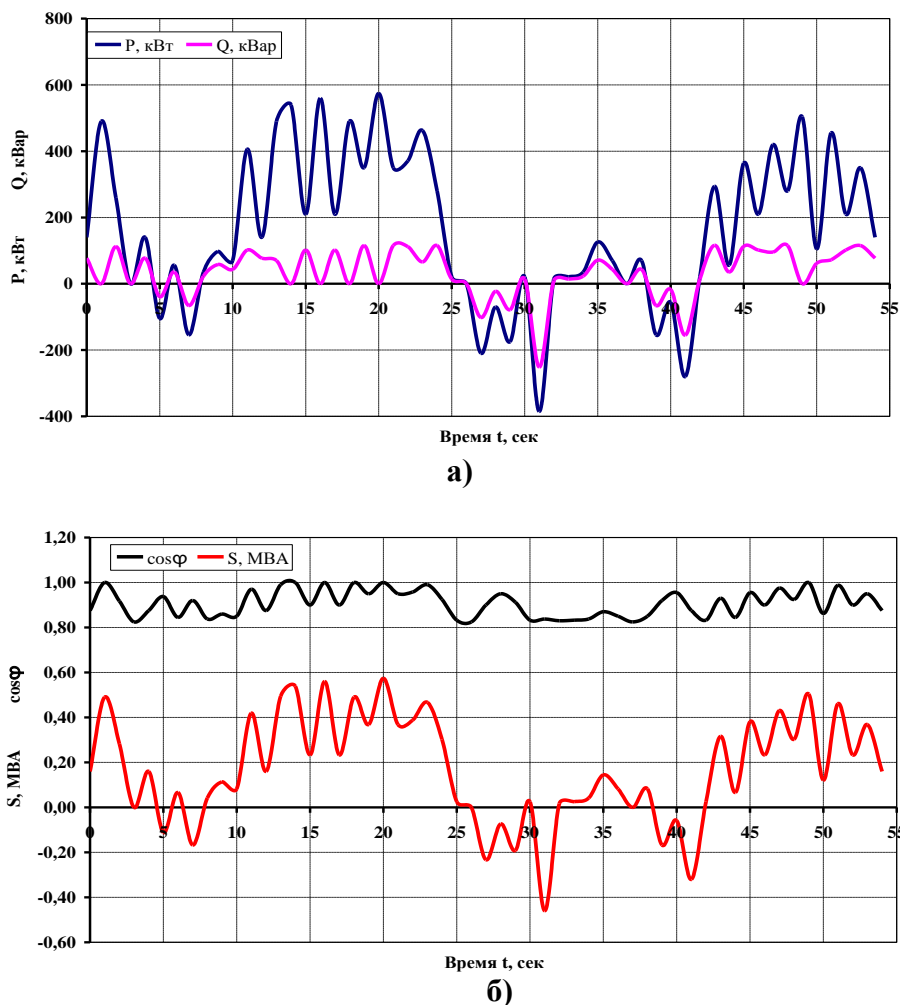


Рис. 2. Диаграмма потребляемой мощности и энергетические параметры экскаватора ЭКГ-10 в системе ТП-Д за один цикл: а – активная и реактивная мощность, б – полная мощность и коэффициент мощности

Электрооборудование экскаватора ЭКГ-10 в системе управления ПЧ-АД взамен существующих электроприводов по системе Г-Д питается от трех трансформаторов. Исходя из наличия трех трансформаторов, нами сняты диаграммы потребляемой мощности и энергетические параметры за один цикл рабочего режима экскаватора ЭКГ-10.

Как видно из диаграмм (рис. 1-2), режим работы главных приводов экскаватора характеризуется частым изменением нагрузки. Поэтому приводы механизмов экскаватора должны обладать достаточно мягкими рабочими и регулировочными характеристиками. Отсюда вытекают определенные требования к системам управления электроприводов, которые удовлетворяли бы режимы работы приводов основных механизмов экскаватора.

С этой точки рассмотрены существующие системы электроприводов с целью выбора оптимального варианта для модернизации действующей машины.

Определены и сопоставлены основные энергетические параметры и коэффициент энергоэффективности с учетом всех составляющих коэффициентов по каждой системе управления электроприводов экскаватора.

На рисунках 3-5 приведены структурные схемы преобразования энергии в электроприводе с регулируемым преобразователем с учетом КПД каждой составляющей исполнительных механизмов в системах Г-Д, ТП-Д, ПЧ-АД.

При этом чем больше коэффициент энергоэффективности, тем меньше потребление ток из сети, тем она более энергоэффективна и качество преобразования электроэнергии лучше. На основе структурной схемы (рис. 3) коэффициент энергетической эффективности $k_{ЭЭ(АД-Г-Д)}$, по системе управления Г-Д, определяются по следующим формулам

$$k_{ЭЭ(АД-Г-Д)} = \cos \varphi_{АД-Г-Д} \cdot \eta_{АД-Г-Д} = \cos \varphi_{АД} \cdot \eta_{напор} \cdot \eta_{подъем} \cdot \eta_{пов(1)} \cdot \eta_{пов(2)} \cdot \eta_{ход} \quad (1)$$

Общий КПД для каждой операции напора, подъема, поворота и хода экскаватора составляющей цикла будет:

$$\begin{aligned} \eta_{напор} &= \eta_{тр.} \cdot \eta_{АД} \cdot \eta_{г.нап.} \cdot \eta_{д.нап.} \cdot \eta_{нап.мех.}, \quad \eta_{подъем} = \eta_{тр.} \cdot \eta_{АД} \cdot \eta_{г.под.} \cdot \eta_{д.под.} \cdot \eta_{под.мех.}, \\ \eta_{пов.1} &= \eta_{тр.} \cdot \eta_{АД} \cdot \eta_{г.пов.} \cdot \eta_{д1.пов.} \cdot \eta_{пов.мех.}, \quad \eta_{пов.2} = \eta_{тр.} \cdot \eta_{АД} \cdot \eta_{г.пов.} \cdot \eta_{д2.пов.} \cdot \eta_{пов.мех.}, \\ \eta_{ход} &= \eta_{тр.} \cdot \eta_{АД} \cdot \eta_{г.ход.} \cdot \eta_{д.ход.} \cdot \eta_{ход.мех.} \end{aligned} \quad (2)$$

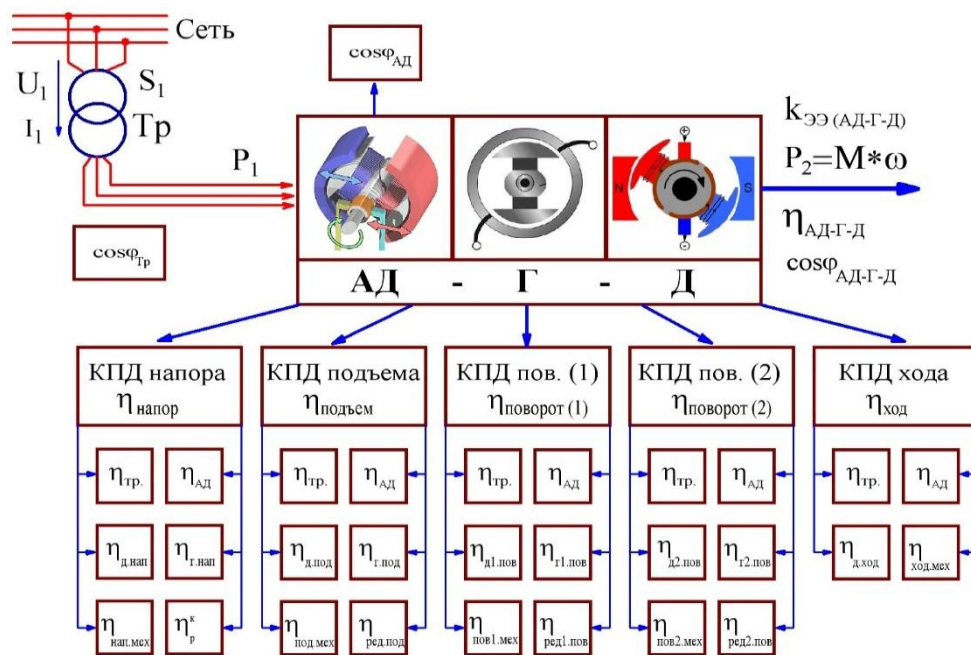


Рис. 3. Структурная схема механизмов преобразования энергии в системе АД-Г-Д:

Тр – силовой трансформатор; P_1 – потребляемая активная мощность из сети; $\cos \varphi_{АД}$, $\cos \varphi_{Тр}$, – коэффициенты мощностей АД и силового трансформатора; $\eta_{напор}$, $\eta_{подъем}$, $\eta_{пов(1)}$, $\eta_{пов(2)}$, $\eta_{ход}$ – общий КПД напора, подъема, поворота левый/правый и хода; $\eta_{тр.}$ – КПД силового трансформатора; $\eta_{АД}$ – КПД сетевого двигателя; $\eta_{г.нап.}$, $\eta_{г.под.}$, $\eta_{г1.пов.}$, $\eta_{г2.пов.}$ – КПД генераторы напора, подъема, поворота левый/правый; $\eta_{д.нап.}$, $\eta_{д.под.}$, $\eta_{д1.пов.}$, $\eta_{д2.пов.}$, $\eta_{д.ход}$ – КПД электродвигатели напора, подъема, поворота левый/правый; $\eta_{нап.мех.}$, $\eta_{под.мех.}$, $\eta_{пов1.мех.}$, $\eta_{пов2.мех.}$, $\eta_{ход.мех.}$ – КПД напорного, подъемного, поворотных и ходового механизмов; $\eta_{ред.нап.}$, $\eta_{ред.под.}$, $\eta_{ред1.пов.}$, $\eta_{ред2.пов.}$, $\eta_{ред.ход}$ – КПД напорного, подъемного, поворотных и ходового редуктора; η_r – КПД одной зубчатой пары редуктора механизма напора; $k_{ЭЭ(АД-Г-Д)}$ – коэффициент энергоэффективности; P_2 – полезная активная мощность двигателя; $\eta_{ЭЭ(АД-Г-Д)}$, $\cos \varphi_{ЭЭ(АД-Г-Д)}$ – общей КПД и коэффициент мощности в системе АД-Г-Д.

На основе структурной схемы (рис. 4) коэффициент энергетической эффективности $k_{ЭЭ(ТП-Д)}$, по системе управления ТП-Д, определяются по следующим формулам

$$k_{ЭЭ(ТП-Д)} = \cos \varphi_{ТП} \cdot k_{итТП} \cdot k_{инТП} \cdot \eta_{ТП-Д} = \cos \varphi_{ТП} \cdot k_{итТП} \cdot k_{инТП} \cdot \eta_{напор} \cdot \eta_{подъем} \cdot \eta_{пов(1)} \cdot \eta_{пов(2)} \cdot \eta_{ход} \quad (3)$$

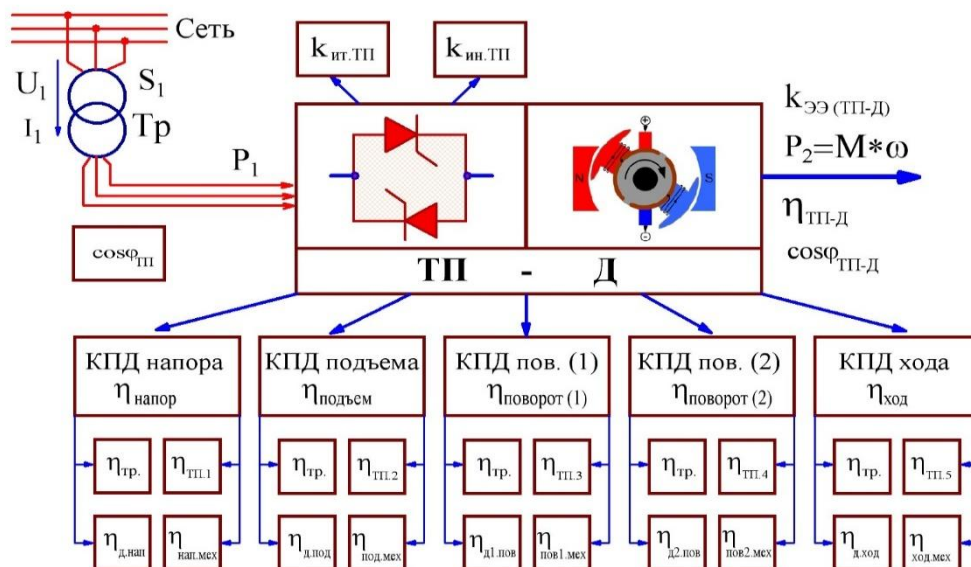


Рис. 4. Структурная схема механизмов преобразования энергии в системе ТП-Д: $\cos \varphi_{ТП}$, – коэффициент мощности тиристорного преобразователя; $k_{ит.ТП}, k_{ин.ТП}$ – коэффициенты искажения тока и напряжения тиристорного преобразователя; $\eta_{ТП1}, \eta_{ТП2}, \eta_{ТП3}, \eta_{ТП4}, \eta_{ТП5}$ – КПД тиристорных преобразователей

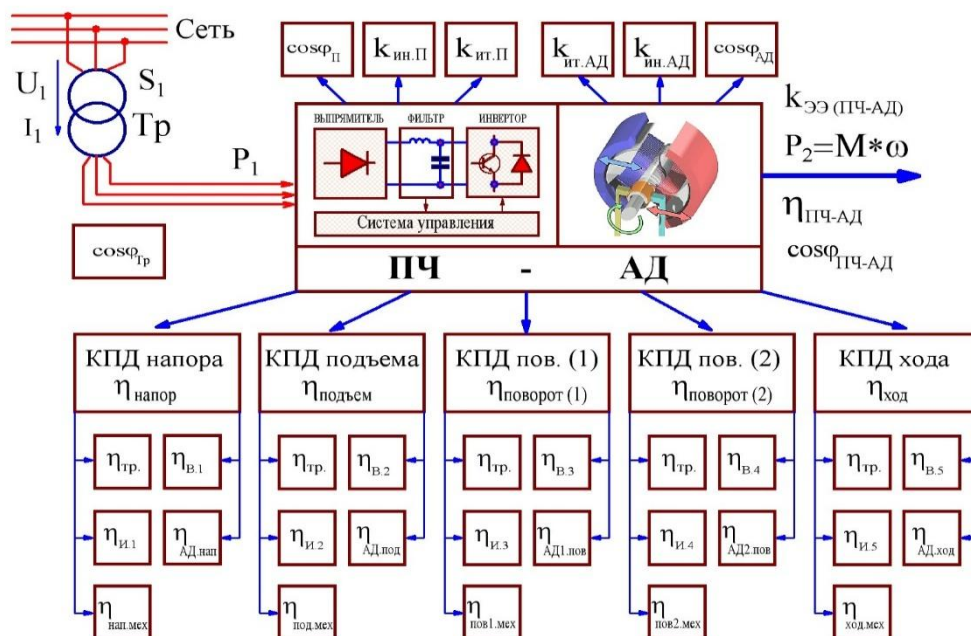


Рис. 5. Структурная схема механизмов преобразования энергии в системе ПЧ-АД: $\cos \varphi_{ПЧ}$, – коэффициент мощности ПЧ; $k_{ит.ПЧ}, k_{ин.ПЧ}$ – коэффициенты искажения тока и напряжения ПЧ на входе; $k_{ит.АД}, k_{ин.АД}$ – коэффициенты искажения тока и напряжения ПЧ на выходе; $\eta_{В1}, \eta_{В2}, \eta_{В3}, \eta_{В4}, \eta_{В5}$ – КПД выпрямителей, $\eta_{и1}, \eta_{и2}, \eta_{и3}, \eta_{и4}, \eta_{и5}$ – КПД инверторов.

На основе структурной схемы (рис. 5) коэффициент энергетической эффективности $k_{ЭЭ(ПЧ-АД)}$, определяется по следующим формулам

$$k_{ЭЭ(ПЧ-АД)} = \cos \varphi_{ПЧ-АД} \cdot k_{им(ПЧ-АД)} \cdot k_{ин(ПЧ-АД)} \cdot \eta_{ПЧ-АД} = \\ = \cos \varphi_{ПЧ} \cdot \cos \varphi_{АД} \cdot k_{имПЧ} \cdot k_{инПЧ} \cdot k_{имАД} \cdot k_{инАД} \cdot \eta_{напор} \cdot \eta_{подъем} \cdot \eta_{пов(1)} \cdot \eta_{пов(2)} \cdot \eta_{ход} \quad (4)$$

На основе расчетных и экспериментальных исследований проведен сравнительный анализ энергетических показателей и энергоэффективность экскаваторов с различными системами управления, которые значительно отличаются друг от друга (табл.). Отличительные особенности заключаются в следующем:

- в сравнении с традиционной системой управления Г-Д и современной системой ПЧ-АД, потребление активной мощности энергии за цикл экскавации в системе управления ТП-Д, уменьшается на 23%, и 6%, при этом полная потребляемая мощность снижается более чем на 55%; выявлено, что применение системы управления ТП-Д на карьерных экскаваторах обеспечивает снижение удельного расхода электроэнергии на выемку руды до 0,27 кВт·ч/м³;

- общее КПД экскаватора с учетом всех составляющих механизмов и преобразователя в системе управления ТП-Д на 28% и 4% выше, чем КПД системы управления Г-Д и ПЧ-АД;

- коэффициент мощности системы управления ТП-Д по сравнению с системами управление Г-Д и ПЧ-АД выше на 58% и 5% соответственно, повышение коэффициента мощности дает возможность сокращения энергетических потерь экскаватора, и улучшить показатели качества электрической сети;

- определены коэффициенты энергоэффективности различных систем управления экскаваторов. При использовании частотного преобразователя в процессе регулирования частоты коэффициент энергоэффективности уменьшается на 40% чем в системе ТП-Д. Коэффициент энергоэффективности системы управления Г-Д, по сравнению с системой управления ТП-Д, повышается на 20%.

Сопоставительная таблица энергетических и энергоэффективных показателей экскаваторов с различными системами управления

Энергетические показатели	Системы управления электроприводами ЭКГ		
	Г-Д	ТП-Д	ПЧ-АД
Общие КПД с учетом всех составляющих механизмов и преобразователи, %	65	83	80
Коэффициент мощности, $\cos \varphi$	0,3÷0,7	0,95	0,90
Активное энергопотребление за цикл, W, кВт·ч	10,08	7,65	8,10
Реактивное энергопотребление за цикл, Q, кВар·ч	11,02÷34,34	2,51	3,92
Полная потребляемая мощность за цикл, S, кВА·ч	15,43÷36,00	8,05	9,00
Удельный расход электроэнергии на выемку руды, N, кВт·ч/м ³	1,12	0,85	0,90
Коэффициент энергоэффективности, $k_{ЭЭ}$	0,65	0,78	0,55

Приемлемым вариантом для модернизации действующего экскаватора серии ЭКГ является применение электропривода по системе тиристорный преобразователь - двигатель постоянного тока. Это обусловлено следующими причинами: не требует внесения значительных изменений в конструкцию экскаватора; блочно-модульная конструкция преобразователя, сокращает время ремонта и простоя машины; из-за снижения расхода электроэнергии и износа основных механизмов экскаватора; дает уменьшение цикла работы, из-за снижения инерционности в переходных режимах работы и удельного расхода электроэнергии на выработку руды; высокий КПД и коэффициент мощности, надежность и быстродействие.

Наши исследования и исследования ряда авторов показывают, что одним из факторов влияющих на качество электрической энергии и энерго- и ресурсоэффективность являются высшие гармоники. Данные вопросы требуют дальнейшего изучения, так как они зависят не только от самих источников высших гармоник, но и режима работы технологического оборудования, электромеханическая система которой питается от преобразователей энергии. Данный вопрос особенно актуален, когда система работает в динамических режимах.

Проведены экспериментальные исследования на ЭКГ-10, эксплуатируемого в карьере Кальмакыр, где регулирование электроприводов основных механизмов экскаватора осуществлено по системе ПЧ-АД взамен существующих электроприводов по системе Г-Д.

На рис. 6 приведены осциллограммы мгновенного значения гармонического состава напряжения и тока до 50 гармоник замеренных на ЭКГ-10. Как видно из графика напряжения и тока в состав гармоник входят четные и нечетные гармоники. В гармониках напряжения и тока выделяются нечетные гармоники, особенно 3, 5, 7.

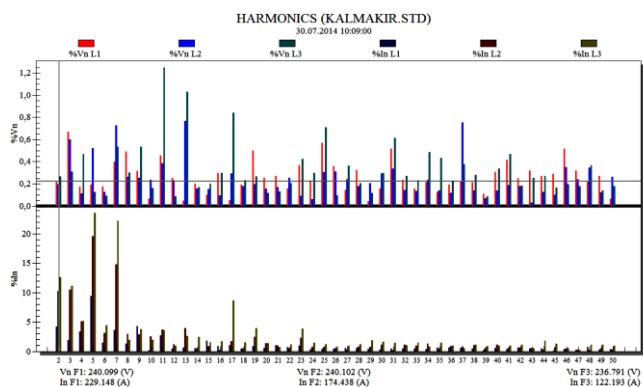


Рис. 6. Мгновенные значения гармонического состава напряжения и тока до 50 гармоник. ЭКГ-10

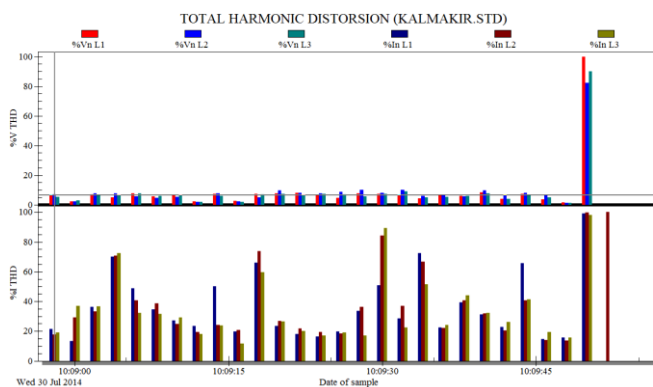


Рис.7. Изменения гармоник тока и напряжения за период времени 50 с ЭКГ-10

На рис. 7 представлены состав гармоник тока и напряжения каждой фазы рабочего цикла работы оборудования за период времени 50 сек. Как видно, состав гармоник меняется в течении времени. Амплитуда гармоник по напряжению остается неизменным, а амплитуда гармоник тока изменяется в

зависимости от продолжительности цикла – напора, поворота и подъема. Суммарный коэффициент гармонических искажений THD по напряжению изменяется в пределах 2-6%, отдельный скачок составляет 85 %. Суммарный коэффициент гармонических искажений THD по току изменяется в пределах 18-84%.

На рис. 8 представлены формы напряжения и тока каждой фазы за каждый период рабочего цикла. Форма напряжения в каждом полупериоде имеет искажение по каждой фазе в виде провалов от нечетных гармоник. Форма тока каждой фазы имеет провалы и всплески от режима работы правого цикла. Суммарный коэффициент гармонических искажений THD по напряжению каждой фазы составляет 7,5%, 7,4% и 7,7% соответственно. Суммарный коэффициент гармонических искажений THD по току каждой фазы составляет 48,7%, 40,8% и 32,1% соответственно.

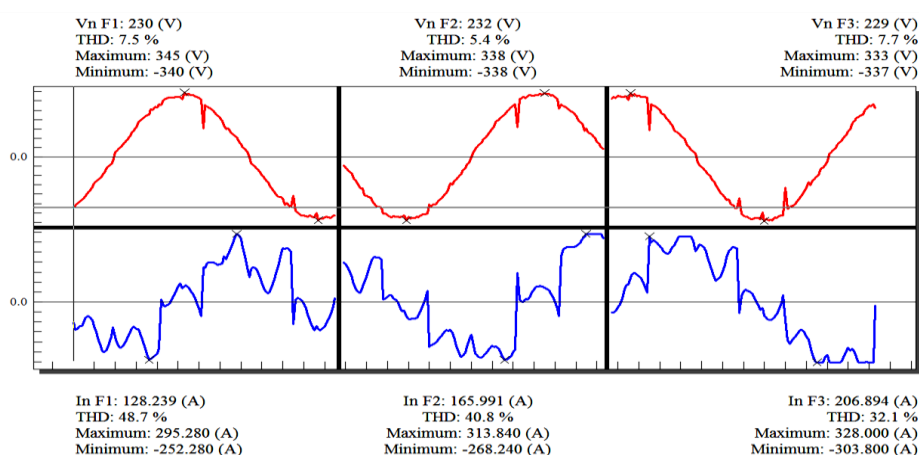


Рис. 8. Формы напряжения и тока каждой фазы за каждый период. ЭКГ-10

На рис. 9 приведены осциллограммы форм напряжения и тока каждой фазы в период пуска ЭКГ-10. Как видно из осциллограмм состав гармоник каждой фазы по напряжению и току отличаются друг от друга. Гармоники тока более выражены по отношению к гармоникам напряжения.

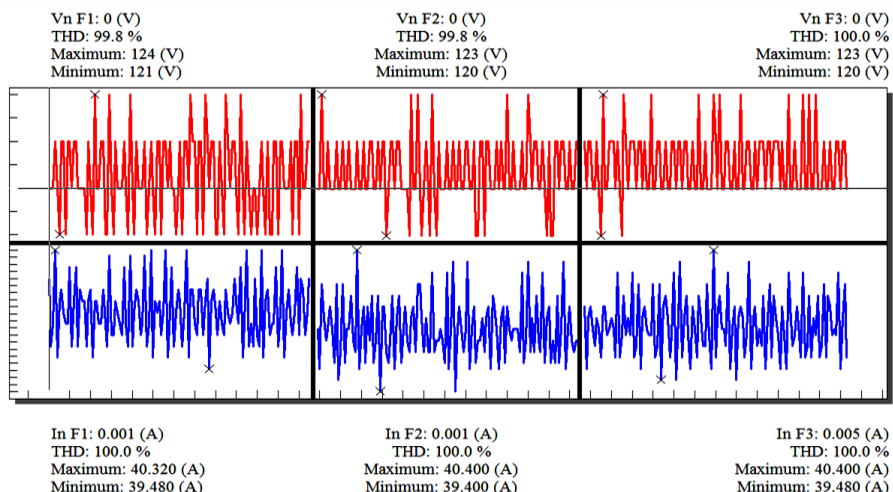


Рис. 9. Формы напряжения и тока каждой фазы за каждый период пуска ЭКГ-10

Суммарный коэффициент гармонических искажений THD по напряжению каждой фазы составляет 99,8%, 99,8% и 100% соответственно. Суммарный коэффициент гармонических искажений THD по току каждой фазы составляет 100%.

Значение суммарного коэффициента по току является следствием нелинейных нагрузок в электромеханических системах экскаватора. Суммарный коэффициент гармонических искажений по напряжению является результатом сильно искаженной формы потребляемого тока электроприводом. Устройства компенсации высших гармоник должны быть настроены на широкий спектр частот или использовать активные фильтры. Влияния высших гармоник на работу электротехнического оборудования в конечном итоге отражается на показателях энергоэффективности и запасе ресурсосбережения электромеханического оборудования.

Основным показателем существующих экскаваторов является их энергоемкость. Разработана методика расчета энергоемкости карьерного экскаватора расчетно-аналитическим методом, базирующимся на заданных значениях КПД каждой составляющей электрооборудования и механизма в целом, при известном значении их КПД и потребляемой мощности исполнительного механизма (напора, подъема поворота с учетом реверса и хода). Методика пригодна как для систем электропривода ТП-Д, так и для системы ПЧ-АД с учетом исключения электрооборудования не участвующих при выполнении работ полного цикла.

При эксплуатации карьерного экскаватора на энергоэффективность его работы влияют следующие основные внешние и внутренние воздействующие факторы и режим работы оборудования: 1. Уровень квалификации машиниста. 2. Категория пород по трудности экскавации. 3. Климатические факторы. 4. Плотность горных пород – ρ , т/м³. 5. Угол поворота экскаватора на разгрузку – $\alpha_{пов}$, град. 6. Коэффициент энергоэффективности оборудования – $k_{ээ}$. 7. Расход электроэнергии для экскавации – W , кВт·час. 8. Производительность экскаватора – Q , тонн.

Одновременно эти факторы влияют на показатель нормы расхода электрической энергии на выемку руды. В соответствии с этим норма расхода электроэнергии на выемку руды является функцией:

$$N = f(k_{ст.маш}, k_{пород}, T, \rho, \alpha_{пов}, k_{ээ}, W, Q) \quad (5)$$

По результатам экспериментальных замеров с использованием регрессионного анализа получена достоверная математическая модель нормы расхода электроэнергии на выемку руды в функции коэффициента стажевой группы машиниста и энергоэффективности оборудования, категории породы, температуры воздуха, угла поворота экскаватора на разгрузку, потребляемой электроэнергии, плотности и выемки горной массы

$$N_{ЭКГ} = 1,105323 + 0,025526 \cdot k_{ст.маш} + 0,033076 \cdot k_{пород} - 0,000083 \cdot T + 0,042356 \cdot \rho + 0,000434 \cdot \alpha_{пов} - 0,7056 \cdot k_{ээ} + 0,000193 \cdot W - 0,000163 \cdot Q \quad (6)$$

Третья глава диссертации «**Энергоэффективность работы конвейеров горно-металлургической промышленности**» посвящена современному состоянию ленточных конвейерных установок и вопросы их энерго- и ресурсосбережения. Произведен анализ работы конвейерных установок горно-металлургической промышленности, рассмотрены вопросы управления пусковых режимов ленточных конвейеров от частотно-регулируемых электроприводов; определена энергоэффективность ленточных конвейерных установок с позиции нормы расхода электрической энергии на транспортировку руды с учетом конструктивных особенностей.

Конвейерные установки являются связующим звеном технологического процесса рудоподготовки для обеспечения эффективной работы технологического оборудования, необходимо согласованное управление конвейерными установками. Как показывает практика эксплуатации конвейерных установок, режим их работы по загрузке имеет не равномерный характер. Для обеспечения равномерности загрузки конвейера и технологического оборудования, наиболее перспективным и высокоэффективным является внедрение частотно-регулируемого электропривода, отвечающего требованиям технологического процесса рудоподготовки.

Произведен анализ работы конвейерных установок горно-металлургической промышленности на примере Алмалыкского горно-металлургического комбината.

Разработана математическая модель и структурная схема асинхронного двигателя ленточной конвейерной установки при переменной частоте управления, обеспечивающий энергосберегающий режим работ при заданных требованиях технологического процесса.

Рассмотрены вопросы управления пусковыми режимами ленточных конвейеров от частотно-регулируемых электроприводов. Одним из основных показателей асинхронных электроприводов с частотным управлением являются их энергетические показатели.

Максимум электромагнитного момента определяется при критическом значении параметра абсолютного скольжения β

$$\beta_K = \pm \frac{\dot{r}_2}{\chi_r} \sqrt{\frac{(\frac{r_1}{F})^2 + \chi_s^2}{(\frac{r_1}{F})^2 + (\chi_s \sigma)^2}} \quad (7) \quad M_K = \frac{1}{2} \left(\frac{U}{F}\right)^2 \frac{a \chi_{\mu H}^2}{\chi_r \sqrt{[(\frac{r_1}{F})^2 + \chi_s^2][(\frac{r_1}{F})^2 + \chi_s \sigma]^2} + \frac{r_1}{F} \chi_{\mu H}^2} \quad (8)$$

Коэффициент мощности двигателя

$$\cos \varphi = \frac{(\frac{\dot{r}_2}{\beta}) \chi_{\mu H}^2 + \frac{r_1}{F} [(\frac{\dot{r}_2}{\beta})^2 + \chi_r^2]}{D \sqrt{(\frac{\dot{r}_2}{\beta})^2 + \chi_r^2}} \quad (9)$$

Электромагнитные потери в АД при переменной частоте управления

$$\Delta P_3 = \left(\frac{U}{F}\right)^2 \frac{m}{D^2} \left\{ r_1 \left[\left(\frac{\dot{r}_2}{\beta}\right)^2 + \chi_r^2 \right] + \frac{k_{CT} \chi_{\mu H}^2 F}{m C_{E f_H}^2} \left[\left(\frac{\dot{r}_2}{\beta}\right)^2 + \chi_{2H}^2 \right] + r_2^2 \chi_{\mu H}^2 \right\} \quad (10)$$

Электромагнитный коэффициент полезного действия АД

$$\eta_{\Sigma} = \frac{\frac{aw_{1H}}{m} \left(\frac{F}{\beta} - 1\right)}{\frac{k_{CT} F}{mr_2 C_E f_H} \left[\left(\frac{r_2}{\beta}\right)^2 + \chi_{2H}^2\right] + \frac{r_1}{r_2 \cdot \chi_{1H}^2} \left[\left(\frac{r_2}{\beta}\right)^2 + \chi_r^2\right] + \left(\frac{F}{\beta} - 1\right) \frac{aw_{1H}}{m} + 1} \quad (11)$$

Как видно из полученных выражений основные величины, характеризующие работу асинхронного двигателя, зависят от изменения U/F , r_2/β и r_1/F . Для обеспечения экономичной работы АД конвейерных установок необходимо регулировать отношение напряжения к частоте таким образом, чтобы его изменение компенсировало влияние изменения параметров двигателя и нагрузки и тем самым обеспечивало режим работы АД, близкий к его номинальному режиму.

Проведены экспериментальные исследования на примере ленточных конвейеров на МОФ, где в настоящее время начато широкое внедрение преобразователей частоты для технологического оборудования.

На рис. 10 представлены экспериментальные данные ленточных конвейерных установок в графической форме за период 30 минут.

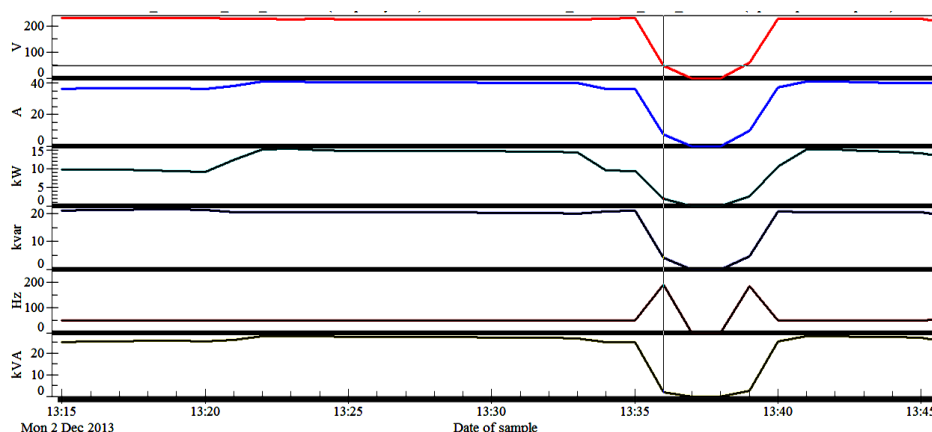


Рис. 10. Графики замеров электрических параметров электропривода, питающего от преобразователя частоты ленточного конвейера

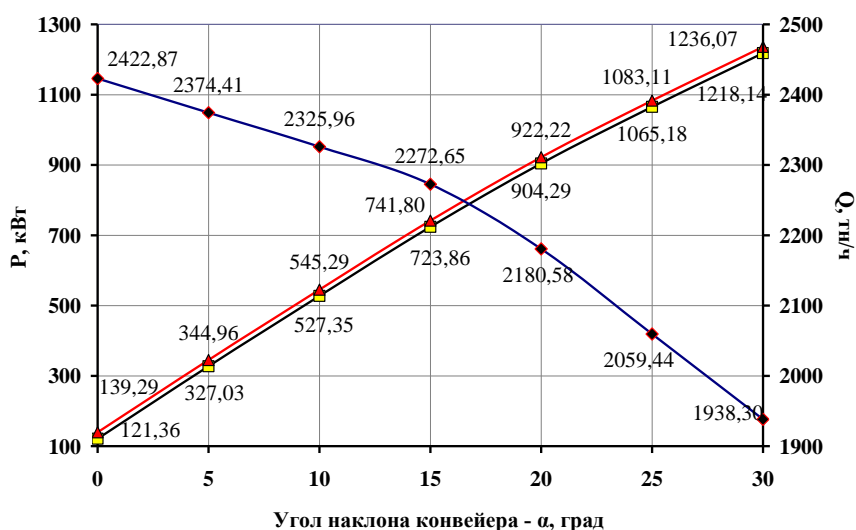
Из графика видно, как влияет нагрузка ленты конвейера на увеличение мощности и тока, уменьшение реактивной составляющей с увеличением активной составляющей мощности.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают, что для ленточных конвейеров разгон скорости наиболее удовлетворяющим условиям плавного пуска является управление осуществлять по S - образному закону частотного управления с учетом форсировки напряжения при его пуске от 0 до $1/3f_n$.

Рассмотрены влияние конструктивных и энергетических параметров ленточных конвейерных установок на показатели удельных норм расхода электрической энергии. Показатели изменения удельных норм рассмотрены для вариантов конвейера с углом подъема в пределах от 0 до 30° при переменном значении высоты подъема транспортируемой руды, а также для конструкции

конвейера, состоящей из горизонтальной и наклонной части с постоянным значением высоты подъема транспортируемой руды.

На рисунке 11 приведены расчетные значения мощности привода и производительности конвейера при различных углах подъема конвейера.



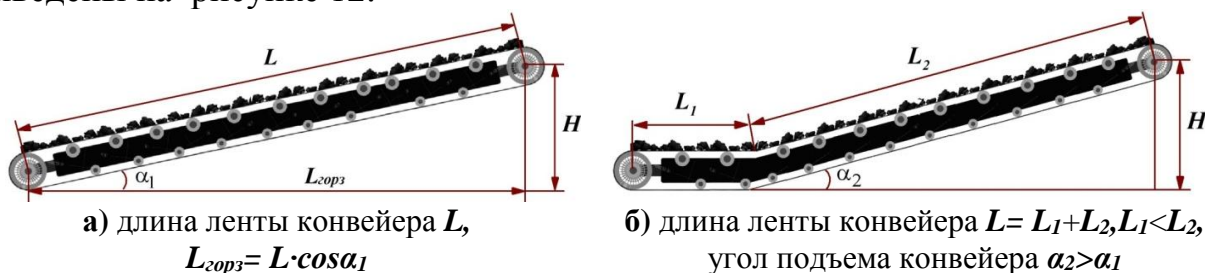
— $P_{\delta в}$ — мощность привода конвейера при различных углах подъема по упрощенной формуле, кВт; — $P_{\delta в}^I$ — мощность привода конвейера при различных углах подъема по точной формуле, кВт; — Q — производительность конвейера при разных углах подъема конвейера, т/ч.

Рис. 11. Производительность и мощность ленточного конвейера при разных углах подъема конвейера

Показатели удельных норм расхода электрической энергии на транспортировки руды определены для случаев: а) подъем транспортируемой руды для конструкции конвейерной ленты без горизонтальной части с углом подъема в пределах 5-30 градусов с постоянной $Q=const$ и переменной $Q=var$ производительностью конвейера;

б) подъем транспортируемой руды для конструкции конвейера состоящей из двух составляющих, горизонтальной и наклонной частью с постоянным значением высоты подъема транспортируемой руды как для $Q=const$ так и для $Q=var$.

Представляет интерес определение зависимости энергоэффективности конвейера при различных значениях угла подъема при постоянном значении длины конвейера и высоты подъема (H) при следующих вариантах, которые приведены на рисунке 12.



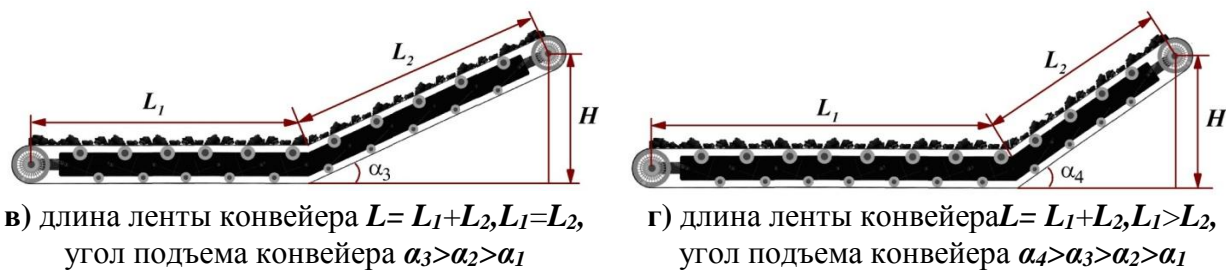


Рис. 12. Конструктивные исполнения конвейера, согласно соотношениям L, L_1, L_2 , и углам подъема $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$

При одинаковом значении высоты подъема и общей длины наиболее эффективной является конструктивное исполнение ленточного конвейера без горизонтальной составляющей.

Определена энергетическая эффективность ленточных конвейерных установок с позиции нормы расхода электрической энергии на единицу продукции, что является функцией мощности приводного двигателя, коэффициента загрузки, коэффициента использования, объема загрузки рудой, ширины ленты конвейера, скорости движения ленты конвейера, объёмной плотности транспортируемого груза, коэффициента заполнения несущей поверхности конвейера грузом, коэффициента – учитывающего снижение производительности при увеличении угла подъема конвейера за счёт осыпания части груза назад, длины ленточного конвейера, угла подъема конвейера, коэффициента сопротивления перемещению, высота подъёма груза, КПД привода, КПД приводного барабана, КПД передаточного механизма и коэффициента мощности двигателя, что отражено функцией:

$$N = \varphi(P_{дв}, k_z, k_u, Q, v_l, \rho, \psi, \varphi, L, \alpha_d, w, H, \eta_{пр}, \eta_m, \eta_{бар}, \cos \varphi) \quad (13)$$

Четвертая глава диссертации «**Экспериментальные исследования и математические модели износа ленты конвейерных установок при частотном управлении**» посвящена анализу существующих методик по определению долговечности и срока службы конвейерной ленты при транспортировке руды, проведены экспериментальные исследования и разработаны математические модели износа ленты конвейерных установок при частотном управлении.

В ленточном конвейере одним из основных и дорогостоящих элементов является грузонесущая лента. Ее стоимость составляет около 50-70% стоимости всей конвейерной установки. На горно-металлургических предприятиях срок службы и износ конвейерных лент сильно отличается от других предприятий, зависит от условий эксплуатации и режима работы ленточного конвейера.

Сделан анализ существующих методик по определению долговечности и срока службы конвейерной ленты при транспортировке руды. Выявлено что, эти методики не позволяют рассчитать энергетические параметры при динамических процессах, которые существенно влияют на срок службы и долговечность конвейерных лент. Совершенствована существующая методика

по определению срока службы конвейерных лент с учетом динамических режимов эксплуатации ленты при транспортировке руды.

С целью изучения динамических нагрузок на ленту, были проведены экспериментальные исследования ленточного конвейера КЛС-1600 для транспортировки руды. На основе экспериментальных исследований определены динамические картинки изменения пусковых тяговых усилий и момент двигателя, скоростей и ускорений ленты и приводов ленточного конвейера при частотном управлении в условиях технологического процесса транспортировки руды с учетом холостого хода и под нагрузкой конвейера. Эти данные приведены на рисунке 13.

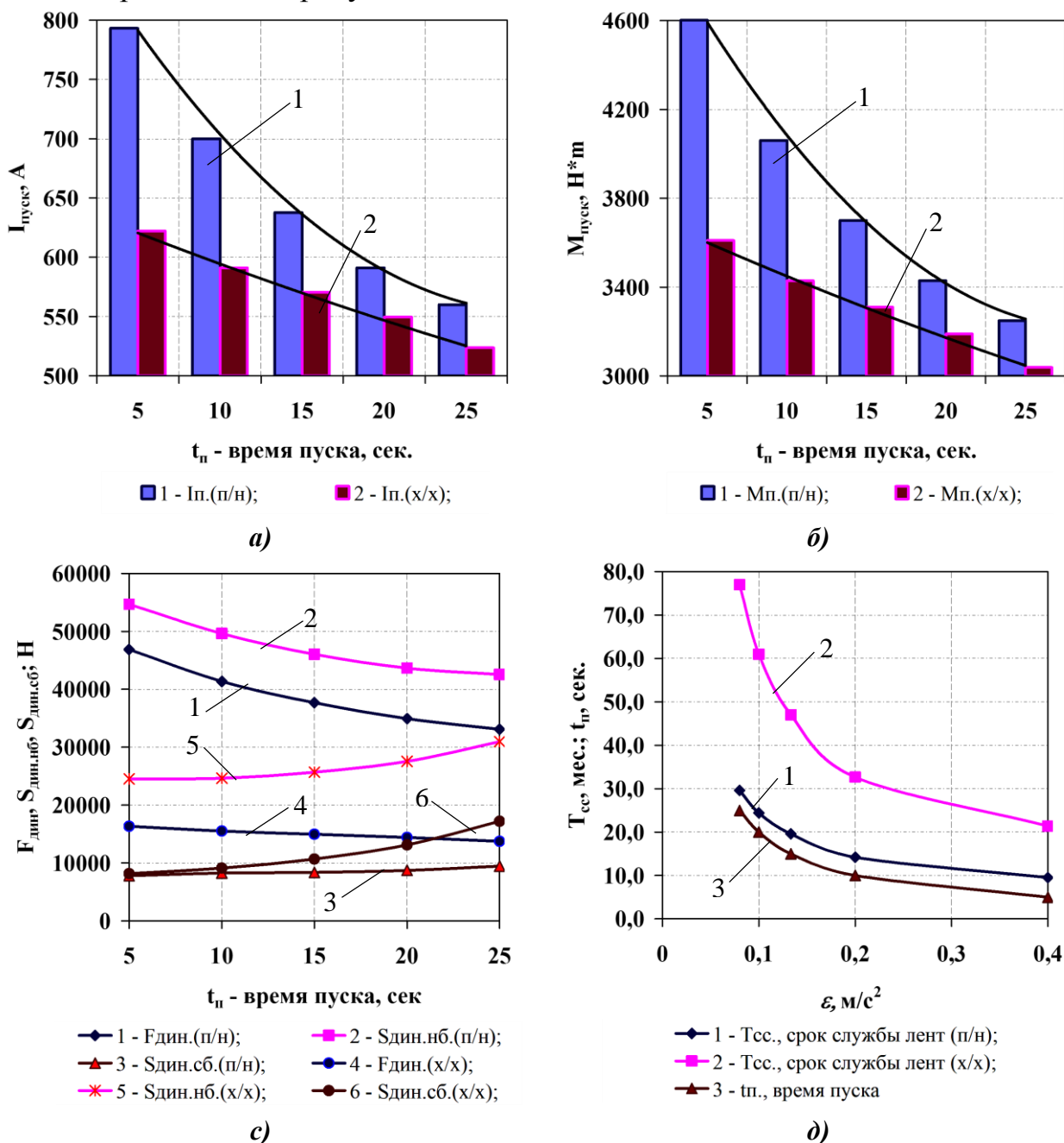


Рис. 13. Графики зависимости пускового тока (а) и моменты двигателя (б), тяговое усилие конвейера при динамической нагрузках, динамическое натяжение набегающей и сбегающей ветви ленты (с) от времени разгона двигателя; срока службы конвейерных лент от ускорения (д) с учетом режимов холостого хода и под нагрузки

Экспериментальные и теоритические исследования показывают, что в пусковых режимах при уменьшении интенсивности и ускорения скорости двигателя ленточного конвейера до $0,08 \text{ м/с}^2$, уровень пробуксовки изнашивания и срок службы ленты увеличивается 3 раза от номинального назначения ускорения $0,4 \text{ м/с}^2$ под нагрузкой.

В результате проведенного анализа определены износ и срок службы конвейерных лент горно-металлургической промышленности в функции основных факторов, а именно: крупности, температуры и плотности транспортируемой руды; высоты свободного падения горной массы в пункте загрузки; скорости движения и ускорения ленты; длины и ширины ленты; производительности и угла наклона конвейера; пусковое время, тока и момента двигателя; тяговое усилие конвейера при динамической нагрузке; динамическое натяжение набегающей и сбегаяющей ветви ленты; коэффициента сцепления ленты; давление ленты на поверхность приводного барабана конвейера; скорость распространения упругих волн в конвейерной ленте; коэффициентов использования конвейера по производительности и времени.

$$T_{cc} = f(a', \rho, H, v, \varepsilon, L, B_l, \alpha, t_{\text{пуск}}, M_{\text{пуск}}, I_{\text{пуск}}, F, S_{\text{дин.сб}}, S_{\text{дин.нб}}, \mu, P_{\sigma}, c', k_Q, k_{\sigma}) \quad (14)$$

Выявлены существенные управляющие факторы, влияющие на интенсивность износа ленты такие как: ускорение двигателя и время частотного пуска в процессе транспортировки руды при динамических процессах.

В результате экспериментальных данных и регрессионного анализа получена математическая модель износа конвейерных лент с учетом динамических нагрузок, в функции скорости движения ленты v , ускорение конвейера ε , время пуска $t_{\text{пуск}}$, плотность руды ρ_n и высота падения руды в загрузки H , которая аппроксимирована уравнением с исходным массивом данных, полученным в ходе эксперимента.

$$T_{cc} = 54,91397 - 9,65223 \cdot v + 14,73002 \cdot \varepsilon + 1,24159 \cdot t_{\text{пуск}} - 8,47626 \cdot \rho_n - 8,00793 \cdot H \quad (15)$$

Проверка на адекватность модели износа ленты с учетом динамических процессов показывает, что расхождение результатов моделирования с фактическими данными для ленточного конвейера КЛС-1600 не более чем на 3,39%. Анализ соответствия модели исходным данным показывает адекватность в достаточной степени точности полученных результатов.

Пятая глава диссертации **«Анализ и разработка норма расхода электроэнергии в процессе рудоподготовки Медно-обогадательной фабрике»** посвящена разработке норм расхода электроэнергии в процессе рудоподготовки по данным инструментальных замеров, динамика изменения показателей удельных норм расхода электроэнергии на перерабатываемую руду, анализ используемых электроприводов с преобразователями частоты, установленных в отдельных технологических процессах по МОФ.

В соответствии с Постановлением Президента Республики Узбекистан на фабрике осуществлена реализация проекта «Реконструкция отделений дробления и измельчения МОФ», с целью повышения эффективности производства меди. На основе комбинированного метода определены энергоёмкость и потенциал энерго- и ресурсосбережения, разработаны нормы расхода электроэнергии для процесса рудоподготовки.

Определены рабочие частоты напряжения для электроприводов технологических механизмов в процессе рудоподготовки в пределах от 17 до 55 Гц. Это в основном двигатели пластинчатых, ленточных конвейеров.

Анализирована динамика изменения показателей удельных норм расхода электроэнергии на перерабатываемую руду. Разработана комплексная методика нормирования расхода электрической энергии на переработку руды в процессе рудоподготовки с учетом основных влияющих факторов для оценки энергоэффективности. На основе экспериментальных исследований и анализа отчетных данных разработаны технологические, общецеховые и общезаводские нормы расхода электрической энергии для переработки руды на дробление и измельчение. Базовая норма расхода электрической энергии на единицу переработки руды по сравнению с существующей базовой нормой уменьшены на 2%.

В приложениях диссертации приведены экспериментальные данные механизмов Дробильного цеха-1 и дробильно-обогащительного комплекса-2 МОФ с частотными преобразователями, акты внедрения и справка рекомендации по модернизации карьерных экскаваторов, методика определения энергоэффективности работы экскаваторов с различными системами управления, совершенствования системы управления динамического процесса ленточного конвейера; а также акт внедрения и справка на методику по определению удельной нормы расхода электрической энергии индивидуальных машин и механизмов на дробление и измельчение руды МОФ АО «Алмалыкский ГМК».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов диссертационной работы (DSc) по техническим наукам «Повышение энергоэффективности процесса экскавации горной массы и рудоподготовки в горно-металлургической промышленности» представлено следующее заключение:

1. Разработана структурная схема преобразования энергии в электроприводе с регулируемым преобразователем с учетом КПД каждой составляющей исполнительного механизма экскаватора в системах Г-Д, ТП-Д и ПЧ-АД. В результате получена возможность определения основных энергетических показателей и коэффициентов энергоэффективности различных систем управления.

2. Проведен сравнительный анализ энергетических показателей и энергоэффективности экскаваторов с различными системами управления, определен приемлемый вариант для модернизации действующего экскаватора ЭКГ по системе тиристорный преобразователь - двигатель постоянного тока. В результате получена возможность экономии 369 тыс.кВт·ч электрической энергии на карьерах. В результате достигнута возможность определения воздействия на качество электрической энергии и энергоэффективность экскаватора

3. В результате разработки методики расчета энергоемкости карьерного экскаватора расчетно-аналитическим и расчетно-экспериментальным методами получена возможность определения нормы расхода электрической энергии карьерного экскаватора при выемке горной массы.

4. Определены основные внешние и внутренние воздействующие факторы, влияющие на энергоэффективность карьерного экскаватора; на основе экспериментальных исследований разработана достоверная математическая модель энергоэффективности. В результате получена возможность оценки энергоэффективности карьерного экскаватора через норму расхода электроэнергии.

5. Определена система управления пускового режима ленточного конвейера путем компенсаций падения напряжения в активных сопротивлениях статора двигателя по S – образному закону частотного управления и дополнительной форсировки напряжения при его пуске от 0 до $1/3f_n$ на базе преобразователя частоты для транспортировки руды. В результате применения данного способа получена возможность снижения расхода электроэнергии на 5-10%, а в год экономия электроэнергии составит 809424 кВт·час.

6. Разработана математическая модель и структурная схема частотно-регулируемого электропривода системы «преобразователь частоты-двигатель-конвейер»; разработан алгоритм выбора электропривода и преобразователя частоты для электропривода конвейерных установок с учетом закона управления частотой и закона изменения частоты в переходных процессах. В результате получена возможность правильного выбора частотного преобразователя и электропривода для конвейерной установки.

7. Определена энергетическая эффективность ленточных конвейерных установок с позиции нормы расхода электрической энергии на единицу продукции, что является функцией конструктивных и энергетических параметров. В результате получена возможность определения нормы расхода электроэнергии для транспортировки руды.

8. Установлены наиболее существенные управляющие факторы, влияющие на интенсивность изнашивания ленты в процессе транспортировки руды. В результате интенсивность изнашивания ленты уменьшается и срок ее службы увеличивается 3 раза от номинального значения.

9. Разработана математическая модель износа и срока службы конвейерных лент при транспортировке руды с учетом динамических режимов при частотном управлении электропривода. В результате данная модель дает возможность оценки износа конвейерной ленты в функции скорости движения ленты, ускорения конвейера, времени пуска, плотности руды и высоты падения руды в процессе загрузки.

10. Для оценки энергоэффективности при переработке руды на медно-обогатительной фабрике разработана и внедрена методика нормирования расхода электрической энергии на переработку руды с учетом основных влияющих факторов. В результате будет достигнута экономия потребления электроэнергии на 2 %.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD SCIENTIFIC DEGREE
DSc. 27.06.2017. T.03.03 AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL UNI-
VERSITY AND LIMITED LIABILITY COMPANY
«SCIENTIFIC TECHNICAL CENTRE»**

LIMITED LIABILITY COMPANY «SCIENTIFIC TECHNICAL CENTRE»

TOIROV OLIMJON ZUVUROVICH

**IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE PROCESS OF
EXCAVATION OF ROCK MASS AND ORE PREPARATION IN THE
MINING AND METALLURGICAL INDUSTRY**

05.05.01 - Energy systems and complexes

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

Tashkent– 2018

The title of the doctoral dissertation (DSc) has been registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2018.4.DSc/T125.

Dissertation has been prepared at the Limited Liability Company «Scientific-Technical Centre». Abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council (www.tdtu.uz) and on Information-education portal «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor: Kamalov Tolyagan Sirajiddinovich
Doctor of technical sciences, Professor,

Official opponents: Khashimov Arifjon Adilovich
Doctor of Technical Sciences, Professor
Wojciech Nowak (Poland)
Doctor of Technical Sciences, Professor
Aripov Nazirjon Mukaramovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Leading organization: Navoi State Mining Institute

The defense will take place on «26» 12 2018 y. in 14⁰⁰ at the meeting of Scientific Council DSc 27.06.2017.T.03.03 at the Tashkent State Technical University and LLC «Scientific-Technical Center». Address: 2, University str., Tashkent 100095, Uzbekistan. Phone/Fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tsu_info@tdtu.uz.

The doctoral (DSc) dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Tashkent State Technical University (Registration number 68). (Address: 2, University str., Tashkent 100095, Uzbekistan. Phone/Fax: (99871) 246-03-41.

Abstract of the dissertation was distributed on «14» 12 2018 year.
(mailing report № «13» of «14» 12 2018 year)



K.P. Allaev
Chairman of Scientific Council on award of scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor, Academician

O.X. Ishnazarov
Scientific secretary of the Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Senior Scientific Researcher

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

INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

The aim of the research is to improve the energy efficiency of the process of excavation of rock mass and ore preparation, including conveyor installations, as a link between the units of ore preparation by transporting raw materials, determining energy intensity and identifying the potential of energy and resource saving.

The tasks of the research:

determination of energy indicators of electromechanical equipment of technological machines and mechanisms in the process of excavation and ore preparation, as well as the harmonic composition in the power supply system of electromechanical equipment;

comparative analysis of excavator electric drive control systems during the excavation process and their energy efficiency;

development of the mathematical model of energy efficiency of career excavators, taking into account technological and energy factors;

determination of the law of change of the relative frequency and voltage of the electric drive mechanisms when powered by a frequency converter in transient modes.

development of a mathematical model and structural diagram of an asynchronous motor of a belt conveyor system with variable control frequency;

definition of service life of conveyor belts and its resource at frequency regulation of the electric drive taking into account dynamic modes;

development of methods for the rationing of electrical energy consumption for excavation and transportation of ore in the process of excavation of the rock mass and ore preparation, taking into account the main influencing factors;

development and implementation of energy-saving modes of mining machines and mechanisms based on an adjustable electric drive.

The object of the research are the complex of electric drives of mining excavators in the processes of excavation and electromechanical equipment for ore preparation at the Kalmakyr Mine Administration and the Copper Processing Plant of Almalyk Mining and Metallurgical Combine.

The scientific novelty of the research consists of following:

the structural diagrams of energy conversion in an electric drive with an adjustable converter has been developed, taking into account the efficiency of each component of the excavator's actuator in the systems “generator – motor”, “thyristor converter – motor” and “frequency converter – induction motor”;

developed a mathematical model and assessment of the norm of electrical energy consumption for ore excavation during excavation in the working and nominal modes of operation of excavators, taking into account the basic technological and energy parameters;

developed energy- and resource-saving mode of operation of the frequency-controlled electric drive of the “frequency converter-motor-conveyor” system;

identified the main and controlling factors affecting the wear rate of the belt, taking into account the dynamic modes, developed a mathematical model of wear of the conveyor belt during operation;

developed a comprehensive method of rationing the consumption of electrical energy for excavation and transportation of ore in the process of excavation of rock mass and ore preparation, taking into account the main influencing factors to assess energy efficiency.

Implementation of the research results. Based on the research results of research works, in particular, the use of the methodology for conducting energy audits and the implementation of the proposed measures to improve the energy efficiency of the process of excavation of the rock mass and ore preparation in the mining and metallurgical industry implemented:

on open-pit excavators by replacing the existing DC generator system and drive motor with the thyristor converter-motor and method for determining the energy efficiency of excavators with various management systems for the Kalmakyr Mine Administration of Almalyk MMC (reference of “Almalyk MMC” No. 31-10-403 dated October 24, 2018). As a result, savings of 369000 kW·h of electrical energy in quarries were obtained.

the control system of the starting mode of the belt conveyor has been improved by compensating for the voltage drop in the active stator resistances of the engine according to the S-shaped frequency control law and additional voltage forcing when it starts from 0 to $1/3f_n$ based on the frequency converter (reference of “Almalyk MMC” No. 31-10-403 dated October 24, 2018). The use of these methods of regulation on energy-intensive conveyor systems has reduced power consumption by 5-10%. As a result, savings of 809424 kW·h of electrical energy at the Copper Processing Plant were obtained.

method of determining the specific rate of electrical energy consumption of individual machines and mechanisms for crushing and grinding ore in order to improve the energy efficiency indicators of ore preparation at the Copper Processing Plant (reference of “Almalyk MMC” No. 31-10-404 dated October 24, 2018). As a result, it was possible to reduce the specific rate per unit of production 0.49 kW·h per ton;

methods of rationing the consumption of electrical energy in the whole enterprise to ensure savings and efficient use of electricity for ore processing at the Copper Processing Plant (reference of “Almalyk MMC” No. 31-10-404 dated October 24, 2018). As a result of using the methodology for rationing the consumption of electrical energy, it makes it possible to save 2% of electrical energy for ore processing.

The structure and volume of the dissertation. The thesis consists of an introduction, five chapters, conclusion, list of used literature, applications. The volume of the thesis is 200 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PULISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Камалов Т.С., Ким Д.П., Тоиров О.З. Современное состояние ленточных конвейерных установок и вопросы их энерго- и ресурсосбережения // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2013. № 1-2. С. 53-62. (05.00.00; №5).
2. Камалов Т.С., Ким Д.П., Тоиров О.З. Повышение эффективности и перспективы внедрения частотно-регулируемого электропривода ленточных конвейерных установок // Доклады АН РУз. – Ташкент, 2014. №5. С. 18-22. (05.00.00; №9).
3. Камалов Т.С., Ким Д.П., Тоиров О.З. и др. Энергоаудит Медно-обогатительной фабрики ОАО “Алмалыкский ГМК” и пути повышения энергоэффективности // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2014. №1-2. С. 66-72. (05.00.00; №5).
4. Камалов Т.С., Тимошук Д.В., Ким Д.П., Тоиров О.З. и др. Энергоаудит Медеплавильного завода ОАО “Алмалыкский ГМК” и пути повышения энергоэффективности // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2015. №2 (61). С. 84-89. (05.00.00; №7).
5. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Энергоэффективность работы экскаваторов горнорудной промышленности // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2015. №3-4. С. 83-92. (05.00.00; №5).
6. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Управление режимами работы конвейерных установок на базе частотно-регулируемого электропривода в горнорудной промышленности // Проблемы энерго- и ресурсосбережения». – Ташкент, 2015. №3. С. 17-22. (05.00.00; №21).
7. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Энергетические показатели и гармонический состав электроснабжения электромеханического оборудования открытых горных разработок // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2015. №5. С. 36-49. (05.00.00; №5).
8. Kamalov T.S., Toirov O.Z. The method of determining the energy-efficiency of career excavators of the mining industry // European science review. – Vienna. 2016. №2. (3-4). P. 299-304. (05.00.00; №3).
9. Камалов Т.С. Тоиров О.З. Шавазов А.А. Математическая модель и структурная схема многосвязная система асинхронного электропривода с частотным управлением // Исследования технических наук. – Москва, 2016. №2 (20). С. 32-38. (05.00.00; №44).
10. Kamalov T.S., Toirov O.Z. Analysis of the Quality Indicators of Electric Energy of Electromechanical Equipment of Open Cast Mining // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India, 2016. Vol. 3, Issue 9. P. 2635-2642. (05.00.00; №8).
11. Камалов Т.С., Ким Д.П., Тоиров О.З. Нормирование расхода электрической энергии для ленточных конвейеров горно-металлургической промышленности с учетом конструктивных особенностей // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2016. – №6. (05.00.00; №5).
12. Камалов Т.С. Тоиров О.З. Исследование энергетических показателей и режимов работы частотно-регулируемого электропривода пластичного

питателя // Научно – технический журнал Фер.ПИ. – Фергана, 2017. Том 21. №2. С. 65-69. (05.00.00; №20).

13. Камалов Т.С. Тоиров О.З. Рабочие режимы и сравнительный анализ систем управления электроприводами экскаваторов горнорудной промышленности // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2018. №1. С. 62-76. (05.00.00; №5).

14. Камалов Т.С. Тоиров О.З. Математические модели энергоэффективности карьерных экскаваторов с учетом технологических и энергетических факторов // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2018. №2. С. 70-82. (05.00.00; №5).

15. Toirov O.Z. Mathematical model of the Norm of Electric Energy Consumption on the Excavation of Rock Mass in the Processes of Ore Preparation // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India, 2018. Vol. 5, Issue 3. P. 5456-5463. (05.00.00; №8).

16. Toirov O.Z. Improve operational efficiency of regulated conveyor installation of the mining industry // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India, 2018. Vol. 5, Issue 3. P. 5464-5471. (05.00.00; №8).

17. Тоиров О.З. Анализ методики и экспериментальные исследование определения срока службы конвейерных лент при транспортировке руды // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2018. №4. С. 33-47. (05.00.00; №5).

18. Камалов Т.С. Тоиров О.З. Математическая модель износа ленты конвейерных установок при транспортировке руды с учетом динамических режимов // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2018. №4. С. 54-66. (05.00.00; №5).

II бўлим (II часть; II part)

19. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Экспериментальное исследование управления режимами работы электропривода пластичного питателя горнорудной промышленности // Развитие науки и технологий. – Бухара, 2015. №3. С. 8-14. (05.00.00; №24).

20. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Методика нормирования удельных расходов электроэнергии и энергоэффективности карьерных экскаваторов // Инновации в сельском хозяйстве. – Москва, 2016. №2(17). С. 172-178.

21. Kamalov T.S., Toirov O.Z., Ergashev Sh.Sh. Modern condition and possibilities of program management of frequency-adjustable electric drives // Scientific Journal «European research». – London, 2016. № 6(17). P. 18-20.

22. Kamalov T.S., Toirov O.Z. Evaluation of the harmonic components of the current and voltage of the electromechanical equipment of mining excavators // Research Journal «International Scientific Review». – Boston, 2016. P. 42-44.

23. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Энерго- и ресурсосберегающие режимы работы ленточной конвейерной установки с асинхронным электроприводом // Илм-фан тараққиёти ва иқтисодиётни инновацион ривожлантириш. Материалы респ. научно-техн. конф. – Ташкент, 2012. С. 52-53.

24. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Тоғ – металлургия саноатида лентали конвейер курилмаларининг электр юритмасини бошқаришнинг асосий талаблари // Илм-фан тараққиёти ва иқтисодиётни инновацион ривожлантириш. Материалы респ. научно-техн. конф. – Ташкент, 2012. С. 53-54.

25. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Ленточные конвейерные установки и вопросы их регулирования // Замонавий илғор ва инновацион технологиялар: Матер. респ. научно-практ. конф. – Бухара, 2012. С. 192-194.

26. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода конвейерных установок // Замонавий илғор ва инновацион технологиялар. Респ. науч. конф. – Бухара, 2012. С.197-199.
27. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Техничко-экономическое обоснование внедрения частотно-регулируемого электропривода ленточных конвейерных установок // Межд. молод. конф. «Энергетическое обследование как первый этап реализации концепции энергосбережения» – Томск, 2012. С. 283-284.
28. Тоиров О.З. Камалов Т.С. Энергетическая эффективность ленточных конвейерных установок горно-металлургической промышленности // XXI век - век интеллектуального поколения. Респ.науч. конф. – Ташкент, 2013. С.344-345.
29. Тоиров О.З. Мамажонов Х. Сколяр частотавий бошқарилувчи асинхрон электр юритма // XXI век - век интеллектуального поколения. Материалы респ. научно-практ. конф. – Ташкент, 2013. С. 345-347.
30. Тоиров О.З. Вопросы энерго- и ресурсосбережения в поточно-транспортной системе горной промышленности по результатам энергетического обследования // Республиканская научно-практическая конференция «Конференция молодых ученых - 2014». – Ташкент, 2014. С. 57.
31. Тоиров О.З. Электр юритмалардан фойдаланилганда электр истеъмолини камайтириш йўллари // Республиканская научно-практическая конференция «Конференция молодых ученых - 2014». – Ташкент, 2014. С. 56.
32. Тоиров О.З. Частотавий бошқарилувчи лентали конвейер курилмасининг ўриш жараёнларида кучланиш ва частота ўзгариш қонунларининг тахлили // Республик. научно-практическая конференция «Конференция молодых ученых - 2014». – Ташкент, 2014. С. 55-56.
33. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Управление поточно-транспортной системой на базе частотно-регулируемого электропривода в горнорудной промышленности // Международная научно-техническая конференция «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». – Благовещенск, 2015. С. 400-403.
34. Тоиров О.З. Основные пути снижения энергозатрат в поточно-транспортной системе горнорудной промышленности на основе энергетического обследования // Конференция «Ломоносов 2015». – Москва, 2015. С. 41-42.
35. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Разработка алгоритма управления преобразователем частоты конвейерной установки горно-металлургической промышленности // Республиканская научно-практическая конференция «Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении». – Ташкент, 2015. С. 49-54.
36. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Методика определения энергоэффективности карьерных экскаваторов горнорудной промышленности // XX Меж. научно-практ. конф. «Инновация - 2015». – Ташкент, 2015. С. 172-174.
37. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Экспериментальные исследования электропривода конвейерных установок горнорудной промышленности // VIII Меж. научно-тех. конф. «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития». – Навои, 2015. С. 209.
38. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Модернизация систем управление электроприводов экскаваторов горнорудной промышленности // VIII Меж. научно-техническая конф. «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития». – Навои, 2015. С. 179.
39. Тоиров О.З. Анализ показателей качества электрической энергии бурового станка открытых горных разработок // XVII Межд. молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2016». – Ухта, 2016. С. 75-79.

40. Тоиров О.З., Эргашев Ш.Ш. Частотавий ростланувчи электр юритмаларни дастурий бошқариш имкониятлари // «Ишлаб чиқариш корхоналарининг энергия тежамкорлик ва энергия самарадорлик муаммоларини ечишда инновацион технологияларнинг ахамияти» Республика илмий-амалий конференцияси. – Қарши, 2016. С. 100-102.

41. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Математические модели и алгоритмическая схема частотно-управляемых электроприводов общепромышленных механизмов // Респ. научно-практ. конф. «Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управ.» – Джизак, 2016. С. 69-74.

42. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Математическая модель нормы расхода электрической энергии на выемку горной массы карьерными экскаваторами // IX Респ. научно-техн. конф. «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и перспективы инновационного развития». – Навои, 2016. С. 163.

43. Камалов Т.С., Ким Д.П., Тоиров О.З. Энергоэффективность ленточных конвейеров с учетом конструктивных особенностей // Международная научно-техническая конференция «Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса». – Навои, 2017. С. 134.

44. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Влияние основных параметров ленточного конвейера горно-металлургической промышленности на его энергоэффективность // XXII Международная научно-практическая конференция «Инновация - 2017». – Ташкент, 2017. С.144-145.

45. Toirov O.Z. Mathematical model of energy efficiency on the recess of rock mass by career excavators // UNESCO Interregional Engineering Conference in Technology and Education – Global Benchmarking and Monitoring, USTE 2017. – Krakow, 2017. С. 25-26.

46. Kamalov T.S., Toirov O.Z. Operating modes and requirements for the main electric drives of the excavator // Сборник статей международной научно-практической конференции «Повышение эффективности, надежности и безопасности гидротехнических сооружений». – Ташкент, 2018. С. 447-451.

47. Камалов Т.С. Тоиров О.З. Энергоэффективность ленточных конвейеров в зависимости от конструктивных и энергетических параметров // «Таълим, фан ва ишлаб чиқариш интеграциясида инновацион технологияларни қўллаш» XV республика илмий-амалий конф. – Самарканд, 2018. С. 237-240.

48. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Сравнительный анализ энергоэффективности экскаватора с различными системами управления электроприводов // XXIII Международная научно-практическая конференция «Инновация - 2018». – Ташкент, 2018. С. 113-115.

49. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Энергоэффективности на выемку руды в зависимости от температуры воздуха с учетом категория пород // Меж. научно-практ. конф. «Проблемы повышения эффективности работы современного производства и энерго-ресурсосбережения». – Андижан, 2018. С. 182-185.

50. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Экспериментальные исследование определения срока службы конвейерных лент горно-металлургических промышленности // Межд. научно-техн. конф. «Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса». – Навои, 2018. С. 323.

51. Тоиров О.З. Экспериментальные исследование повышения долговечности конвейерных лент при частотным управлениям // Межд. научно-технической конференции «Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в аграрном секторе». – Ташкент, 2018.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» ва «Энергия ва ресурс тежаш муаммолари» журналлари таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлари ўзаро мувофиқлаштирилди (10.12.2018 йил).

Босишга рухсат этилди: 14.12. 2018 йил
Бичими 60x45 ¹/₈, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 4. Адади 100.

“BusinessFayzPrint” масъулияти чекланган жамияти.
100111, Тошкент шаҳри, Навоий кучаси, 30

