

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА  
«ИЛМИЙ-ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МЧЖ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc 27.06.2017.Т.03.03 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ**

**УСМОНОВ ШУКУРИЛЛО ЮЛБАРСОВИЧ**

**КИМЁ ҚОРХОНАЛАРИДАГИ РОСТЛАНАДИГАН  
ЭЛЕКТР ЮРИТМАЛИ ҲАЙДОВЧИ МАШИНАЛАРНИНГ  
ЭНЕРГИЯ ТЕЖАМҚОР ИШ РЕЖИМЛАРИ**

**05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари**

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

**Тошкент – 2017**

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

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

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

**Усмонов Шукурилло Юлбарсович**

Кимё корхоналаридаги ростланадиган электр юритмали ҳайдовчи  
машиналарнинг энергия тежамкор иш режимлари..... 3

**Усмонов Шукурилло Юлбарсович**

Энергосберегающие режимы перекачивающих машин химических  
производств с регулируемыеми электроприводами..... 19

**Shukurillo Usmonov Yulbarsovich**

Energy-saving regimes transmitting machines of chemical manufacturing  
with regulated electric drives..... 35

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works..... 38

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА  
«ИЛМИЙ-ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МЧЖ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc 27.06.2017.Т.03.03 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ**

**УСМОНОВ ШУКУРИЛЛО ЮЛБАРСОВИЧ**

**КИМЁ ҚОРХОНАЛАРИДАГИ РОСТЛАНАДИГАН  
ЭЛЕКТР ЮРИТМАЛИ ҲАЙДОВЧИ МАШИНАЛАРНИНГ  
ЭНЕРГИЯ ТЕЖАМҚОР ИШ РЕЖИМЛАРИ**

**05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари**

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

**Ташкент – 2017**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси қошидаги Олий аттестациялаш комиссиясида В 2017.2.PhD/T149. рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация Фарғона политехника институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ва "ZiyoNet" Ахборот таълим порталида ([www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Арипов Назиржон Мукарамович  
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Камолов Тўлаган Сирожиддинович  
техника фанлари доктори, профессор

Хохлов Владимир Александрович  
техника фанлари доктори

Етакчи ташкилот:

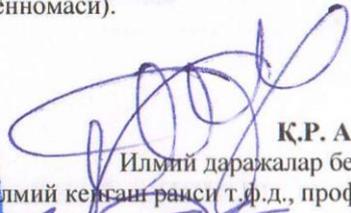
Бухоро муҳандислик-технология институти

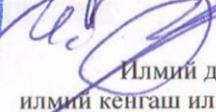
Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети ва «Илмий-техника маркази» МЧЖ ҳузуридаги DSc.27.06.2017.T.03.03 рақамли Илмий кенгашнинг 2017 йил "30" XI соат 11:00 даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўча, 2. Тел./ факс: (99871) 227-10-32, e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz).

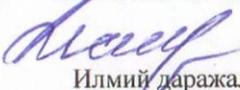
Диссертацияси билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (30 рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўча, 2. Тел./ факс: (99871) 227-03-41

Диссертация автореферати 2017 йил "12" XI куни тарқатилди.  
(2017 йил "17" XI даги 2 рақамли реестр баённомаси).



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

  
О.Х. Ишнazarov  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д.

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

## КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда ишлаб чиқариш соҳаларида технологик машиналарни узлуксиз ва сифатли электр энергия билан таъминлаш самандорлигини ошириш ҳамда энергия ва ресурс тежамкор иш режимларини яратишга қаратилган тадқиқотлар муҳим аҳамият касб этмоқда. Шу жиҳатдан, кимё саноати корхоналаридаги технологик линиялар ва ҳайдовчи машиналарни замонавий электр механик, ярим ўтказгичли ўзгарткичлар, автоматик назорат ва бошқаришнинг микропроцессорли воситалари ёрдамида энергия самандорлигини оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Ривожланган мамлакатларнинг «кимё корхоналарида кенг қўлланиладиган ҳайдовчи машиналар ва уларнинг электр юритмаларини истеъмол қилинаётган қуввати, ўрнатилган қувватга нисбатан ортиши 40...50% ни ташкил этиши сабабли, ҳайдовчи машиналарни тежамли иш режимларини таъминлаш ҳамда юритма двигатели айланиш тезлигини ўзгартириш орқали ортиқча энергия истеъмолини сезиларли даражада камайтиришга эришилади»<sup>1</sup>.

Жаҳонда кимё саноат корхоналарида ростланадиган электр юритмали ҳайдовчи машиналарнинг энергия ва ресурс тежамкор режимларини таъминловчи техник воситалар ва технологияларни ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Ушбу соҳада, жумладан, частотавий ростланадиган электр юритмали насосларнинг энергия тежамкор технологияларини ишлаб чиқиш, компрессорлар, вентиляторлар ва уларнинг электр юритмаларини энергия самандор иш режимларини ишлаб чиқиш, асинхрон двигателдаги электр қуввати исрофини энг паст қийматли вентилятор юкламага эга энергия тежамкор юритмани яратиш йўналишларида амалга оширилаётган илмий-тадқиқот ишлари муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Республикамиз мустақилликка эришгач иқтисодиётнинг муҳим тармоғи бўлган энергетика соҳасини сифат жиҳатидан ривожлантириш ва замонавий талаблар асосида соҳанинг техник-технологик даражасини юксалтиришга алоҳида эътибор қаратилди. Бу борада, саноат корхоналарида ҳайдовчи машиналарни автоматик бошқариладиган электр юритмаларининг янги тури ва схемаларини ишлаб чиқиш бўйича сезиларли натижаларга эришилди. Шу билан бир қаторда, жумладан, кимё корхоналаридаги ҳайдовчи машиналарнинг энергия истеъмолини камайтириш усуллари ҳамда энергия ва ресурс тежамкор иш режимларини таъминловчи ростланадиган электр юритманинг тузилмавий схемалари, бошқариш алгоритмларини такомиллаштириш талаб этмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида «...иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш,...»<sup>2</sup> бўйича вазифалари белгиланган. Мазкур вазифани амалга ошириш, жумладан, кимё корхоналаридаги технологик ва ҳайдовчи машиналарнинг энергия тежамкор иш режимларидаги энергетик мувозанатни

<sup>1</sup> <http://newchemistry.ru>

<sup>2</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони

таъминлаш, қувват исрофини мақбуллаш усулларини такомиллаштириш, частотавий ростланадиган электр юритманинг тузилмавий схемаси, экстремал бошқариш алгоритмини ишлаб чиқиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 5 майдаги ПҚ-2343-сон «2015-2019 йилларда иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия сарфи ҳажмини қисқартириш, энергияни тежайдиган технологияларни жорий этиш чора-тадбирлари дастури тўғрисида», 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сон «2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида»ги Қарорлари 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 технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Кимё корхоналарида ростланадиган электр юритмали ҳайдовчи машиналарнинг энергия тежамкор режимларини яратиш усуллари ва қурилмаларини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан University of Michigan (АҚШ), University of Waterloo (Канада), Dresden University of Technology (Германия), Tokyo technology institute (Япония), Polytechnic University of Milan (Италия), Москва энергетика институти (Россия), «Илмий-техника маркази» МЧЖ ва «Энергомарказ» МЧЖ да (Ўзбекистон) кенг қамровли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Энергия ва ресурс тежамкорлиги ва ишлаб чиқаришни энергия самарадорлигини ошириш бўйича илмий муаммоларни ҳал қилишда машҳур олимлар G.R. Siemon, F.J. Ferreira, F. Blaschke, K. Neumann, W. Heinrich, S.K. Bose, J. Otterpol, М.Г. Юньков, Г.Б. Онищенко, Н.Ф. Ильинский, Р.Т. Шрейнер, И.Я. Браславский, Б.С. Лезнов, А.Е. Козярук ва бошқалар ўз ҳиссаларини қўшганлар. Ростланадиган электр юритма асосида энергия тежамкор технологияларни ишлаб чиқиш ва татбиқ этиш билан боғлиқ илмий тадқиқот ишлари, электр энергия истеъмоли жараёнларни оптималлаш ва меёрлаш ҳамда электр двигателларни энергетик самарадорлигини ошириш борасида куйидаги ўзбек олимлари Т.Х. Насиров, Р.А. Захидов, Т.С. Камалов, К.Р. Аллаев, А.А. Хошимов, Н.М. Арипов, Ф.А. Хошимов, К.Т. Алимходжаев, М.К. Бобожанов ва бошқалар томонидан ҳам бажарилган.

Сезиларли муваффақиятларга қарамай, ростланадиган электр юритмали ҳайдовчи машиналарнинг энергия ва ресурс тежамкор иш режимларининг мавжуд усулларни такомиллаштириш ва янги усулларни яратиш муаммоси етарли даражада ўрганилмаган. Мазкур ишда кимё корхоналаридаги ҳайдовчи

машиналарнинг энергетик кўрсаткичларни ошириш, уларнинг электр юритмаларини самарали танлаш ва оптимал бошқаришни ишлаб чиқиш муҳим аҳамиятга эга масалалардан бири ҳисобланади.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Фарғона политехника институтининг илмий тадқиқот ишлари режасининг А-12-023. «Республиканинг йирик саноат минтақаларининг электр таъминотини Фарғона саноат тугуни мисолида комплекс оптималлаш» (2006-2008), ФарПИ ва «Farg`onaazot» АЖ билан тузилган 4-09-«Farg`onaazot» АЖ технологик жараёнларидаги катта қувватли ростланадиган электр юритмаларни керакли фойдаланиш хажмини текшириш ва уларни жорий этиш бўйича тавсияларни ишлаб чиқиш» мавзусидаги лойиҳаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** кимё корхоналаридаги ростланадиган электр юритмали ҳайдовчи машиналарнинг энергия тежамкор режимларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

частотавий ростланадиган асинхрон электр юритмали насослар, насос агрегатлари орқали суюқликни транспорт қилишнинг энергия тежамкор технологияларини ишлаб чиқиш;

юқори кучланишли синхрон двигателли марказдан қочма турбокомпрессорлар, технологик вентиляторлар ва уларнинг электр юритмаларининг энергия самарадор иш режимларини ишлаб чиқиш;

асинхрон двигателдаги электр қуввати исрофини минимумга келтирувчи магнит оқимининг керакли қийматини таъминлаб берадиган, вентилятор юклагани энергия тежамкор электр юритмани яратиш;

тежамли иш режимлари қўлланилган ростланадиган электр юритмали ҳайдовчи машиналарнинг энергетик кўрсаткичларини баҳолаш усулларини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида кимё корхоналарининг ҳайдовчи машиналари ва ростланадиган электр юритмалар олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** минерал ўғит ишлаб чиқаришдаги ростланадиган электр юритмали насослар ва насос қурилмалари, вентиляторлар ва компрессорларнинг энергияни тежайдиган жараёнларни ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида электр машиналар, электр юритма, автоматик бошқариш ва марказдан қочма турбомашиналар назарияси усуллари, ҳайдовчи машиналарнинг тавсифларининг тажрибавий тадқиқот усули қўлланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

насослар, вентиляторлар ва компрессорларнинг энергия тежамкорлик иш режимлари, ростланадиган электр юритмаларнинг тузилмавий схемалари ва бошқариш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

насос станциялари самарали тузилмасини яратиш учун сув узатишдаги мувозанатни таъминлаш асосида насослар гуруҳи қуввати исрофини частотага ҳамда насослар сонининг ўзаро нисбатига боғлиқлиги аниқланган;

вентиляторли юкламалар учун экстремал бошқариш тизими асосида энергия тежамкор частотавий ростланадиган асинхрон электр юритманинг схемаси такомиллаштирилган;

катта инерцияли вентиляторни ишга тушириш тезланишидаги двигател исишини камайтириш учун частотавий бошқариш асосида двигател кучланишининг қиймати ва частотасининг аналитик боғланиши ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижаси** қуйидагилардан иборат:

технологик сувни етказиб берувчи частотавий электр юритмали насос агрегати ва сув насос станциясининг энергия ва ресурс тежамкор иш режимлари ишлаб чиқилган;

минерал ўғитнинг грануляциялаш минораси ва сув айланиш циклидаги градирнянинг частотавий юритмали вентиляторларининг энергия самарали режимлари ишлаб чиқилган;

хавони сиқувчи компрессорлар ва уларнинг синхрон двигателли юритмаларини раван ишга тушириш орқали фойдаланиш самарадорлигини ошириш усуллари ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончилиги ҳайдовчи машиналар ва уларнинг электр юритмалари бўйича кенг кўламдаги назарий ва амалий тадқиқотлар ўтказиш, олинган натижалар ва уларнинг ўзаро мувофиқлиги, ишлаб чиқаришга жорий этиш орқали асосланганлиги, шунингдек, назарий ва экспериментал натижаларнинг мос келиши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти двигател минимал қувват исрофларини ва валдаги берилган моментни таъминлайдиган манбаловчи кучланишининг керакли қиймати ва частотаси орасидаги аналитик боғланишни аниқланиши ҳамда экстремал бошқариш блокига эга вентилятор юкламали янги частотавий ростланадиган электр юритма тавсифларининг аниқлаш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти кимё корхоналаридаги ростланадиган юритмали ҳайдовчи машиналарнинг энергия тежамкор режимларини ишлаб чиқишдан иборат. Ишлаб чиқилган тежамкор режимлар технологик насос қурилмалари, насос станциялари, хавони сиқиш компрессорлари, грануляция минораси ва градирня вентиляторлари, қозонхона қурилмасининг пуфловчи ва сўриб олувчи вентиляторларида кенг кўламда қўлланилиши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Кимё корхоналаридаги ростланадиган электр юритмали ҳайдовчи машиналарнинг энергия тежамкор иш режимларини ишлаб чиқиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

частотавий ростланадиган асинхрон электр юритмали насослар, насос станциялари, вентиляторлар ҳамда компрессорлар ва уларнинг синхрон двигателли юритмалари учун энергия ва ресурстежамкор иш режимлари, технологик ускуналари ва ёрдамчи қурилмаларини модернизациялаш лойиҳасига ечимлар «Farg'onaazot» АЖ корхонасига жорий қилинган («Ўзкимёсаноат» АЖнинг 2017 йил 6 сентябрдаги 03-4992/А-сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижаларининг қўлланилиши корхонадаги

ҳайдовчи машиналарнинг электр истеъмолини 6% га камайтириш имконини берган;

минерал ўғит ишлаб чиқаришдаги сув айланиш цикли вентиляция ускунасининг энергия тежамкор иш режимлари «Farg'onaazot» АЖ корхонасига жорий қилинган («Ўзкимёсаноат» АЖнинг 2017 йил 6 сентябрдаги 03-4992/А-сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижаларининг қўлланилиши вентилятор электр двигателини тармоқдан истеъмол қилаётган қувватни 30% га камайтириш имконини берган;

вентиляторли юкламалар учун экстремал бошқариш тизими асосида энергия тежамкор частотавий ростланадиган асинхрон электр юритманинг такомиллаштирилган схемаси Ф-2-3-4 «Электр станциялар иссиқлик ўзгарувчан юкламаларини биргаликда олтингургутли ёқилғини ёқишда юқори самарали энергия ва ресурстежамкор технологияларни оптимал бошқариш тизими назариясини яратиш» грант лойиҳасида (2006–2011) турбомеханизмларни частотавий электр юритмаси энергетик кўрсаткичлари ва тавсифларини аниқлашда қўлланилган (Фан ва технологиялар агентлигининг 2017 йил 6 ноябрдаги ФТА-02-11/1025-сон маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши вентилятор ускуналарини хизмат кўрсатиш муддатини ошириш ва технологик жараёнларда электр энергия сарфини камайтириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 14 та илмий-амалий анжуманлар ва семинарларда, шу жумладан, 6 та халқаро ва 8 та республика анжуманларида апробациядан ўтди.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 27 та илмий иш, шу жумладан, хорижий журналларда битта мақола, республика журналларда 8 та мақола чоп этилган бўлиб, битта ЭХМ дастури Гувоҳномаси мавжуд.

**Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 110 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

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

Диссертациянинг «**Кимё корхоналаридаги ҳайдовчи машиналардан фойдаланиш самарадорлиги ва уларни ростлашнинг замонавий ҳолати**» деб номланган биринчи бобида кимё корхоналаридаги ҳайдовчи машиналар (насослар, вентиляторлар ва компрессорлар) дан самарали фойдаланишнинг замонавий ҳолати «Farg'onaazot» АЖ мисолида) таҳлил қилинган.

Минерал ўғитлар ишлаб чиқаришдаги ростланмайдиган ўзгарувчан ток электр юритмали асосий ҳайдовчи машиналарнинг турлари келтирилган. Ҳозирги пайтда кўриб чиқиладиган турбомеханизмлар унумдорлиги механик қурилмалар (сурилма, тўсма қопиқ ва йўналтирувчи аппарат) нинг очилиш даражасини ростлаш орқали амалга оширилади. Технологик жараёнларни самарали йўлга қўйиш нуқтаи назари талабларидан уларнинг унумдорлигини ростлаш талаблари шакллантирилган. Ушбу талабларни қаноатлантириш учун икки усулдан фойдаланилади: биринчи усул электр юритма двигателини раво ишга туширишни татбиқ этишни назарда тутати; иккинчи усул раво ишга тушириш билан бирга юритма двигателини унинг айланиш тезлигини ростлаш орқали узок муддат ишлашини таъминлаш имкониятини беради.

Турбомеханизмлар иш режимининг таҳлили ва умумий маълумотлари натижасига кўра марказдан қочма насос агрегатлари ва вентиляторларни электр юритмаларининг техник-иқтисодий кўрсаткичларини ошириш учун асинхрон двигател айланиш тезлигини ростлашнинг энг яхши усули – частотавий ростлаш усули ҳисобланади. Турбокомпрессорлар учун эса ҳам статик, ҳам динамик режимларда мақсадга мувофиқ иш режимларини юқори даражада амалга ошириш қобилиятига эга юқори кучланишли синхрон двигателни раво ишга туширишни таъминлаш ҳисобланади.

Частотавий ростланадиган асинхрон юритмаларнинг маълум оптимал мезонларини ўрганиш статик режимларда юритманинг умумлашган мажмуавий бошқариш мезонларини қуйидагича ёзиш имконини беради:

$$N = c_1 i_1 + c_2 \Delta p + c_3 \tau + c_4 \frac{I}{\eta} + c_5 \frac{I}{\cos \varphi} + c_6 \frac{I}{\eta \cos \varphi} = N_{\min}, \quad (1)$$

бунда,  $c_1, c_2, \dots, c_6$  – мос ҳолда токнинг минимум қиймати, исроф, қизиш, максимал ФИК, қувват коэффициенти ва уларнинг ҳосилаларига тўғри келувчи оптималлашнинг хусусий мезони учун юк коэффицентларидир.

Асинхрон двигателни частотавий ростлашга ўтказиш орқали турбомеханизмни максимал унумдорлик билан энергия тежамкор иш режимларини аниқлаш хусусиятлари кўриб чиқилган. Электр энергия тежамкорлиги ва қурилманинг ишлаш муддати айланиш тезлиги номиналдан пастга қараб ростланганда мақбул натижага эришилади, бунда шунингдек, фойдаланиш харажатлари камайиб, ҳайдовчи машиналарда ресурс тежамкорлиги ҳам таъминланади.

**«Ростланадиган электр юритмали насослар ва насослар гуруҳининг энергия тежамкор технологияларини аниқлаш»** деб номланган иккинчи боб насослар ва насослар гуруҳининг (ростланадиган юритмали) энергия тежамкор технологияларини аниқлашга бағишланган. Марказдан қочма насослар ишлашининг алоҳида хусусиятлари ва уларнинг электр юритмаларига қўйиладиган талаблари таҳлил қилинган. Бунда қуйидаги энергия тежаш усуллари таҳлил қилинган: а) тижорат шартлари ва техник катталиклари билан мос келувчи насосни тўғри танлашнинг дастурини татбиқ этиш – бунда битта насоснинг номинал истеъмол энергиясини 30...35% миқдорда энергия тежаш мумкин; б) насос унумдорлигини насос ғилдирагини ишчи нуқтага мослаб

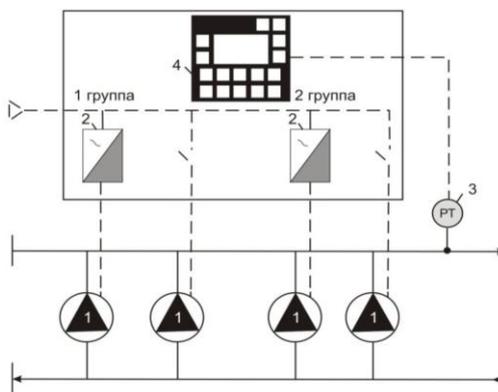
йўниш орқали технологик ускунани истеъмолга мослаш – бунда электр энергияни тежаш ўртача битта насоснинг номинал истеъмол энергиясининг 10 % ини ташкил этади; в) энергия тежамкор асинхрон двигателларни қўллаш орқали электр юритманинг энергетик кўрсаткичларини ошириш – электр энергия тежамкорлиги ФИК ини ва қувват коэффициентларини орттириш орқали таъминланади, бу эса 3,5% ни ташкил этади. г) насос истеъмол қувватини технологик жараённинг техник талабларига мослигини, шунингдек насос айланиш тезлигини ростлаш орқали гидравлик тармоқнинг ишончли ўлчамларини таъминлаш – бунда битта насос истеъмол энергиясини электр энергия тежамкорлиги 35...40% ни ташкил этади.

Насос ишчи ғилдираги айланишлар тезлигини ростлаш самарадорлиги таҳлили натижаларида ҳайдалаётган суюқлик сарфининг турли қийматларида электр энергия сарфининг минимум бўлишини таъминловчи насос қурилмасининг электр юритмасини ростлашнинг мақбул қонунияти аниқланган.

Насоснинг танланган ростланадиган электр юритмаси ишини характерловчи олинган микдорий нисбатлар насос айланиш тезлигининг ўзгармас, шунингдек ўзгарувчан бўлгандаги суюқлик оқимининг тармоқдан олаётган электр қувватининг боғланишини ҳисоблаш имконини беради.

Ростланувчи электр юритма билан таъминланган гуруҳ насосларнинг сув таъминоти тизими энергетик мувозанатни таъминлаш вазифасини ўрганиш асосида гидравлик қувват исрофлари таҳлили ўтказилган. Гидравлик қувват исрофи коэффиценти боғланиши текширилган: а) иккидан олтигача параллел биргаликда ишловчи насос станциялари учун ростланадиган насос агрегати таъминоти кучланиши частотасидан. б) ростланадиган насосларни таъминлаш кучланиши частотасини турли қийматларда параллел ишловчи ростланадиган ва ростланмайдиган насослар нисбатларидан. Ростланадиган ва ростланмайдиган насосларнинг самарали нисбатлари  $1/2$  ёки  $1/3$  лиги кўрсатиб ўтилган.

Келтирилган ҳисоблар энергетик самарадор қурилманинг маъқул қиймати ва коллекторда белгиланган қувватни ушлаб туриш учун минимал энергетик харажат билан характерланадиган насос станцияси тузилмасини ишлаб чиқиш имконини беради (1 расм).



**1-расм. Энергетик самарадор насос қурилмасининг функционал схемаси**

Станция таркибига иккита агрегатдан иборат иккита гуруҳ насослари киради. Иккита насоснинг бир пайтда ишлаши ҳар доим иккита частота ўзгарткич орқали бошқарилади. Бундай станцияларнинг ускуналари қийматининг ортиб кетиши электр энергиясини қўшимча тежаш орқали ўзини қоплайди. Қуввати 30 кВт ли насос учун ўзини қоплаш муддати 1,2...1,8 йил, қуввати 132 кВт ли насослар учун 1,0...1,6 йилни ташкил этади.

**«Марказдан қочма компрессор машиналарининг ва уларнинг электр юритмаларинг самарали ишлашини тадқиқ**

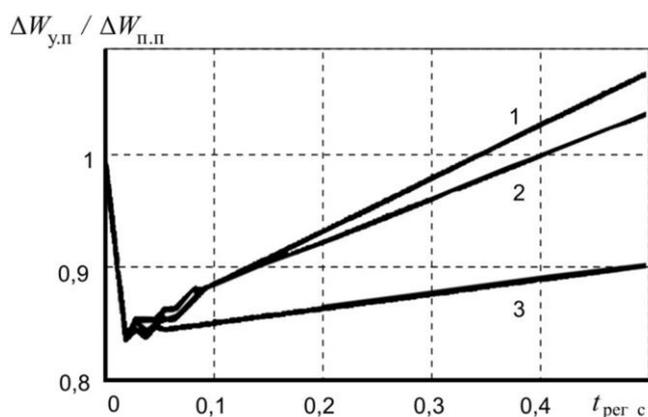
**қилиш»** деб номланган учинчи бобда марказдан қочма компрессор машиналари ва уларнинг электр юритмаларининг самарали иш режимлари тадқиқ этилган.

Компрессорлар иш режимларининг алоҳида хусусиятлари ва уларнинг электр юритмаларига талаблар таҳлили асосида қуйидаги самарадорликни ошириш усуллари аниқланди ва текширилди: а) салт ишлаш режимда «чуқур дросселлаш» режимига ўтиш; б) ростлаш диапазонини кенгайтириш ва унумдорликни гуруҳ бўйича ростлаш; в) компрессор электр юритмасини раво ишга тушириш.

К-250 компрессор агрегатини (компрессорнинг номинал қуввати  $N_{ном}=1250,0$  кВт) корхонанинг ишламаган вақтида «чуқур дросселлаш» режимига ўтказилиб, тажрибавий тадқиқот ўтказилди. Чуқур дросселлаш туфайли компрессорнинг ғилдирагига юкланишнинг камайиши ишга тушириш режимини енгиллаштиради ҳамда ҳар бир ишга тушириш ва тўхтатиш циклида ресурслар йўқотилишини 45 дан 10 соатгача камайтиради. Чуқур дросселлаш жорий қилиш, компрессорни кунлик ишга тушириш ва тўхтатишда ресурслар йўқотилишининг камайиши билан амалга ошириш имконини беради.

Мазкур ишда раво ишга туширишдаги қурилмадан фойдаланилган ҳаво сиқувчи агрегатларнинг юқори кучланишли электр двигателларини ишга тушириш схемаси келтирилган. Графикда (2-расм) штатли режим учун раво ишга туширилишдаги  $\Delta W_{у.п.}$  (1-эгри чизик) ва чуқур дросселлаштириш усулида ишга туширишда ҳосил бўладиган йўқотишлар (2-эгри чизик) кўрсатилган. Бунда, раво ишга туширишдаги  $\Delta W_{у.п.}$  йўқотишлар, тўғридан тўғри ишга туширишдаги  $\Delta W_{п.п.}$  йўқотишларга келтирилган. Солиштириш учун графикда 3-эгри чизик келтирилган, бу чизикда двигателнинг минималга тенг бўлган юкламанинг доимий юкланишдаги  $M_c = M_n$  энергия йўқолишининг боғлиқлиги берилган.

Ушбу график, 0,02...0,04 с вақт оралиғида жараёнларнинг тебраниши пасайиши натижасида юзага келадиган электр энергиянинг энг кичик йўқотишини кўрсатади. Ушбу йўқотишлар, тўғридан-тўғри ишга туширишда ҳосил бўладиган йўқотишларга нисбатан 15% кам. Кейинчалик, умумий электр энергияни йўқотишлар, двигателларнинг пасайган тезликда ишлаш вақтини кўпайтириш ҳисобига ошади. Чуқур дросселли раво ишга тушириш ҳолати учун (2-эгри чизик), энергияни йўқотиш самараси, энергия йўқотишлар ишга тушириш вақтидагига нисбатан кам бўлган вақт чегараларини кенгайтириш



**2-расм. Двигателни раво ишга туширишдаги электр энергия исрофлари графиги**

ҳисобига намоён бўлади. Бирок, электр энергия йўқотилишининг энг паст нуқтаси деярли ўзгармайди.

Энергия тежамкор режимлар жорий қилинишидаги иқтисодий самарадорлигининг ҳисоби, узлуксиз ишлаб чиқариш циклига эга бўлган минерал ўғитлар заводлар учун ишлаб чиқилган. Сиқилган ҳавони ишлаб чиқаришга компрессорларнинг ва уларнинг электр юритмаларига энергия тежамкор режимларини жорий этиш, бир агрегатга кетадиган номинал электр энергиясига нисбатан 10 дан 15% гача энергияни тежаш имконини яратади, бунда келтирилган мисоллар учун электр энергиянинг йиғинди тежами бир йилда 8.0 млн. кВт/соатни ташкил этади.

Вентилятор ва уларнинг электр юритмаларининг қуйидаги энергия самарали режимлари аниқланди: а) катта инерцион массага эга бўлган вентиляторларни частотавий ишга тушириш, б) бошқариладиган электр юритмали технологик қурилмали вентиляторларнинг тезлик режимларини ўзгартириш билан ва в) қозонхона қурилмаларининг пуфловчи ва тутун сўрувчи механизмлари учун электр юритмалар тезлигини частота ўзгарткичлар ёрдамида ростлаш.

Катта инерция моментига эга бўлган вентиляторларни ишга туширишнинг частотавий бошқарилиши, ҳайдаш вақтида двигател қизиб кетишини кескин пасайтириш имконини беради. Ҳаракатга келтирилган вақт мобайнида минимал йўқотишларни ва двигател валига берилган моментни таъминловчи, частота ўзгартиргичнинг кучланиш ва ток частотаси қийматларини, энг қулай нисбатларини ўрнатадиган ифодалар аниқланган:

$$\alpha_1 = \frac{r'_2}{x_1} \sqrt{\frac{k_c x_1^2 + c_1^2 m_1 f_{1H}^2 r_1^2 \tau_1^2}{c_1^2 m_1 f_{1H}^2 [r_1(1+\tau)^2 + r_2'] + k_c x_2'^2}},$$

$$\gamma = \frac{I_{1cr}}{U_{1H}} \sqrt{\frac{\frac{r'_2}{\alpha} \left[ (b^2 + c^2 \alpha^2) \frac{\alpha}{r'_2} + (d^2 + e^2 \alpha^2) \frac{r'_2}{\alpha} + 2r_1 \alpha \right]}{(1+\tau_2)^2 + \left( \frac{\tau_1}{x_1} \right)^2 \left( \frac{r'_2}{\alpha} \right)^2}}, \quad (2)$$

$$M_{\max} = \frac{m_1 I_{1cr}^2 x_1}{2\omega_{1H} (1+\tau_2) \tau_1}, \quad I_{1\min} = \sqrt{\frac{2M_{cr} \omega_{1H} (1+\tau_2) \tau_1}{m_1 x_1}}.$$

Технологик қурилмалар вентиляторларининг электр юритмаларини бошқаришнинг дресселли усулидан частотавий бошқаришга ўтишда:

- мочевина ишлаб чиқариш цехини грануляциялаш (доналаш) минорасининг вентиляциян қурилмаси унумдорлигини частотавий ростлаш тармоқдан истеъмол қилаётган қувватни икки баробар камайишини таъминлайди:

- градирня вентиляторларининг паст айланишли юритма двигателларини частотавий ростлашда компрессорлаш қурилмаларининг зарурияти йўқолади ва унумдорликни мавсумий тартибга солиш имкони пайдо бўлади, бунда қишки режимда истеъмол қилинаётган қувват бир вентиляторга 47% га камаяди.

Қозонхона агрегатларининг тутун ютгичлари частотали бошқаришнинг самарали объектларидан биридир. Бу ерда, тутун ютгич электр юритмасининг двигатели томонидан истеъмол қилинаётган қуввати қозон унумдорлигига боғлиқ бўлади ва қозондаги газ йўлидаги сийраклаштириш қозонни режимли бошқариш усулига нисбатан икки баробар кам бўлади. Қозонхонанинг пуфловчи вентиляторларининг электр юритмалардаги потенциал тутун ютгичларининг электр юритмаларидагига нисбатан 2...3 баробар паст, шу боис бу ерда двигател истеъмол қилаётган қувват камайиши 20...25% ни ташкил қилади.

**«Хайдовчи машиналарнинг техник иқтисодий кўрсаткичлари ва бошқариш тизимини ишлаб чиқиш»** деб номланган тўртинчи бобда хайдовчи машиналарнинг бошқариш тизими ишлаб чиқилган ва электр тежамкор электр юритмаларнинг техник-иқтисодий кўрсаткичлари аниқлаб берилган.

Кимёвий ишлаб чиқаришдаги хайдовчи машиналарнинг вентиляторли статистик хусусиятга эга электр юритмаларни бошқариш учун энергетик ва ишончлилик хусусиятлари бўйича сифатни аниқловчи муҳим мезонлардан бири қувватнинг йўқотилиши эканлиги кўрсатиб ўтилган.

Агарда, магнит ўтказгич тўйинганлиги инобатга олинмаса, унда :

$$\Phi_* = E_*/f_*, \quad (3)$$

яъни: оқимни бошқариш талаб этилаётган  $E_*/f_*$  муносабатнинг заруриятлигини тахмин қилади. Бунда магнит оқими  $\Phi_{\text{опт}*}$  двигател валидаги  $M_*$  momenti билан аниқланади;

$$M_* = \Phi_* I_2' \sin \varphi_2, \quad (4)$$

бунда  $\varphi_2 - \Phi_*$  и  $I_2'$  оралиғидаги  $s$  сирпанишнинг кичик қийматларида тахминан  $\pi/2$  га тенг бўлган бурчак.

$$M_* \approx \Phi_* I_2'. \quad (5)$$

Барча зарурий ўзгартиришлардан сўнг

$$\Phi_{\text{опт}*} \approx I_2' \sqrt{\frac{k_v^*}{k_v^* + k_{\text{ст}*} \omega_*^\beta}}. \quad (6)$$

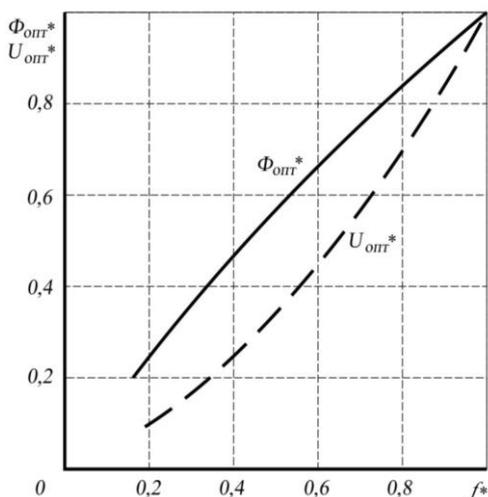
Ушбу оқимни ҳосил қилиш учун керак бўлган кучланиш катталигини  $U_{\text{опт}*}$  қуйдагича ҳисоблаймиз:

$$U_* = E_* + I_1 z_1 \approx \Phi_* f_* + I_1 z_1, \quad (7)$$

бунда:  $z_1 = \sqrt{r_1^2 + (f_* x_1)^2}$ ;  $z_1 = z_1 / z_{1н}$ ;

$$r_1 = r_1 / z_{1н}; \quad x_1 = x_1 / z_{1н}; \quad z_{1н} = U_n / I_{1н}.$$

Вентилятор юкламали асинхрон электр юритмада, двигател валидаги момент двигател айланиш тезлигининг бир қийматли функцияси бўлиб ҳисобланади. Бу ҳолатда  $\Phi_{\text{опт}*}$  магнит оқими ва бунга мувофиқ  $U_{\text{опт}*}$  кучланиш фақат бурчак тезлиги  $\omega_*$  ва частота



**3-расм. Вентилятор моментли механизмлар учун магнит оқими ва кучланишнинг нисбий қийматларининг частотага нисбатан ( $\Phi_{\text{опт}*}(f_*)$ ,  $U_{\text{опт}*}(f_*)$ ) боғланиш графикалари**

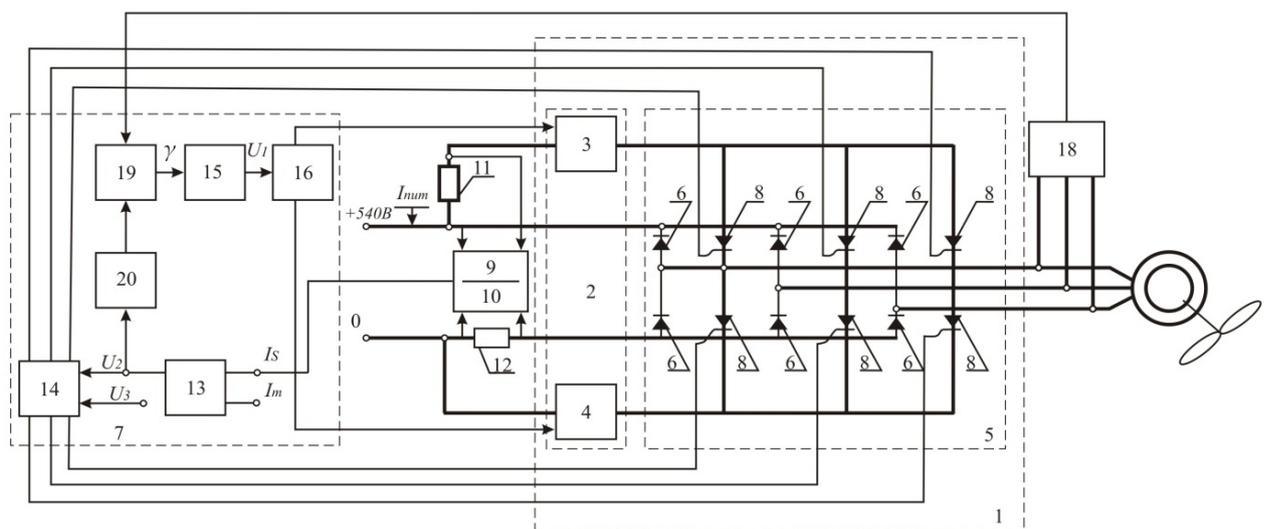
$f_*$  ёрдамида аниқланади. Агарда,  $\omega_* \approx f_*$  ни инобатга олсак, вентиляторли моментли қаршиликка эга механизмлар учун ( $M_* \approx \omega_*^2$ )

$$\Phi_{\text{опт}^*} \approx f_*^4 \sqrt{\frac{k_{v^*}}{k_{v^*} + k_{cm^*} f_*^\beta}} \cdot \quad (8)$$

$\Phi_{\text{опт}^*}(f_*)$  ва  $U_{\text{опт}^*}(f_*)$   $M_* = \omega_*^2$  учун боғлиқлигининг тахминий кўриниши 3-расмда кўрсатилган. Вентилятор юкламали асинхрон электр юритма двигател валидаги момент айланиш тезлигининг бир қийматли функцияси бўлиб ҳисобланади ва бу ҳолатда магнит оқими ҳамда унга мувофиқ двигателнинг кучланиши айланиш тезлиги ва чиқиш частотаси билан аниқланади.

Ҳозирги кунда серияли ишлаб чиқариладиган (ихтирога патент рақами IAP 02750) статор токи модули бўйича бошқариладиган ЭПС-ОА электр юритмани, содда ва арзон экстремал ростланадиган вентиляторли юклама учун энергия тежовчи созловчи электр юритма ишлаб чиқилган ва тажрибада тадқиқот этилган (29.09.17 й. да чоп этилган IAP 20160077 ихтирога талабнома).

Вентилятор юкламали энергия тежовчи электр юритма (4-расм): иккита кучли токли транзистор калитлари 3 ва 4, транзисторли кучланишни импульс кенглиги бўйича ростлагичи 2, тескари диодлар 6 ли тиристорлар 8 ли инвертор 5 дан тузилган частота ўзгартиргич 1 ҳамда иккита ток датчиклари 9 ва 10, иккита ўзгармса резисторлар 11 ва 12 дан иборат. Частота ўзгартиргич ишини бошқариш блоки 7, релели таққослаш схемаси 13, инверторнинг тиристорларини улаб-ўчириш алгоритмларини шакллантиргичи 14, импульс кенглиги модулятори 15, кучли токли транзистор калитларини улаб-ўчириш алгоритмларини шакллантиргичи 16, кучланиш датчиги 18, кучланиш ростлагичи 19 ва функционал ўзгартиргич 20 таркибида бажарилган.

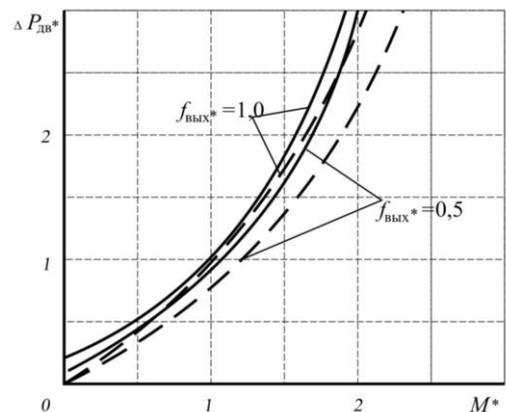


**4-расм. Двигател статор токининг модули бўйича бошқариладиган энергия тежамкор асинхрон электр юритманинг функционал схемаси**

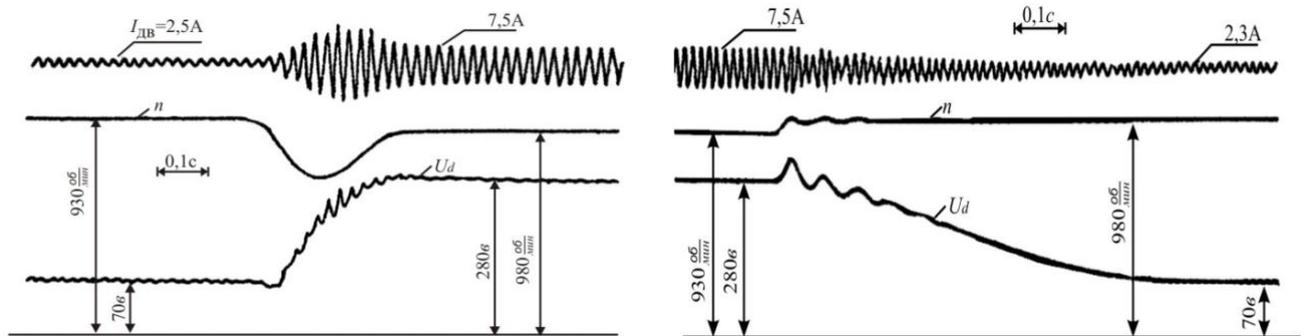
Схемадаги функционал ўзгартиргич (8) ва (9) ифодаларга мувофиқ  $U_{\text{опт}}$  ва  $f_{\text{чик}}$  ўртасидаги ўзаро боғланишнани ўрнатади (5-расм).

МЕТА-11-JS-65 русумли марказдан қочма насоснинг асинхрон электр юритмасини таклиф этилаётган бошқариш қурилмаси ва А42-6 турдаги двигател билан тажриба синов тадқиқотлари ўтказилди. Юритма двигателининг қуввати  $P_{\text{ном}} = 1,7$  кВт, айланиш тезлиги  $n = 980$  айл/мин 5-расмда бошқариладиган (а) ва энергия тежайдиган (б) электр юритмалар учун  $\Delta P_{\text{дв}}^*(M^*)$  йўқотишлар йиғиндиси бўйича асинхрон двигателнинг тажрибавий энергетик тавсифлари берилган. Таржибалар шуни кўрсатадики, экстремал бошқаришнинг самараси, айниқса, кичик юкланишда ( $M^* < 0,5$ ) яққол намоён бўлади, салт юришдаги энергия тежамли бошқариладиган двигателдаги қувват 20% га камаяди. Худди шундай натижалар, таъминловчи кучланишнинг частоталари қиймати номиналдан паст бўлганда ҳам кузатилди.

6-расмдаги осциллограммалар тизимнинг айрим динамик хоссаларини кўрсатиб ўтади. 6-а расмда, таъминловчи кучланиш частотаси номинал бўлганда салт юришдаги двигателга номинал юкламани қўйиш жараёнида ва двигател токи  $I_{\text{дв}}$  нинг ва айланиш тезлиги  $n$  нинг ўзгаришлари акс эттирилган. Расмдан кўриниб турибдики, қўйилган юклама, айланишнинг тезлигини “пасайиши” 28% бўлганда, 0,3 с да амалга оширилади. 6-б расмдаги осциллограммалар номинал юкламани олиб ташлаш жараёнини ифодалайди. Айланиш тезлигининг ўрнатилишининг ўтиш жараёни 0,07 сонияда тугатилади, лекин кучланиш қиймати, тахминан, бир сония ичида ўрнатилади. Ток ва кучланиш қийматларида ўта ростлашлар мавжуд эмас, ва тизим двигателининг магнит оқими пасайиши билан тежаш режимига ўтади.



5-расм. АДни двигателни йиғинди исрофлар бўйича энергетик характеристикаси: а – ростланувчан ЭЮ ЭПС ОА: “—” б – статор токи модули бўйича бошқариладиган ЭЮ “--”



6-расм. Номинал юкламанинг улаш (а) ва узиш (б) осциллограммалари

Олинган натижаларни таҳлил қилиб, шуни айтиш керакки, двигател қувватининг йўқотишларини камайтирадиган частотали ростланадиган экстремал электр юритма тизими сезиларли энергия тежаш ва динамик

хусусиятларга эга. Шу билан бирга, электр юритманинг ушбу тизимидан фойдаланиш самарадорлиги двигателнинг салт юриш даврлари қанча давомий бўлса, шунча кўпроқ бўлади.

Ишлаб чиқариш машиналаридаги энергия ва ресурслар сарфини камайтиришга асосланган, турбомеханизмларнинг айланиш тезлигини ростлашдан олинандиган иқтисодий самарани аниқлаш учун услубиёт, алгоритм ва ЭҲМ дастури таклиф этилган. Услубиёт корхонанинг амалдаги қозонхонаси цехида ўрнатилган частотавий ростланадиган электр юритмада синалган.

## ХУЛОСА

«Кимё корхоналаридаги ростланадиган электр юритмали ҳайдовчи машиналарининг энергия тежамкор иш режимлари» мазусидаги техник фанлар фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси бўйича олиб борилган тадқиқот натижалари асосида қуйидаги хулоса тақдим этилган:

1. Насос ишчи ғилдиракни йўниш, энергия тежамкор асинхрон двигателлардан фойдаланиш, насос қувватнинг технологик жараён талабларига мувофиқлаштириш, насосни айланиш тезлигини ростлашни орқали насослар ва уларнинг электр юритмаларини энергия ва ресурс тежамкор режимларини ишлаб чиқилган. Ростланадиган юритмали насослар гуруҳининг гидравлик қувватни исрофини таҳлил қилиш ва ҳисоблаш асосида, арзон қурилма ва кам энергия сарфли энергия самарадор насос станциясининг янги тузилмаси ишлаб чиқилган. Натижада насос қурилмалари учун электр энергия сарфини 35...40% га камайтириш имкони яратилган.

2. Ҳавони сиқувчи турбокомпрессорлар ва уларнинг электр юритмаларини ишлаш самаралилигини орттириш мақсадида компрессорни чуқур дросселлашга ўтказиш, механизм унумдорлигини ростлаш диапазонини кенгайтириш, ҳаво ўтказиш тармоғидаги босимни гуруҳли ростлашни жорий этиш ва юқори кучланишли синхрон электр юритмани раво ишга туширишни таъминлаш усули ишлаб чиқилган. Натижада компрессор қурилмалари учун электр энергия сарфини 10...15% га тежаш имкони таъминланган.

3. Вентиляторлар ва уларнинг электр юритмаларини энергия самарадор режимлари, жумладан, катта инерция моментли вентиляторларни частотавий ишга тушириш; грануляция ва градирня вентиляция қурилмалари, корхона қозонхонасининг тутун юткич ва пуфловчи вентиляторларининг унумдорлигини частотавий ростлаш ишлаб чиқилган ва жорий этилган. Натижада грануляция ва градирня вентилятор усканаларининг истеъмол қувватни деярли икки мартага, қозонхона қурилмаларидаги вентиляторларнинг қувватини 20...25% га камайтириш имкони берилган.

4. Экстремал ростлаш блокига эга бўлган, ҳозирда серияли ишлаб чиқарилаётган электр юритма асосида, вентиляторли юклама учун, энергия тежовчи частотавий ростланадиган электр юритма схемаси такомиллаштирилган. Бу электр юритма тизими, сезиларли энергия тежаш ва динамик хусусиятларга эришиш имконини беради.

5. Турбомеханизмлардаги унумдорлик ва босимни ростлашдан олинадиган иқтисодий самарадорликни аниқловчи, электр энергияни тежаш, ресурс тежамкорлиги ва технологик самарани ҳисобга олувчи услубиёт таклиф этилган ва у корхонанинг амалдаги қозонхона цехидаги частотавий ростланадиган электр юритмада жорий этилган.

6. Тадқиқот натижалари «Farg'onaazot» АЖда частотавий ростланадиган асинхрон электр юритмали насослар, насос станциялари, вентиляторлар ҳамда компрессорлар ва уларнинг синхрон двигателли юритмалари учун энергия ва ресурс тежамкор иш режимлари жорий этилган. Илмий-тадқиқот натижаларининг қўлланилиши корхонадаги ҳайдовчи машиналарнинг электр истеъмолини 6% га камайтириш имконини берган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА НАУК DSc 27.06.2017.Т.03.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ и  
ООО «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»**

---

**ФЕРГАНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**УСМОНОВ ШУКУРИЛЛО ЮЛБАРСОВИЧ**

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕЖИМЫ  
ПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ МАШИН ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ  
С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ**

**05.05.01 – Энергетические системы и комплексы**

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

**Ташкент – 2017**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В 2017.2.PhD/T149.

Докторская диссертация выполнена в Ферганском политехническом институте.

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

**Научный руководитель:**

**Арипов Назиржон Мукарамович**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Камалов Толяган Сиражиддинович**  
доктор технических наук, профессор

**Хохлов Владимир Александрович**  
доктор технических наук

**Ведущая организация:**

**Бухарский инженерно –технологический институт**

Защита диссертации состоится «30» XI 2017 г. в 11<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc 27.06.2017.T.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете и ООО «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 - 30). (Адрес: 100095, Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан «17» XI 2017 года.  
(протокол рассылки № «2» от «17» XI 2017 г.).



**К.Р. Аллаев**  
Председатель научного совета  
по присуждению ученой степени,  
д.т.н., профессор

**О. Х. Ишназаров**  
Ученый секретарь научного совета  
по присуждению ученой степени,  
д.т.н.

**И.М. Ибадуллаев**  
Председатель научного семинара при  
научном совете по присуждению  
учёной степени, д.т.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире важную роль имеет повышение эффективности обеспечения технологических машин в отраслях производства бесперебойной и качественной электроэнергией и исследования направленные на создание энерго- и ресурсосберегающих режимов их работы. В этом отношении особое значение уделяется повышению энергоэффективности технологических линий и перекачивающих машин химической промышленности с помощью современных электромеханических и полупроводниковых преобразователей, микропроцессорных средств автоматического контроля и управления. В развитых странах «по причине превышения потребляемой мощности в широко применяемых на химических предприятиях перекачивающих машинах и их электроприводах, над установленной на 40...50%, значительное снижение повышенного энергопотребления достигается за счет обеспечения экономичных режимов работы перекачивающих машин и изменения скорости вращения приводного двигателя»<sup>1</sup>.

В мире особое внимание придаётся разработке технических средств и технологий, обеспечивающих энерго и ресурсосберегающие режимы работы перекачивающих машин регулируемые электроприводами предприятий химической промышленности. В этой отрасли осуществление научно-исследовательских работ, в том числе, направленных на разработку энергосберегающих технологий насосов с частотно-регулируемыми электроприводами, энергоэффективных режимов работы компрессоров, вентиляторов и их электроприводов, а также создание энергосберегающего электропривода для вентиляторной нагрузки, обеспечивающего минимизацию потерь мощности в асинхронном электродвигателе являются одной из важнейших задач.

После обретения независимости Республики особое внимание уделяется качественному развитию энергетики, являющейся одной из важнейших отраслей экономики и способствующих повышению её технико-технологического уровня на основе современных требований. В этом отношении значительные результаты достигнуты по разработке новых типов и схем автоматически управляемых электроприводов перекачивающих машин промышленных предприятий. Вместе с тем, в том числе, требуется совершенствование структурных схем, алгоритмов управления регулируемого электропривода, обеспечивающего энерго и ресурсосберегающих режимов работы и методов снижения энергопотребления перекачивающих машин химических предприятий. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены задачи по «...сокращению энергоёмкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий...»<sup>2</sup>. Реализация этих проблем, в том числе, обеспечение энергетического равновесия

---

<sup>1</sup> <http://newchemistry.ru>

<sup>2</sup> Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

энергосберегающих режимов работы технологических и перекачивающих машин на химических предприятиях, совершенствования методов оптимизации потерь мощности, разработка структурных схем частотно-регулируемых электроприводов и алгоритма экстремального управления считается одной из важнейших задач.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлениях Президента Республики Узбекистан №ПП-2343 от 5 мая 2015 года «О Программе мер по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015-2019 годы» и №ПП-3012 от 26 мая 2017 года «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017-2021 годы», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной области.

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

**Степень изученности проблемы.** Научные исследования, направленные на разработку устройств и методов создания энергосберегающих режимов перекачивающих машин химических производств с регулируемыми электроприводами осуществляются в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе, в University of Michigan (США), University of Waterloo (Канада), Dresden University of Technology (Германия), Tokyo technology institute (Япония), Polytechnic University of Milan (Италия), НИУ «Московский энергетический институт» (Россия), ООО «Научно-технический центр» и ООО «Энергоцентр» (Узбекистан).

Большой вклад в решение научных проблем энерго- и ресурсосбережения и повышения энергоэффективности производства внесли известные ученые G.R. Siemon, T.M. Ferreira, F. Blaschke, K. Neumann, W. Heinrich, S.K. Bose, J. Otterpol, М.Г. Юньков, Г.Б. Онищенко, Б.С. Лезнов, Н.Ф. Ильинский, Р.Т. Шрейнер, И.Я. Браславский, А.Е. Козярук. и другие. Исследования по разработке и внедрению энергосберегающих технологий на базе регулируемых электроприводов, оптимизации режимов и нормированию потребления электрической энергии и повышению энергетической эффективности электрических двигателей выполнялись Т.Х. Насыровым, Р.А. Захидовым, Т.С. Камаловым, К.Р. Аллаевым, А.А. Хошимовым, Н.М. Ариповым, Ф.А. Хошимовым, К.Т. Алимходжаевым, М.К. Бобожановым и другими узбекскими учеными.

Несмотря на значительные достижения, недостаточно изученной остается проблема совершенствования существующих методов и создание новых методов энерго и ресурсосберегающих режимов перекачивающих машин химических производств с регулируемыми электроприводами. В настоящей

работе одной из важнейших задач считается повышение энергетических показателей перекачивающих машин химических предприятий, рациональный выбор и разработка оптимального управления их электроприводов

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках проектов, включенных в план научно-исследовательских работ Ферганского политехнического института на тему А-12-023 «Комплексная оптимизация энергоснабжения крупных промышленных регионов Республики на примере Ферганского промышленного узла» (2006-2008), заключенного между ФерПИ и АО «Farg`onaazot» 4-09-по обследованию необходимого объема использования регулируемых электроприводов большой мощности в технологических процессах АО «Farg`onaazot» и разработке рекомендаций по их внедрению.

**Целью исследования** является разработка энергосберегающих режимов перекачивающих машин химических предприятий с регулируемыми электроприводами.

**Задачи исследования:**

разработка энергосберегающих технологий транспорта жидкости насосами и насосными установками с частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами;

разработка энергоэффективных режимов работы центробежных турбокомпрессоров с высоковольтными синхронными двигателями, а также технологических вентиляторов и их электроприводов;

создание энергосберегающего электропривода для вентиляторной нагрузки, обеспечивающего требуемое значение магнитного потока двигателя для минимизации потерь мощности в электроприводе;

разработка методов оценивания энергетических показателей перекачивающих машин с регулируемыми электроприводами, обеспечивающих экономичные режимы их функционирования.

**Объектом исследования** являются регулируемые электроприводы и перекачивающие машины химических предприятий.

**Предмет исследования** является энергосберегающие режимы работы насосов и насосных установок, вентиляторов и компрессоров с регулируемыми электроприводами в производстве минеральных удобрений.

**Методы исследований.** В процессе исследований использованы методы теории электрических машин, электропривода, автоматического управления и центробежных турбомашин, методы экспериментальных исследований характеристик перекачивающих механизмов.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработаны энергосберегающие режимы работы насосов, вентиляторов и компрессоров, структурные схемы и алгоритмы управления регулируемых электроприводов;

определены зависимости потерь мощности группы насосов от частоты и соотношения числа насосов на основе обеспечения равновесия передачи воды для создания эффективной структуры насосных станции;

усовершенствована схема энергосберегающего частотно-регулируемого асинхронного электропривода с экстремальной системой управления для вентиляторной нагрузки;

разработана аналитическая зависимость величиной и частотой напряжения двигателя, на основе частотного управления, для уменьшения нагрева двигателя при пусковом разгоне вентилятора с большой инерцией.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработаны энерго- и ресурсосберегающие режимы работы насосного агрегата для подачи технологической воды и водопроводной насосной станции с частотными асинхронными электроприводами;

разработаны энергоэффективные режимы работы вентиляторов с частотными приводами грануляционной башни минеральных удобрений и градирни цеха водооборотного цикла;

разработаны методы повышения эффективности функционирования компрессоров сжатого воздуха и их приводов с синхронным двигателем за счет плавного пуска.

**Достоверность результатов исследования** обосновывается проведенными и полученными результатами полномасштабных теоретических и экспериментальных исследований, их взаимной согласованностью, практикой их внедрения, а также подтверждается совпадением теоретических и экспериментальных результатов.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость полученных результатов характеризуется определением аналитических зависимостей, устанавливающих необходимые связи с величиной и частотой напряжения питания двигателя, обеспечивающих заданный момент на валу и минимальные потери; а также с определением характеристик нового энергосберегающего частотного асинхронного электропривода для вентиляторной нагрузки с блоком экстремального управления.

Практическая значимость полученных результатов исследования состоит в разработке энергоэффективных режимов перекачивающих машин с регулируемыми электроприводами. Разработанные экономичные режимы характеризуются их широкомасштабным применением в насосных установках и насосных станциях, компрессорах для сжатия воздуха, вентиляторах грануляционной башни и градирни; дутьевых и дымососных вентиляторах котельных установок.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных научных результатов по разработке энергосберегающих режимов работы перекачивающих машин с регулируемыми электроприводами химических предприятий:

на АО «Farg`onaazot» внедрены энерго- и ресурсоэффективные режимы работы насосов, насосных станций, вентиляторов с частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами, компрессоров и их синхронных двигателей; включение решений в проект модернизации технологических установок и вспомогательного оборудования (справка АО «Узкимёсаноат» от 25 сентября

2017 года №03-4992/А). Использование результатов научных исследований дало возможность снижения электропотребления перекачивающих машин предприятия на 6%;

энергосберегающие режимы работы вентиляционной установки водооборотного цикла в производстве минеральных удобрений (справка АО «Узкимёсаноат» от 25 сентября 2017 года №03-4992/А). Использование результатов научных исследований для электродвигателя установки получена возможность снижения на 30% потребляемой мощности из сети;

усовершенствованная схема энергосберегающего частотно регулируемого асинхронного электропривода с экстремальной системой управления для вентиляторной нагрузки использовалась для определения энергетических показателей и характеристик частотных электроприводов турбомеханизмов в проекте Ф-2-3-4 «Разработка теории с высокоэффективной и ресурсосберегающей технологии для оптимального управления электрических станций с переменной тепловой нагрузкой при сжигании топлива с сероводородными добавками» (2006-2011) (справка Агентства по науке и технологий от 6 ноября 2017 года №ФТА-02-11/1025). Использование результатов научного исследования позволило повысить срок эксплуатации вентиляторных установок, снизить потребления электрической энергии технологическим процессом.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования прошли апробацию на 14 научно-практических конференциях и семинарах, в том числе на 6-и международных и 8-и республиканских конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано всего 27 научных работ. Одна статья - в иностранном журнале, 8 статей - в республиканских журналах, вместе с тем имеется одно Свидетельство на программу ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 110 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

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

В первой главе диссертации **«Современное состояние эффективности использования перекачивающих машин химических производств и**

**вопросы их регулирования»** проанализировано современное состояние эффективности использования перекачивающих машин (насосов, вентиляторов и компрессоров) на химических предприятиях и вопросы их регулирования.

Приведены разновидности основных перекачивающих машин в производстве минеральных удобрений, имеющих нерегулируемый электропривод переменного тока. В настоящее время производительность рассматриваемых турбомеханизмов регулируется использованием степени открытия механических средств (задвижек, заслонок и направляющих аппаратов). Сформулированы требования по регулированию их производительности, предъявляемые с точки зрения рационального ведения технологических процессов. Для удовлетворения этих требований предложено два типа регулирования: первый тип предусматривает реализацию плавного пуска двигателя электропривода; второй, наряду с плавным пуском, возможность длительной работы приводного двигателя с регулированием скорости его вращения.

В результате обзора и анализа режима работы турбомеханизмов выявлено, что для получения высоких технико-экономических показателей электроприводов для центробежных насосных агрегатов и вентиляторов, наилучшим способом регулирования скорости вращения асинхронных двигателей является частотный метод регулирования, а для турбокомпрессоров – обеспечение плавного пуска высоковольтных синхронных двигателей, способных в наибольшей степени осуществлять экономически целесообразные режимы работы, как в статических, так и в динамических режимах.

Изучение известных критериев оптимизации частотно-регулируемого асинхронного электропривода даёт возможность записать обобщённый комплексный критерий управления приводом в статических режимах:

$$N = c_1 i_1 + c_2 \Delta p + c_3 \tau + c_4 \frac{I}{\eta} + c_5 \frac{I}{\cos \varphi} + c_6 \frac{I}{\eta \cos \varphi} = N_{\min}, \quad (1)$$

где  $c_1, c_2, \dots, c_6$  – весовые коэффициенты для частных критериев оптимизации соответственно минимума тока, потерь, нагрева, максимума КПД, коэффициента мощности и их произведения.

Рассмотрены особенности определения энергоэффективных режимов турбомеханизмов с максимальной производительностью путём перевода асинхронных двигателей на частотное регулирование. Экономия электроэнергии и продление срока службы оборудования будут оптимальными при регулировании скорости вращения вниз от номинальной скорости, здесь также снижаются эксплуатационные затраты и обеспечивается ресурсосбережение в перекачивающих машинах.

Во второй главе диссертации **«Определение энергосберегающих технологий работы насоса и группы насосов с регулируемыми приводами»** определены энергосберегающие технологии работы насосов и группы насосов с регулируемыми приводами.

Проведен анализ особенностей работы центробежных насосов и требований к их электроприводу, при этом уточнены и исследованы следующие



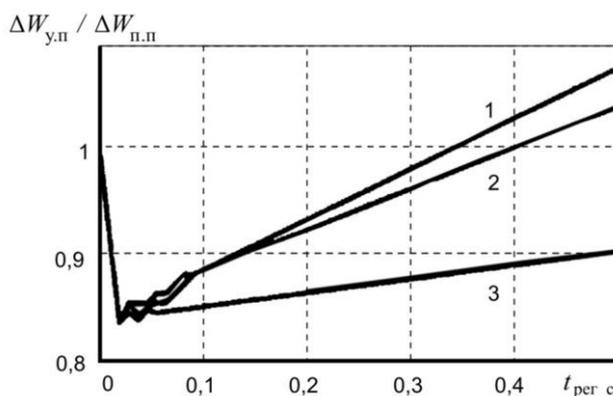
входят две группы насосов по два агрегата. При одновременной работе двух насосов управление всегда производится от двух ПЧ. Увеличение стоимости оборудования данной станции окупается за счет дополнительной экономии электроэнергии, для насосов мощностью 30,0 кВт срок окупаемости составляет 1,2...1,8 года, для насосов мощностью 132,0 кВт – 1,0...1,6 года.

В третьей главе диссертации «Исследование эффективности работы центробежных компрессорных машин и их электроприводов» исследованы эффективности работы центробежных компрессоров и вентиляторов, а также их электроприводов.

На основе проведенного анализа особенностей работы компрессоров и требований к их электроприводу уточнены и исследованы следующие методы повышения эффективности их функционирования: а) перевод в «глубокое дросселирование» в режиме холостого хода; б) расширение диапазона регулирования и групповое регулирование производительности; в) обеспечение плавного пуска электропривода компрессора.

Проведено экспериментальное исследование перевода компрессорного агрегата К-250 (номинальная потребляемая мощность компрессора  $N_{ном} = 1250,0$  кВт) в нерабочее для предприятия время в режим «глубокого дросселирования». Уменьшение нагрузки на рабочие колеса компрессора благодаря глубокому дросселированию облегчил режим пуска и снижает периоды времени на одно «включение-отключение» с 45 часов до 10 часов. Внедрение глубокого дросселирования позволило осуществлять ежедневные пуски и остановки компрессора со снижением потерь ресурса.

В работе представлена схема пуска высоковольтных электродвигателей воздуходушных агрегатов с использованием устройства плавного пуска. На рис.2 приведены графики изменения во времени пусковых потерь электроэнергии при плавном пуске  $\Delta W_{у.п.}$  для штатного режима (кривая 1) и в режиме глубокого дросселирования (кривая 2). При этом потери энергии при плавном пуске  $\Delta W_{у.п.}$  отнесены к потерям энергии при прямом пуске  $\Delta W_{п.п.}$ . Для сравнения на графике также приведена кривая 3 зависимости потерь энергии данного двигателя при постоянном моменте нагрузки на валу, равном номинальному, т.е.  $M_c = M_n$ .



**Рис. 2. Графики пусковых потерь электроэнергии двигателя при плавном пуске**

Графики достаточно чётко показывают минимум потерь электроэнергии, вызванный снижением колебательности процессов в момент времени 0,02...0,04 с (один-два периода частоты напряжения сети) потери снижаются на 15% по сравнению с потерями прямого пуска. В дальнейшем общие электрические потери

возрастают за счет увеличения времени работы двигателя на пониженных скоростях.

Для случая плавного пуска с глубоким дросселированием (кривая 2) эффект уменьшения потерь энергии проявляется существенно за счет расширения временной зоны, в течение которой потери энергии меньше пусковых. Однако точка минимума потерь энергии практически не меняется. Примерный расчет экономического эффекта от внедрения энергосберегающих режимов произведен для предприятия с непрерывным производственным циклом – завода по производству минеральных удобрений. Внедрение энергосберегающих режимов компрессоров в производстве сжатого воздуха и их электроприводов дает возможность получить экономию электроэнергии от 10 до 15% от номинальной потребляемой энергии на один агрегат, при этом суммарная экономия электроэнергии для приведенного примера составит свыше 8,0 млн. кВт·ч в год.

Определены следующие энергоэффективные режимы вентиляторов и их электроприводов: а) частотный пуск вентиляторов, имеющих большие инерционные массы; б) изменение скоростных режимов вентиляторов технологических установок с частотно-регулируемыми электроприводами; в) регулирование скорости вращения вала тягодутьевых механизмов котельных установок с частотными преобразователями для электроприводов

Частотное управление пуском вентиляторов, имеющих большие моменты инерции, позволяет резко снизить нагрев двигателя во время разгона. Определены выражения, устанавливающие оптимальные сочетания значений напряжения и частоты тока, преобразователя частоты, обеспечивающие заданный момент на валу двигателя и минимальные потери в течение времени частотного пуска:

$$\alpha_1 = \frac{r'_2}{x_1} \sqrt{\frac{k_c x_1^2 + c_1^2 m_1 f_{1н}^2 r_1^2 \tau_1^2}{c_1^2 m_1 f_{1н}^2 [r_1(1+\tau)^2 + r'_2] + k_c x_2'^2}},$$

$$\gamma = \frac{I_{1cr}}{U_{1н}} \sqrt{\frac{\frac{r'_2}{\alpha} \left[ (b^2 + c^2 \alpha^2) \frac{\alpha}{r'_2} + (d^2 + e^2 \alpha^2) \frac{r'_2}{\alpha} + 2r_1 \alpha \right]}{(1+\tau_2)^2 + \left(\frac{\tau_1}{x_1}\right)^2 \left(\frac{r'_2}{\alpha}\right)^2}}, \quad (2)$$

$$M_{max} = \frac{m_1 I_{1cr}^2 x_1}{2\omega_{1н} (1+\tau_2) \tau_1}, \quad I_{1min} = \sqrt{\frac{2M_{cr} \omega_{1н} (1+\tau_2) \tau_1}{m_1 x_1}}.$$

При переходе на частотное управление вентиляторов технологических установок используется дроссельный способ регулирования:

- частотное регулирование производительности вентиляционной установки грануляционной башни цеха производства карбамида обеспечивает снижение мощности, потребляемой двигателем из сети почти в два раза;
- при переходе на частотное регулирования низкооборотных приводных двигателей вентиляторов градирни отпадает необходимость в компенсирующих устройствах и появляется возможность сезонного регулирования

производительности, при этом снижение потребляемой мощности в зимнем режиме составляет более чем 47% на один вентилятор.

Дымососы котельных агрегатов относятся к одним из наиболее эффективных объектов применения частотного управления. Здесь потребляемая мощность двигателям электропривода дымососа в зависимости от производительности котла и разрежения в газоходе котла будет более чем в два раза меньше по сравнению со способом управления режимных параметров котла, их направляющими аппаратами. Потенциал энергосбережения в электроприводе дутьевых вентиляторов котельных установок в 2...3 раза ниже, чем на электроприводе дымососов, поэтому снижение потребляемой мощности электродвигателем здесь составляет 20...25%.

В четвертой главе диссертации «Разработка системы управления и технико-экономические показатели энергосберегающего электропривода перекачивающих машин» разработаны системы управления и определены технико-экономические показатели энергосберегающего электропривода перекачивающих машин.

Показано, что для регулируемых электроприводов перекачивающих машин химических производств с вентиляторной статической характеристикой одним из важных критериев качества по энергетическим соображениям и надежности являются потери мощности.

Определены оптимальные зависимости между частотой и величиной напряжения инвертора, обеспечивающие необходимое значение магнитного потока двигателя, минимизирующие потери мощности в электроприводе. В частотно-регулируемом асинхронном электроприводе реализация способов минимизации потерь является более сложной задачей, так как формирование потока в асинхронной машине требует применения специальных датчиков либо сложных алгоритмов управления.

Если не учитывается насыщение магнитопровода, то:

$$\Phi_* = E_*/f_*, \quad (3)$$

т.е. регулирование потока предполагает необходимость поддержания требуемого соотношения  $E_*/f_*$ . При этом магнитный поток  $\Phi_{опт*}$  определяется моментом  $M_*$  на валу двигателя:

$$M_* = \Phi_* I'_{2*} \sin \varphi_2, \quad (4)$$

где  $\varphi_2$  – угол между  $\Phi_*$  и  $I'_{2*}$ , который при малых значениях скольжения  $s$  равен примерно  $\pi/2$ , т.е.

$$M_* \approx \Phi_* I'_{2*}. \quad (5)$$

После необходимых преобразований получаем, что

$$\Phi_{опт*} \approx I_2' \sqrt{\frac{k_{v*}}{k_{v*} + k_{ст*} \omega_*^\beta}}. \quad (6)$$

Величина напряжения  $U_{опт*}$ , необходимого для создания этого потока, рассчитывается следующим образом:

$$U_* = E_* + I_1* Z_{1*} \approx \Phi_* f_* + I_1* z_{1*}, \quad (7)$$

где -  $z_{1*} = \sqrt{r_{1*}^2 + (f_* x_{1*})^2}$ ;  $z_{1*} = z_1 / z_{1н}$ ;  $r_{1*} = r_1 / z_{1н}$ ;  $x_{1*} = x_1 / z_{1н}$ ;  $z_{1н} = U_n / I_{1н}$ .

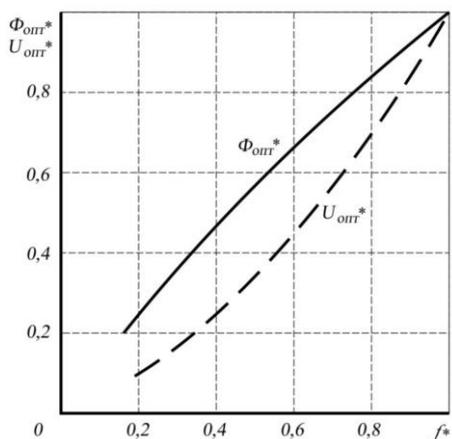
В электроприводе с вентиляторной нагрузкой момент на валу АД является однозначной функцией скорости вращения двигателя. В этом случае магнитный поток  $\Phi_{\text{опт}^*}$  и, соответственно, напряжение  $U_{\text{опт}^*}$  определяются только угловой скоростью  $\omega_*$  и частотой  $f_*$ .

Если принять во внимание, что  $\omega_* \approx f_*$ , то, для механизма с вентиляторным моментом сопротивления ( $M_* \approx \omega_*^2$ )

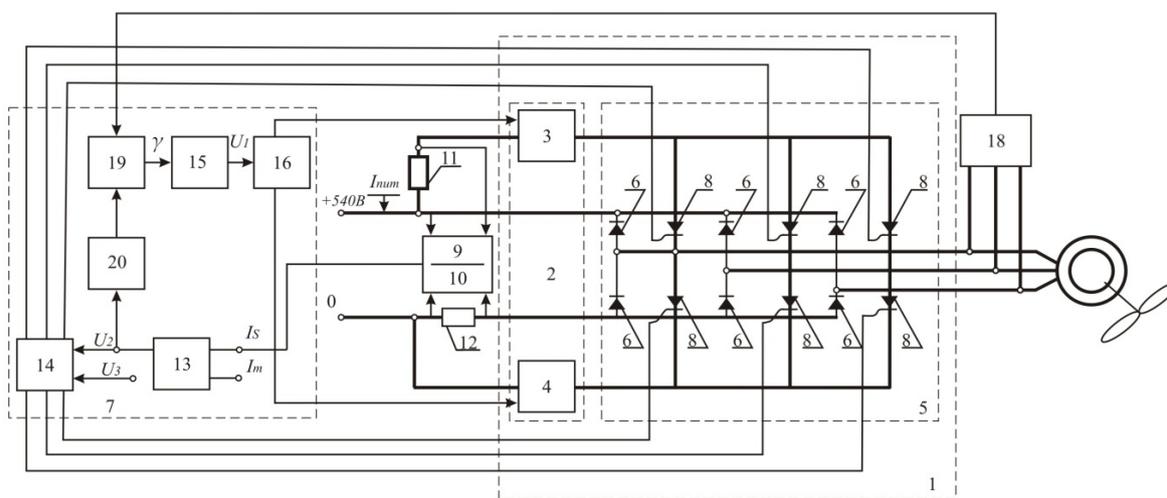
$$\Phi_{\text{опт}^*} \approx f_*^4 \sqrt{\frac{k_{v*}}{k_{v*} + k_{cm*} f_*^\beta}} \quad (8)$$

Примерный вид зависимостей  $\Phi_{\text{опт}^*}(f_*)$  и  $U_{\text{опт}^*}(f_*)$  для  $M_* = \omega_*^2$  показан на рис. 3. Установлено, что в асинхронном электроприводе с вентиляторной нагрузкой момент на валу двигателя является однозначной функцией скорости вращения и в этом случае магнитный поток и, соответственно, напряжение двигателя определяются только скоростью вращения и выходной частотой.

Разработан и экспериментально исследован энергосберегающий регулируемый электропривод для вентиляторной нагрузки (Заявка на изобретение IAP 20170077 опубл. 29.09.17 г.), на основе серийно выпускаемого в настоящее время электропривода ЭПС-ОА (Патент на изобретение № IAP02750) с управлением по модулю тока статора, дополненного простым и дешевым блоком экстремального регулирования.



**Рис. 3. Графики зависимости относительных значений  $\Phi_{\text{опт}^*}(f_*)$  и  $U_{\text{опт}^*}(f_*)$  для механизмов с вентиляторным моментом**



**Рис. 4. Функциональная схема энергосберегающего асинхронного электропривода с управлением по модулю тока статора двигателя**

Энергосберегающий электропривод с вентиляторной нагрузкой включает (рис. 4) преобразователь частоты 1, состоящий из транзисторного широтно-импульсного регулятора 2 с двумя силовыми транзисторами ключами 3 и 4,

тиристорного инвертора 5 с обратными диодами 6, двух датчиков тока 9 и 10, двух постоянных резисторов 11 и 12, а блок 7 управления работой преобразователя частоты 1 выполнен в виде релейной схемы сравнения 13, формирователя алгоритма переключения 14 тиристорных инверторов 5, широтно-импульсного модулятора 15 и формирователя алгоритма переключения 16 транзисторов силовых транзисторных ключей 3 и 4, датчик напряжения 18, регулятор напряжения 19 и функциональный преобразователь 20.

Функциональный преобразователь в схеме устанавливает требуемую взаимосвязь между  $U_{\text{опт}}$  и  $f_{\text{вых}}$  в соответствии с выражениями (7) и (8).

Проведено экспериментальное исследование асинхронного электропривода центробежного насоса типа МЭТА-11-JS-65 с предлагаемым устройством управления и с двигателем типа А42-6. Мощность приводного двигателя  $P_n = 1,7$  кВт, скорость вращения  $n_n = 980$  об/мин. На рис. 5 приведены экспериментальные энергетические характеристики АД по суммарным потерям  $\Delta P_{\text{дв}}^*(M^*)$  для регулируемого (а) и энергосберегающего (б) электроприводов.

Эксперименты показали, что эффективность экстремального регулирования особенно сильно проявляется при малых нагрузках ( $M^* < 0,5$ ), в режиме холостого хода, при управлении с энергосбережением потери мощности в двигателе уменьшаются более чем на 20%. Аналогичные результаты получены также и при значениях частот питающего напряжения ниже номинального.

Осциллограммы, приведенные на рис. 6, иллюстрируют некоторые динамические свойства системы. На рис. 6, а изображен процесс наброса номинальной нагрузки на работающий на холостом ходу двигатель при номинальной частоте питающего напряжения и изменении при этом тока двигателя  $I_{\text{дв}}$  и скорости вращения  $n$ .

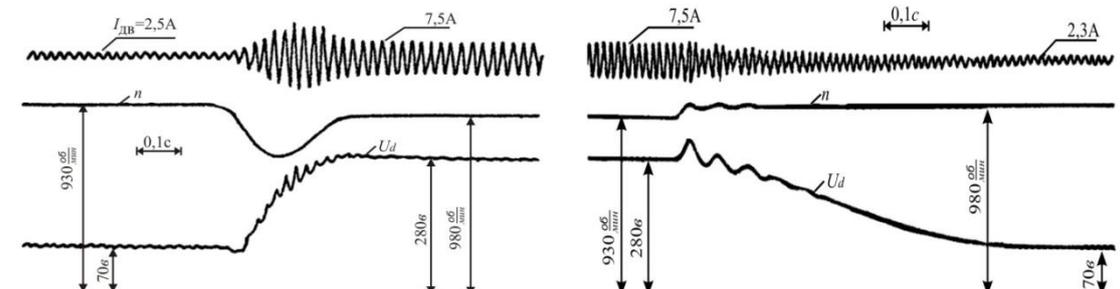


Рис. 6. Осциллограмма наброса (а) и сброса (б) номинальной нагрузки

Как видно, приложенное возмущение отрабатывается за 0,3 с при «посадке» частоты вращения на 28%. Осциллограммы на рис. 6, б иллюстрируют процесс сброса номинальной нагрузки. По установлению

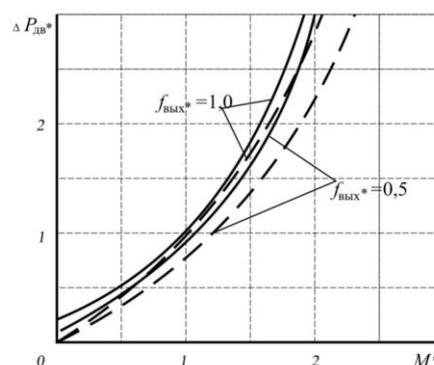


Рис. 5. Энергетические характеристики АД по суммарным потерям:  
 а – регулируемый электропривод ЭПС-ОА: “\_\_\_\_\_”  
 б – энергосберегающий электропривод “- - - - -”

скорости вращения переходный процесс заканчивается за 0,07 с, однако напряжение устанавливается примерно за 1 с. Перерегулирование в величинах токов и напряжения практически отсутствуют, и система переходит в экономичный режим работы с пониженным магнитным потоком двигателя.

Оценивая полученные результаты, можно сказать, что система частотно-регулируемого экстремального электропривода, минимизирующая потери мощности двигателя, обладает хорошими энергосберегающими и динамическими свойствами. Причем эффективность использования данной системы электропривода тем больше, чем продолжительнее периоды холостого хода двигателя.

Предложена методика, алгоритм и программа на ЭВМ для определения экономического эффекта от регулирования скорости вращения турбомеханизмов, основанные на уменьшении расходов энергии и ресурсов в производственных машинах. Методика проверена в частотно-регулируемом электроприводе на действующем котельном цехе предприятия.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основе результатов исследований, проведенных по теме «Энергосберегающие режимы перекачивающих машин химических производств с регулируемыми электроприводами» диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам, представлено следующее заключение:

1. Разработаны энерго и ресурсосберегающие режимы насосов путем подрезки рабочего колеса, использование энергосберегающих асинхронных двигателей и обеспечения соответствия потребляемой мощности насоса к требованиям технологического процесса, а также регулирование скорости вращения насоса. На основе анализа и расчета потерь гидравлической мощности группы насосов, оснащенных регулируемыми электроприводами разработана новая структура насосной станции, характеризующаяся приемлемой стоимостью и минимальными энергетическими затратами. В результате получена возможность уменьшения расхода электроэнергии для насосных установок на 35...40%.

2. Разработаны методы повышения эффективности функционирования турбокомпрессоров для производства сжатого воздуха и их электроприводов: перевод компрессора в глубокое дросселирование; расширение диапазона регулирования производительности механизма; внедрение группового регулирования давления в воздухопроводной сети; обеспечение плавного пуска высоковольтного синхронного электропривода. В результате обеспечена возможность экономии расхода электроэнергии для компрессорных установок на 10...15%.

3. Разработаны и внедрены энергоэффективные режимы вентиляторов и их электроприводов: частотный пуск вентиляторов с большими моментами инерции, частотное регулирование производительности вентиляционных установок грануляции и градирни, дымососов и дутьевых вентиляторов

котельных агрегатов предприятия. В результате получена возможность снижения потребляемой мощности вентиляторных установок грануляции и градирни почти в два раза, для вентиляторов котельных установок на 20...25%.

4. Усовершенствована схема энергосберегающего частотно-регулируемого асинхронного электропривода для вентиляторной нагрузки с экстремальной системой управления, на основе серийно выпускаемого в настоящее время электропривода. Данная система электропривода обеспечивает возможность достижения улучшенных энергосберегающих и динамических свойств.

5. Предложена методика определения экономического эффекта от регулирования производительности и давления турбомеханизмов, учитывающая экономии электроэнергии, ресурсосбережение и технологические эффекты и она внедрена в частотно-регулируемой электроприводе на действующем котельном цехе предприятия.

6. Результаты исследований внедрены на АО «Farg`onaazot» в виде энерго и ресурсоэффективных режимов работы насосов, насосных станций, вентиляторов и тягодутьевых механизмов с частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами; центробежных турбокомпрессоров в производстве сжатого воздуха и их высоковольтных синхронных электроприводов. За счет внедрения результатов научных исследований получена возможность снижения электропотребления перекачивающих машин на 6%

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING DEGREE OF DOCTOR  
OF SCIENCES No: 27.06.2017.T.03.03 AT TASHKENT STATE  
TECHNICAL UNIVERSITY AND LLC  
“SCIENTIFIC-TECHNICAL CENTRE”**

---

**FERGHANA POLYTECHNIC INSTITUTE**

**USMONOV SHUKURILLO YULBARSOVICH**

**ENERGY-SAVING REGIMES TRANSMITTING MACHINES  
OF CHEMICAL MANUFACTURING  
WITH REGULATED ELECTRIC DRIVES**

**05.05.01 - «Energy systems and complexes»**

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

**Tashkent – 2017**

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.2.PhD/T149.

The dissertation has been prepared at Ferghana Polytechnic Institute

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) on the website www.tdtu.uz and on the website of «ZIYONET» Information and education portal www.ziyonet.uz.

**Scientific supervisor:** Aripov Nazirjon Mukaramovich  
doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:** Kamalov Tolyagan Sirajiddinovich  
doctor of technical sciences, professor

Khokhlov Vladimir Aleksandrovich  
doctor of technical sciences

**Leading organization:** Bukhara engineering and technological institute

The defense of dissertation will take place on "30" XI 2017 at 11<sup>00</sup> o'clock at a meeting of the Scientific council No.DSc.27.06.2017.T.03.03 under Tashkent State Technical University and LLC "Scientific-Technical Centre" (Address: 100095, Tashkent city, Universitetskaya street, 2. Tel./fax: (99871) 246-46-00; e-mail: tadqiqitchi@tdtu.uz).

The doctoral dissertation can be reviewed at the Information-resource center of Tashkent State Technical University (is registered number No30) (Address: 100095, Tashkent city, Universitetskaya street, 2. Tel./fax: (99871) 246-46-00; e-mail: tadqiqitchi@tdtu.uz).

Abstract of the dissertation sent out on "17" XI 2017  
(Protocol of the delivery No 2 dated "17" XI 2017)



*[Signature]*  
**K.R.Allaev**  
Chairman of scientific council  
for awarding scientific degrees  
Doctor of technical sciences, Professor

*[Signature]*  
**O.H.Ishnazarov**  
Scientific secretary of scientific council  
for awarding scientific degrees  
Doctor of technical sciences

*[Signature]*  
**I.M.Ibadullaev**  
Chairman of scientific seminar under scientific council  
for awarding scientific degrees  
Doctor of technical sciences, Professor

## INTRODUCTION (abstract of thesis)

**The aim of the research work:** The development of energy-saving modes of pumping machines of chemical enterprises – pumps and pumping stations, fans and compressors with adjustable electric drives..

**Tasks of research:**

development of energy-saving technologies of liquid transport by pumps and pumping units with frequency-controlled asynchronous electric drives;

development of energy efficient modes of operation of centrifugal turbo compressors with high-voltage synchronous motors, as well as techno-logical fans and their electric drives;

creation of energy-saving electric drive for fan load, providing the required value of the magnetic flux of the motor to minimize power losses in the electric drive;

development of methods for assessing the energy performance of pumping machines with adjustable electric drives, providing economical modes of their operation.

**Objectives of the research** are regulated electric drives and pumping machines of chemical enterprises.

**Scientific novelties of the research** are following:

energy-saving modes of operation of pumps, fans and compressors, structural circuits for controlled electric drives and control algorithms have been developed;

the dependences of the power losses of a group of pumps on the frequency and the ratio of the number of pumps have been determined on the basis of ensuring the balance of water transmission in order to create an efficient pump station structure;

the scheme of energy-saving frequency-regulated asynchronous electric drive with an extreme control system for fan load has been improved;

the analytical dependence of the magnitude and frequency of the motor voltage, based on frequency control, has been developed to reduce the heating of the engine during the starting acceleration of the fan with a large inertia.

**The structure and outline of the research work.** The dissertation consists of following sections: introduction, four main chapters, conclusion, list of references, appendices. volume of the work is 110 pages.

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

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Матбабаев М.М., Усмонов Ш.Ю. Мягкий пуск механизмов с вентиляторной характеристикой, с электроприводом с прямым управлением момента // Научно-технический журнал ФерПИ. – Фергана, 2010. - № 4, - С.37-42 (05.00.00 №20).

2. Арипов Н.М., Усмонов Ш.Ю. Анализ эффективности регулирования скорости электроприводов компрессоров насосных агрегатов химических производств // Журнал «Химическая технология контроль и управление». – Ташкент, 2010. - № 6, - С.79-82 (05.00.00 №12).

3. Арипов Н.М., Усмонов Ш.Ю. Частотный пуск турбомеханизмов с асинхронным электроприводом по системе с прямым управлением момента // Журнал «Вестник Таш ГТУ» – Ташкент, 2011. - № 1, - С. 71-74 (05.00.00 №16).

4. Арипов Н.М., Исмаходжаев С, Усмонов Ш.Ю. Энергосберегающий частотно-регулируемый асинхронный электропривод с вентиляторной нагрузкой // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2011. - № 2. - С.41-44 (05.00.00 №5).

5. Арипов Н.М., Усмонов Ш.Ю. Анализ работы насоса на трубопровод и определение эффективности регулирования скорости вращения рабочего колеса насоса // Научно-технический журнал ФерПИ. – Фергана, 2011. - № 4, - С. 40-43 (05.00.00 №20).

6. Арипов Н.М., Усмонов Ш.Ю. Создание энергосберегающих режимов работы компрессоров с асинхронным электроприводом // Журнал «Проблемы энерго и ресурсосбережения». – Ташкент, 2012. - № 1-2. - С. 67-72 (05.00.00 №21).

7. Усмонов Ш.Ю., Кучкарова Д. Энергия тежамкор электр юритмаларни қўлланилиши // Научно-технический журнал ФерПИ. – Фергана, 2013. - № 2, - С.119-120 (05.00.00 №20).

8. Усмонов Ш.Ю. Оптимизация частотно-регулируемого асинхронного электропривода для вентиляторной нагрузки // Научно-технический журнал ФерПИ спец вып., – Фергана, 2017. - С.51-55 (05.00.00 №20).

9. Usmonov Sh. Yu. Frequency-Controlled Asynchronous Electric Drive with Extreme Control for Fan Load // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India, 2017. - Volume 4, Issue 10, Pages: 4633-4642 (05.00.00 №8).

**II бўлим (II часть; II part)**

10. Арипов Н.М., Усмонов Ш.Ю. Разработка энергосберегающего частотно-регулируемого асинхронного электропривода с вентиляторной нагрузкой // Журнал «Электрика». – Москва, 2011. - № 4, - С. 26-28.

11. Usmonov Sh. Yu. Development of the Energy Saving Frequency and Adjustable Asynchronous Electric Drive Ventilatory Loading // Scientific Light. - Poland, 2017.- Volume 1, Issue 3, Pages: 69-71.

12. Usmonov Sh. Yu. Optimization of Frequency-Controlled Asynchronous Electric Drive for Ventilatory Loading // Science Research USA, 2017. - Volume 5 Issue 4, 29 Pages: 50-56.

13. Арипов Н.М., Усмонов Ш.Ю. Улучшении энергетических показателей асинхронного электропривода, работающего с переменной нагрузкой // «Техника ва технологияларни ноанъанавий усулларидан фойдаланиш» мавзусидаги III- Республика илмий-амалий конференциясининг тезислари Фергана 2001, С. 63-64.

14. Арипов Н.М., Усмонов Ш.Ю., Кодирова Д. О энергетическом менеджмент в промышленности и роль менеджера-энергетика // «Техника ва технологиянинг замонавий муаммолари» мавзусидаги ёш олимларнинг Республика илмий- амалий конференциясининг материаллари Фергана 2002, С. 193-194.

15. Арипов Н.М., Усмонов Ш.Ю. Основные подходы решения проблемы энергосбережения // «Ахборот ва ишлаб чиқариш технологияларининг. илғор усулларининг тадқиқоти ва техникаси». Республика илмий техник конференцияси материаллари. 23-34 май, Фергана 2003, С.256.

16. Usmonov Sh. Yu. Optimization of the Launching Process in the Electric Drive with the Help of Genetic Algorithm // Machine Learning Research Volume 2, Issue 2, April 2017, Pages: 61-65

17. Арипов Н.М., Усмонов Ш.Ю. Оценка потенциала энергосбережения при энергетическом обследовании промышленных предприятий // «Рақобатбардош кадрлар тайёрлаш: тажриба ва муаммолар» Республика илмий-амалий конференцияси материаллар тўплами II- қисм 29-30 май 2007, Наманган, С. 264-267.

18. Исмаходжаев С.К., Усмонов Ш.Ю. Повышение энергообеспеченности энергоёмких производств // Халқаро илмий анжуман «Инновация -2007» ноябр Ташкент, С. 186-187.

19. Арипов Н.М., Исмаходжаев С.К., Матбабаев М.М, Усмонов Ш.Ю. Анализ энергосберегающих режимов перекачивающих машин и агрегатов в производстве минеральных удобрений // Халқаро илмий анжуман «Инновация - 2009» Ташкент ноябр. С.151.

20. Арипов Н.М., Усмонов Ш.Ю. Automation of frequency start-up of mechanisms with application of asynchronous drive with continuous control // Sixth world conference on Intelligent Systems for Industrial Automation Tashkent, Uzbekistan November 25-27, 2010, 394-397 бетлар.

21. Арипов Н.М., Матбабаев М.М, Усмонов Ш.Ю. Система автоматического управления электроприводами перекачивающих машин, работающих на длинные трубопроводы // «Инновация-2011», Ташкент 26-28 октябрь 2011, С. 219-220.

22. Арипов Н.М., Усмонов Ш.Ю. Эффективность применения частотных электроприводов для тягодутьевых механизмов котельных установок //

Международная конференция современные состояние энергетики, 15-16 декабр, Ташкент 2011, С. 134-137.

23. Арипов Н.М., Усмонов Ш.Ю. Снижение потребляемой мощности вентиляторов с частотно - регулируемыеми электроприводами // Международная конференция современные состояние энергетики, 15-16 декабр, Ташкент 2011, С. 191-194.

24. Усмонов Ш.Ю., Кучкарова Д. Современное состояние перекачивающих машин химических производств // Республиканская конференция «Перспективы науки и производства химической технологии в Узбекистане» 23-24 май, Навои 2014 С. 163-164.

25. Усмонов Ш.Ю., Кучкарова Д., Акбаров Ф. Современное состояние проблемы энергетической эффективности режимов работы электроприводов центробежных насосов // Республиканская конференция «Энергия тежамкорлиги, электр энергетикаси таъминоти узлуксизлигини таъминлаш концепциясини долзарб муаммолари хамда уларнинг ечимлари самарадорлигини ошириш» 2- 3 декабр, Фергана 2017, С. 141-142.

26. Усмонов Ш.Ю. и др. Energy saving of fan// Государственное Патентное ведомство РУз. Свидетельство №DGU 04280. 12.12.2017

27. Усмонов Ш.Ю. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод с экстремальным управлением для вентиляторной нагрузки. X Международная научно-практическая конференции «Advances in Science and Technology» 4-5 октября 2017 г. Россия г. Москва 269-271.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» илмий журнал таҳририятида таҳрирдан ўтказилди (02.11.2017 йил).

Босмага рухсат этилди 11.11.2017 й.  
Бичими 60x84 1/16 Times New Roman гарнитураси  
Босма табоғи 2,5  
Адади 100 нусха. Буюртма номери 106

“ADAD PLYUS”МЧЖ босмахонасида чоп этилди  
Тошкент, бунёдкор кучаси,28