

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

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ТИТОВА ЖАННА ОЛЕГОВНА

**НАСОС СТАНЦИЯЛАРИНИНГ ҲОЛАТЛАРИНИ РОСТЛАШ
АЛГОРИТМЛАРИ ВА УСУЛЛАРИ**

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

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2016

Докторлик диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата докторской диссертации

Content of the abstract of doctoral dissertation

Титова Жанна Олеговна

Насос станцияларининг ҳолатларини ростлаш алгоритмлари ва
усуллари..... 3

Титова Жанна Олеговна

Алгоритмы и методы регулирования режимов работы насосных
станций..... 29

Titova Janna Olegovna

Algorithms and methods of regulation of the pumping stations operating
modes..... 55

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of publication works..... 79

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

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

Титова Жанна Олеговна

**НАСОС СТАНЦИЯЛАРИНИНГ ҲОЛАТЛАРИНИ РОСТЛАШ
АЛГОРИТМЛАРИ ВА УСУЛЛАРИ**

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

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2016

Докторлик диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида 30.09.2014/В2014.3-4.Т174 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университетида бажарилган.
Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз) Илмий кенгаш веб-саҳифаси (www.tdtu.uz) ва «ZIYONET» таълим ахборот тармоғида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:	Аллаев Кахрамон Рахимович техника фанлари доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	Тягунов Михаил Георгиевич техника фан доктори, профессор Хашимов Арифжан Адилевич техника фан доктори, профессор Камалов Толяган Сирожиддинович техника фан доктори, профессор
Етакчи ташкилот:	«Гидролойиха» АЖ

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва “Илмий – техника маркази” масъулияти чекланган жамият ҳузуридаги 14.07.2016.Т.02.01 рақамли илмий кенгашнинг 2016 йил “25” ноябрь соат 11-00 даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100125, Тошкент, Дўрмон йўли кўч., 29. Тел.: (99871) 262-05-22; факс: (99871) 262-09-19; e-mail: info@energetika.uz).

Докторлик диссертацияси билан “Илмий – техника маркази” масъулияти чекланган жамиятининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (03 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100125, Тошкент, Дўрмон йўли кўч., 29. Тел.: (99871) 262-05-22).

Диссертация автореферати 2016 йил “09” ноябрь куни тарқатилди.
(2016 йил “08”ноябрь даги 14д рақамли реестр баённомаси)

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

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

Т.Ш.Гайибов,
Фан доктори илмий даражасини берувчи илмий
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,
т.ф.д., профессор

КИРИШ (Докторлик диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Ҳозирги кунда дунё амалиётида энергетика, ерларнинг мелиорацияси, углеводород маҳсулотларини етказиш ҳамда уй-жой коммунал хўжалигида насос станцияларининг аҳамияти ошиб бормоқда. Иқтисодийнинг ушбу соҳасида насос станциялар ишини ишончилиги, узлуксизлиги, юқори энергия самарадорлиги ва мослашувчанлиги ҳамда беқарор ҳолатларида ишчанлик қоюилиятлилигини таъминлаш долзарб масала ҳисобланади. Ривожланган хорижий мамалакатларда барча параметрларга эришиш учун замонавий насос жиҳозларини доимий равишда янгилаш ва такомиллаштиришнинг маълум ютуқларига эришилган. «Бу борада қувур тизимларининг эксплуатация муддатини 1,5-2 баробарга узайтирадиган насос станцияларининг юқори технологик ихтисослашган асосий ва ёрдамчи энергетик жиҳозларини қўллаш талаб қилинмоқда»¹.

Ўзбекистон Республикасида насос станциялари иш ҳолатларини ростловчи энергия тежамкор усул ва қурилмаларини яратишга оид тадбирларни самарали ташкил қилиш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилди. Бу борада насос станцияларининг энергетик жиҳозлари ва қувурларига электромеханик ва гидромеханик ўтиш жараён-ларига таъсирини пасайтиришнинг самарали усул, услуб ва қурилмаларини ишлаб чиқишда маълум натижаларга эришилган. Ростланадиган электр юритмаси асосида насос қурилмаларини бошқариш структура схемаси ва алгоритмлари, «асинхрон двигатель-насос» частотали ростланадиган тизимлари, турбомеханизмлардаги асинхрон двигателнинг мураккаб бошқарув структуралари ишлаб чиқилган.

Жаҳонда беқарор ҳолатларда насос станциялари узлуксизлиги ва ишончилигини таъминлаш, беҳосдан ўтиш жараёнларига тушувчи насос станцияларининг энергетик жиҳозлари ва қувурларини химоя қилишнинг янги техника ва технологияларини яратиш алоҳида аҳамият касб этмоқда. Бу соҳада насос станциялари ишининг барқарор ва беқарор иш ҳолатларини ростлашнинг усулларини ишлаб чиқиш, гидравлик зарблардан асосий энергетик жиҳозлар ва қувурларни химоялаш қурилмаларини яратиш, дренаж ва оқова сувларни чиқариб ташлаш учун ёрдамчи энергетик жиҳозлар учун техник ечимларни топиш ва ишончилигини такомиллаштириш каби йўналишларда мақсадли илмий-тадқиқотларни амалга ошириш устувор вазифа ҳисобланади. Юқорида келтирилган илмий-тадқиқотлар йўналишида бажарилаётган илмий изланишлар мазкур диссертация мавзуси долзарб-лигини изоҳлайди.

Ўзбекистон Республикасининг «Энергия билан оқилон фойдаланиш тўғрисида»ги Қонун (1997 йил), Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 5 майдаги ПҚ-2343-сон «2015-2019 йилларда иқтисодий тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия сарфи ҳажмини қисқартириш, энергияни тежайдиган технологияларни жорий этиш чора-тадбирлари дастури тўғрисида» Қарори, Вазирлар Маҳкамасининг 1999 йил 16 ноябрдаги 499-сон ««Гидротехника иншоотларининг хавфсизлиги тўғрисида»ги Ўзбекистон Республикаси Қонунини амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли барча меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

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

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи². Насос станцияларини электромеханик ва гидромеханик ўтиш жараёнларининг салбий оқибатларидан химояловчи ростлаш ҳолатлари ав алгоритм-

¹ <http://www.volnotex.ru/>

² Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи <http://www.sipos.de/>, <http://www.gavalves.co.uk/>, <http://www/valmatic.com/>, Water Hammer in Pumped Sewer Mains. Aalborg, Denmark, 2012, 52p., Энергетик жиҳозлари. –М.: ВИА, 2004, 448с., <http://www.mpei.ru/> ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

ларини яратишга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан, Val-Matic Valve & Manufacturing (США), SIPOS Aktorik (Германия), GA Valves, University of Cambridge (Буюк Британия), Aalborg University (Дания), Zhejiang University of Science and Technology (Хитой), Москва энергетика университети (Россия), Тошкент давлат техника университети ва «Илмий-техника маркази» МЧЖ да (Ўзбекистон) кенг қамровли илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда

Насос станцияларини электромеханик ва гидромеханик ўтиш жараёнларнинг салбий оқибатларидан ҳимоялаш бўйича ростилаш ҳолат усуллари ва алгоритмларини такомиллаштиришга оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан, қуйидаги илмий натижалар олинган: насос станцияларидаги гидравлик зарблардан ҳосил бўлган пульсацияларни текислаш принциплари ва босимларни нормалаш учун янги ҳаво клапанларини ишлаб чиқилган (Val-Matic Valve & Manufacturing., АКШ); насос станцияларида ўтиш ҳолатлари ҳолатидаги арматураларни кўчишининг турли майдонлари учун турли ёпилиш тезлигини таъминловчи юритмалар ишлаб чиқилган (SIPOS Aktorik, Германия); насос станцияси иш ҳолатидаги нормал ва ғавқулотда ҳавфли ҳолатлари учун чиқиш тезлигини алоҳида-алоҳида сошлаб амалга оширувчи автоматик бошқарувчи клапанлар ишлаб чиқилган (GA Valves, Буюк Британия); бошқариш алгоритмларини такомиллаштириш асосида насоснинг электрйуритма ускулларини частотали-ростилаш ҳолатлари асосланган (University of Cambridge, Великобритания); насос станциялардаги асинхрон двигателлар тезлигини скаляр ва векторли ростилашда гидравлик зарбни келтирилган имитацияли моделлаштириш асосида частотали бошқариш қонуниятлари яратилган (Aalborg University, Дания); вақт функциясида кучланишни ростилаш қонуни ва бошқариш частотасини чиқиқли ўзгариш қонунларига пропорционалигидаги насос станцияларини бошқариш алгоритми ишлаб чиқилган (Zhejiang University of Science and Technology, Хитой); суғориш насос станцияларининг параметрларини асослаб беришнинг назарияси ва усуллари ишлаб чиқилган (Москва энергетика университети, Россия); қисқа вақт ичида манбани узилишидан кейин электрдвигателни ўз-ўзидан ишга тушириш ҳолатидаги насос станцияларининг ўтиш жараёнини математик моделлари ишлаб чиқилган (Тошкент давлат техника университети, Ўзбекистон); частотали-ростланувчи электрйуритгичлар воситалари орқали суғориш насос станцияларининг бошқаришдаги рационал структураси қурилган («Илмий-техника маркази» МЧЖ, Ўзбекистон).

Дунёда йирик энергетик мажмуалар ва гидротехник объектлар ҳолатларини бошқаришнинг интеллектуал оптимал усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш бўйича қатор, жумладан, қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: насос ва гидроэлектрик станцияларни энергиятежамкор, оптимал ва ҳавфсиз ҳолатлари ишлаб чиқиш; насос станциясининг беқарор ҳолатларини ростилаш алгоритм ва усулларини яратиш; насос станцияларини электромеханик ва гидротехник ўтиш жараёнларини ўзаро

боғлиқлигини формаллаштириш; насосли ва гидротехник станцияларнинг асосий ва ёрдамчи насосли-катта қувватли жиҳозлар ишончлилигини таъминлаш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Электромеханик ва гидромеханик ўтиш жараёнлари салбий таъсирларидан насос станциялари ҳолатини ҳимоялашнинг алгоритмлари ва тартибга солишнинг услубларини яратишга қаратилган илмий тадқиқотлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасаларида амалга оширилмоқда, жумладан Val-Matic Valve & Manufacturing (АҚШ), SIPOS Aktorik (Германия), GA Valves (Буюк Британия), University of Cambridge (Буюк Британия), Aalborg University (Дания), Zhejiang University of Science and Technology (Хитой), Москва энергетика институти (Россия), Ташкент давлат техника университети ва «Илмий-техника маркази» МЧЖ (Ўзбекистон)

Жаҳонда электромеханик ва гидромеханик ўтиш жараёнларининг салбий таъсирларидан насос станцияларнинг ҳолатларини ҳимоя қилиш алгоритмлари ва тартибга солиш услубларини такомиллаштириш бўйича амалга оширилган тадқиқотлар натижасида бир қатор илмий натижалар олинган, жумладан: насос станцияларида гидравлик зарбларнинг пульсацияларини текислаш тамойиллари ва босимни меъёрий жиҳозга келтириш учун янги ҳаволи клапанлар ишлаб чиқилган (Val-Matic Valve & Manufacturing АҚШ); насос станцияларида ўтиш ҳолатлари пайдо бўлган ҳолатда арматура йўналишлари бўйича турли қисмлар учун ёпишнинг турли тезлигини таъминлаб берувчи юритмалар ишлаб чиқилган (SIPOS Aktorik, Германия); насос станциясининг меъёрий ва авариявий фаолият ҳолати учун чиқиш тезлигининг созланиши алоҳида ҳолатда амалга ошириладиган автоматик бошқариш клапанлари ишлаб чиқилган (GA Valves, Буюк Британия); бошқарув алгоритмларини такомиллаштириш асосида насос қурилмаларининг частотали тартибга солинувчи ҳолатлари асослаб берилган (University of Cambridge, Буюк Британия); гидравлик зарбни имитацион моделлаштириш асосида насос станцияларда асинхрон двигателлар тезлигини скаляр ва вектор тартибга солиш ҳолатида частотали бошқариш қонунилари яратилган (Aalborg University, Дания); вақт функциясида бошқарув частотаси ўзгаришининг чизиқли қонуни ва кескинликини тартибга солишнинг пропорционал қонунида насос станцияларини бошқариш алгоритми ишлаб чиқилган (Zhejiang University of Science and Technology, Хитой); суғориш насос станцияларининг ўлчовларини асослаб бериш назарияси ва услублари ишлаб чиқилган (Москва энергетика университети, Россия); насос станцияларида электр уланишнинг қисқа муддатли ўзилишидан сўнг электродвигатель мустақил ишлаб кетган ҳолатидаги ўтиш жараёнларининг математик моделлари ишлаб чиқилган (Тошкент давлат техника университети, Ўзбекистон); частотали тартибга солинувчи электр юритмалар орқали суғориш тизимларининг насос станциялари бошқарувининг рационал тизими яратилган (МЧЖ «Илмий-техника маркази», Ўзбекистон).

Жаҳонда бир қатор устувор йўналишлар бўйича тадқиқотлар амалга оширилмоқда, жумладан: насос станцияларида ҳолатларни тартибга солиш алгоритмлари ва услубларини яратиш, станцияларнинг насос кучлантириш жиҳозлари фаолиятининг ишончлилигига ҳал этувчи таъсир ўтказадиган асосий ва ёрдамчи энергетик жиҳозлар эксплуатацияси муддатининг давомийлигини ҳисобга олган ҳолда йирик насос станцияларининг электромеханик ва гидромеханик ўтиш жараёнларининг ўзаро боғлиқлиги тадқиқ этилмоқда.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Насос станциялари ҳолатларини ростлаш алгоритмлари ва услубларини, электромеханик ва гидромеханик ўтиш жараёнлари пайтида кўзда тутилмаган ҳолат ва вазиятларни олдини олиш услублари ва жиҳозларини, насос станциялари бино ва ҳудудларидан сувларни чиқаришнинг альтернатив усулларини яратишнинг назарий ва амалий масалаларига қуйидаги олимларнинг бир қатор илмий ишлари бағишланган: Don J. Wood (University of Kentucky), Larsen Torben (Aalborg University), Geraint Jewell (University of Sheffield), Hans-Georg Herzog (Technische Universität München), K.T. Chau (University of Hong Kong), В.И.Виссарионов, М.Г.Тягунов (Москва энергетика университети), Б.С.Лезнов (ВНИИВОДГЕО), А.А.Хашимов (Тошкент давлат техника институти), Т.С.Камалов («Илмий-техника маркази» МЧЖ), В.А.Хохлов («Водоподъемник» илмий ишлаб-чиқариш қорхонаси).

Электромеханик ва гидромеханик ҳолатлар таъсирини баҳолаш усулларини ишлаб чиқиш ва жорий этиш, энергетик тизим ва комплекслар таркибида насос станциялари фаолиятининг ишончлилигини ҳисоблаш, энергия самарадорлиги ва ҳолатини тартибга солиш услубларини ишлаб чиқиш ва жорий этиш

билан боғлиқ илмий-тадқиқотларни куйидаги олимлар амалга оширган: Х.Ф.Фазилов, М.З.Хамудханов, Р.А.Захидов, Х.М.Муратов, М.М.Мухаммадиев, К.Р.Аллаев, Т.Ш.Гайибов, Ш.Х.Рахимов, О.Я.Гловацкий.

Суғориш тизимларининг насос станцияларини оқимли насослари ишлаш ҳолатларини оптималлаштириш ва тартибга солиш масалаларини тадқиқ этишга Е.А.Соколов, Н.М.Зингер, Л.Г.Подвидз, Б.Ф.Лямаевнинг ишлари бағишланган. Қайд этиш жоизки, амалга оширилган тадқиқотлар муаммоларнинг фақатгина бир қисмини қамраб олган, насос станцияларининг асосий ва ёрдамчи энергетик жиҳозларининг эксплуатация муддатини ҳисобга олган ҳолда турли табиатдаги ўтиш жараёнларининг ўзаро таъсир масалалари етарли даражада тадқиқ этилмаган. Насос станциялари бинолари, атрофидаги ҳудудлардан филтрацион, дренаж ва оқова сувларни бир пайтни ўзида чиқариб ташлаш муаммосига етарли даражада эътибор қаратилмаган. Энергия самарали ёндашув ва гидро-энергетик жиҳозларнинг янгилаанишини ҳисобга олган ҳолда насос, электродвигатель, босимли қувур ва электр тармоқларида кечаётган ўтиш жараёнларини тадқиқ этишнинг тежамкор, ишончли ва универсал алгоритмлари ва услубларини ишлаб чиқиш билан боғлиқ бўлган вазифалар тобора долзарб бўлмоқда.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг ОТ-Ф5-036 «Энергетикада электромеханик ва гидромеханик ўткинчи жараёнларининг ўзаро боғлиқликларини формаллаштириш» (2007-2011), Ф-2-33 «Насос станцияларининг энергетик самарадорлиги ва ишлаш жиҳозларининг математик моделлаштириш қонуниятларини аниқлаш» (2012-2016) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади насос ва гидроэлектрик станцияларнинг асосий ва ёрдамчи энергетик жиҳоз ва қувурларидаги беҳосдан ўтиш жараёнлари ҳамда беқарор ҳолатларига салбий таъсири ва оқибатларини пасайтирувчи алгоритм, усул, услуб ва қурилмаларини яратишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

насос станция энергетик жиҳозлари эксплуатация муддатини ҳисобга олган ҳолда насос станцияларининг электромеханик ва гидромеханик ўтиш жараёнларидаги ўзаро боғлиқлигини ўрнатиш;

ўтиш жараёнларидаги гидравлик зарбдан асосий энергетик жиҳозлар ва қувурларни ҳимоялаш учун насос станция иш ҳолатини ростлаш усулларини ишлаб чиқиш ва уни амалга оширувчи қурилмани яратиш;

сув тошишидан ҳимоялаш учун бинодан филтрацияли, дренаж ва оқова сувлар ҳамда насос станцияси ҳудудига туташган қисмдаги сувларни бир вақтда олиб ташлашнинг математик модели ишлаб чиқиш ва илмий асослаш;

ишлаб чиқилган дастурли комплексдан олинган натижалар билан табиий синовлар натижаларини таққослаш мақсадида ишлаб чиқилган ҳисоблаш усуллар мувофиқлигини текшириш учун насос станцияси жиҳозлари иш ҳолатини табиий синовдан ўтказиш;

амалда қўлланиладиган насос станциялари ва бинодан фильтрацияли, дренаж ва оқова сувлар олиб ташлаш учун техник ечимлар ишлаб чиқиш ва қурилмасини жорий қилиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида насос ва гидроэлектр станциялари олинган.

Тадқиқотнинг предмети насослар билан пропорционал бошқариш қурилмаси, бинодан фильтрацияли, дренаж ва ёмғир сувлари ҳамда насос станцияси ёки гидроэлектрик станция ҳудудига туташган қисмдаги сувларни бир вақтда олиб ташлаш тизими ва гидравлик зарблардан ҳимояловчи қайта ишга тушириш қурилмаси

насос станциялари жиҳоз ва қувурларини гидравлик зарбдан ҳимоялаш учун қайта ёқиш тузилмасини ва насос ёки гидроэлектр-станциялари биноси ва ҳудудидан бир пайтнинг ўзида фильтрация, дренаж ва жала сувларини олиб ташлаш учун тизим ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертацияда Жуковский ва Парк-Горевнинг классик тенгламалари асосида ҳисоблаш усуллари, ҳаракатларни тақсимлаш усули, гидромашиналар назарияси, ишончлилик назарияси, оқим баланси қисмидаги фильтрация қаршилиқ усуллари, тажрибани режалаштириш усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

насос станцияларининг энергетик жиҳозларидан фойдаланиш муддатини ҳисобга олган ҳолда электромеханик ва гидромеханик ўтиш жараёнларини босқичма-босқич ечиш алгоритми ишлаб чиқилган;

насос станцияларининг беқарор ҳолатларидаги энергия тизимлари-нинг ўтиш жараёнларини тадқиқ қилиш имкониятини берувчи «қувур-насос-электродвигатель-электр тармоқ» тизими элементларини ҳисоблашнинг умумлаштирилган математик модели ва дастурий мажмуалари ишлаб чиқилган;

насос станцияларининг энергетик жиҳозлари ва қувурларини гидравлик зарбдан ҳимоялаш учун қайта ишга тушириш қурилмасини қўллашнинг янги усулари ишлаб чиқилган;

насос станцияларининг энергетик жиҳозлари ишончлилигини ошириш учун насоснинг диски занжирини пропорционал бошқариш қурилмаси ишлаб чиқилган;

ростлаш тизимли оқимли насос ёрдамида турли хил баландликдаги дренаж ва оқова сувларни бир вақтда чиқариш услуги ишлаб чиқилган;

бинодан фильтрацияли, дренаж ва ёмғир сувлари ҳамда насос станцияси ҳудудига туташган қисмдаги сувларни оқимли насос ёрдамида бир вақтда олиб ташлашнинг ростлаш тизими яратилган;

Тадқиқотнинг амалий натижаси қуйидагилардан иборат:

йирик насос станцияларининг эксплуатация ва энергия сарфлаш ҳолатлари ишлаб чиқилган ва насос станциялари самарадорлиги ва ишончлилигини ошириш учун қўлланилган;

диск занжирли пропорционал бошқарувининг янги қурилмаси ишлаб чиқилган ҳамда насос станцияларининг жиҳоз ва қувурларини гидравлик

зарбдан ҳимоялаш учун қайта ишга туширишнинг янги услуби қўлланилиб насос станцияларида синовдан ўтказилган;

бинодан фильтрацияли, дренаж ва оқова сувлари ҳамда насос ёки гидротехник станцияси ҳудудига туташган қисмдаги сувларни оқимли насос ёрдамида бир вақтда олиб ташлашнинг ростлаш тизими ишлаб чиқилган ва насос станция ва гидротехник станцияларга жорий қилинган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги назарий маълумотлар ва ўтказилган экспериментал ҳисоблаш натижаларининг мосли билан асосланади, табиий тажрибалар билан бошқа тадқиқотларнинг натижаларини ҳисоблаш вариантларининг солиштириб таққослаганлиги билан тасдиқланган ҳамда тадқиқотлар натижалари насос станцияларидан амалиётда фойдаланишда жорий қилинган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Олинган натижаларнинг илмий аҳамияти насос станцияларидан фойдаланишда энергетик жиҳозларининг ишончлилигини таъминловчи, электр энергияни беҳосдан ўчиб қолиш ҳолатлари ҳамда сув ва энергетик ресурсларни рационал қўллаш имкониятини берувчи тадқиқотлар натижаларини қўллаш билан характерланади.

Олинган натижаларнинг амалий аҳамияти авария ва сув тошқини ҳолатларидаги асосий ва ёрдамчи энергетик жиҳозларни ҳимоя қилиш қурилмасини ишлаб чиқиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.

Насос станциялари иш ҳолатларининг алгоритм ва усулларини яратиш бўйича олинган натижалар асосида:

Насос станциялари ва насосларни беқарор иш ҳолатларини ростлашнинг энергиятежамкор восита ва усуллари, насос станциялари қувурларига гидравлик зарбни камайтиришнинг самарали тизимлари қишлоқ ва сув хўжалиги тизимидаги қатор, жумладан, Қарши магистрал канали фойдаланиш бошқармасининг 1-4 КМК, «Мирзачўл» насос станцияларини вилоятлараро фойдаланиш бошқармасининг ДНС-1, ДНС-2, ДНС-3 ва «Ховост-Ғаллакор» насос станцияларида жорий қилинган (Қишлоқ ва сув хўжалиги вазирлигининг 2016 йил 28 июндаги 04/31-700-сон маълумотномаси). Илмий натижаларни қўлланилишида насос станциялари шахсий эҳтиёжларига электр энергия сарфини ўртача 4%га камайиши имкониятини берди;

бинодан фильтрацияли, дренаж ва оқова сувлари ҳамда насос станцияси ҳудудига туташган қисмдаги сувларни оқимли насос ёрдамида бир вақтда чиқариб ташлаш учун ростлаш тизимлари қишлоқ ва сув хўжалиги тизимидаги қатор, жумладан, Наманган насос станцияси, энергетика ва алоқа бошқармасининг «Туркистон 1-1» ва «Туркистон 1-2», Қашқадарё насос станциялари, энергетика ва алоқа бошқармасининг «Пахтакор», «Гувалак», Жиззах насос станциялари энергетика ва алоқа бошқармасининг «Қораянтоқ» ва «ДМ-1», Қарши кичик насос станцияларини фойдаланиш бошқармасининг «М-2-2» насос станцияларида жорий қилинган (Қишлоқ ва сув хўжалиги вазирлигининг 2016 йил 28 июндаги 04/31-700-сон маълумотномаси). Илмий

натижаларни қўлланилишида 1 йил муддат ичида сарфларни қоплайдиган, шунингдек сарфларни қоплаш нормативидан 6,5 баробар самарадорликка эга, энергия самарадор оқимли насосларни ишлаб чиқиш имкониятини берган;

насос станцияларининг энергетик жиҳозларидан фойдаланиш муддат давомийлигини ҳисобга олган ҳолда, электромеханик ва гидромеханик ўтиш жараёнларининг босқичма-босқич ечиш алгоритми, босим ҳосил бўладиган насос станция қувурларидаги гидравлик зарбларни аниқлаш ва ҳисоблаш дастурлари, «кувур - насос - электр двигатель - электр тармоқ» тизим элементларининг ўзаро боғлиқлик умумлаштирилган математик модели ОТ-Ф5-036 «Энергетикада электромеханик ва гидромеханик ўтиш жараёнларнинг ўзаро боғлиқликларини формаллаштириш» грант лойиҳасида (2007-2011) ўтиш жараёнларидаги энергетик параметрларни аниқлаш учун фойдаланилган (Фан ва технологияларни ривожлантиришни мувофиқлаштириш қўмитасининг 2016 йил 20 октябрдаги ФТК-03-13/700-сон маълумотномаси). Тадқиқот илмий-тадқиқот натижаларининг қўлланилиши насос станцияларининг асосий ва ёрдамчи энергетик жиҳозлари ва қувурларидаги беҳосдан ўтиш жараёнига тушиш ва беқарор ҳолатлардаги салбий таъсирларни камайтириш имкониятини берган. Гидравлик зарб 40%га камайган, босим тушишининг давомийлиги 1,5 мартага камайган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси Тадқиқот натижалари 11 та илмий-техник анжуманларда, шу жумладан 6 та халқаро анжуманларда муҳокама қилинган: «Қишлоқ ва сув хўжалиги ишлаб чиқариши учун юқори малакали кадрлар тайёрлаш муаммолари» халқаро илмий-амалий конференцияси (Тошкент, 2009й.); «Глобаллашув шароитларида инновацион технологияларни шакллантириш ва жорий этиш муаммолари» Халқаро илмий конференциясида (Тошкент, 2010); «Энергетиканинг замонавий ҳолати ва ривожланиш истиқболлари» Халқаро илмий техник ва амалий анжуманда (Тошкент, 2011); «From Innovative Ideas to Innovative Economy» Халқаро инновацион форумда (Тошкент, 2015); «Минг йилликлар тўқнашувидаги илмий прогресс» Халқаро илмий-амалий конференция (Прага, 2016); «Замонавий фандаги долзарб муаммолар ва уларни ечиш йўллари» Халқаро илмий амалий конференция (Москва, 2016) ва 5 та республика миқёсидаги анжуманларда апробациядан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 30 та илмий иш чоп этилган, шулардан, 5 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 12 та мақола, жумладан, 9 таси республика ва 3 таси хорижий журналларда нашр этилган. 2 та фойдали моделга патент олинган, 2 та компьютер дастури рўйхатдан ўтказилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 196 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объекти ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялар 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 **«Насос станцияларини эксплуатациялаш ва энергия сарфлаш ҳолатлари муаммоларининг замонавий ҳолатини тизимли таҳлили»** деб номланган биринчи бобда Ўзбекистон Республикасидаги насос станцияларининг замонавий ҳолати асосий ва ёрдамчи энергетик жиҳозларининг эскиришини ҳисобга олган ҳолда ёритилган.

Насос станцияси энергетика ва вилоятлар алоқа ва минтақалараро бошқармалари кесимида насос станцияларини фактик жиҳатдан эксплуатация қилиш ва энергия сарфланишининг маълумотлари асосий ва ёрдамчи жиҳозларни ҳисобга олган ҳолда таҳлил қилинган. Бу таҳлил барча насос станциялари электромеханик ва гидромеханик ускуналарининг ярмидан ортиғи ўз кафолатланган ресурсини ишлаб бўлганлигини кўрсатди.

Адабиётлар таҳлилининг кўрсатишича, суғориш насос станциялари электр энергияни рационал сарфлашини таъминлаш, суғориш тизими ва қувурлари насос станциялар иш ҳолатини тартибга солиш ҳамда ишнинг энг хавфсиз ва оптимал ҳолатларини танлаш билан боғлиқ бўлган кўплаб тадқиқотлар амалга оширилган.

Синхрон ва асинхрон электр двигателларининг электромеханик ўтиш жараёнлари Парк-Горевнинг классик тенгламалари асосида таҳлил қилинган. Гидромеханик ўтиш жараёнлари эса Н.Е.Жуковскийнинг классик асарларида яратган қаттиқ гидравлик зарбларнинг дифференциал тенгламалари билан таҳлил қилинган.

Таҳлил шуни кўрасадики, насос, электр двигатель, қувур ва электр тармоқларида бўлаётган электромеханик ва гидромеханик ўтиш жараёнларининг ўзаро таъсирини, ва ўрганилаётган комплекснинг эскиришини ҳисобга олган ҳолда ўтказилган тадқиқотлар талаб даражасида амалга оширилмаган. Шу билан биргаликда бундай жараён, қувур узун бўлганида насос станцияларининг энергетик жиҳозлари хавфсизлиги ва ишончлилигига ҳал қилувчи таъсирини ўтказади.

Бундай салбий оқибатлар насос агрегатларини авария ҳолатларида ўчирилиши билан боғлиқ бўлган ўтиш жараёнларини вужудга келтиради, бунда қувурда энг катта гидравлик зарб вужудга келади, натижада ўчирилган агрегатларнинг энг катта тезлиги кузатилади.

Масалан, Ўзбекистонда энг йирик бўлган насос станцияларининг Қарши каскадида охириги 5 йилда энергия тизими томонидан

огоҳлантирилмаган ҳолда 20 га яқин режалаштирилмаган ўчиришлар бўлди, бу ўчирилишларнинг ҳар бири вужудга келган ўтиш жараёни, гидравик зарблар ва катта зиёнга олиб келди. 2013 йилнинг 23 январиди авариявий ҳолатда ишлаб турган барча 29 та насос агрегати ўчиб қолганида зарар 597 млн сўмни ташкил қилди, бунда ҳар бир агрегатнинг қуввати 12,5 МВтни ташкил қилар эди. Бу ердаги энг салбий оқибат вегетация вақтида сувни вақтида етказиб бермасликдир, бу эса қишлоқ хўжалиги корхоналарининг ҳосилдорлиги пасайганлиги сабабли катта билвосита зарарларга олиб келади. Тавсияларимиз киритилгандан сўнг, Қарши каскадида 2015 йилда электр энергия туфайли бўлган ўчиришлар 20 дан 4 тагача пасайди.

Шундай қилиб, барқарор бўлмаган ҳолат ва қутилмаган ўтиш жараёнларининг салбий таъсирини пасайтиришнинг илмий тасдиқланган замонавий алгоритмлари, услуб ва қурилмаларини яратиш зарур бўлиб қолмоқда, буларнинг барчаси насос ва гидроэлектр станцияларининг асосий ва ёрдамчи энергетик жиҳоз ва қувурларини қамраб олиши лозим.

Диссертациянинг **«Насос станцияларнинг электромеханик ва гидромеханик ўтиш жараёнларининг тенгламаларини босқичма-босқич ҳал қилиш алгоритми»** деб номланган иккинчи бобида электромеханик ва гидромеханик ўтиш жараёнларининг босқичма-босқич ҳал қилиш алгоритмларини ва компьютер дастурлари ишлаб чиқишга бағишланган.

Электр энергия тизимлари унсурларида бўлаётган жараёнлар ўзаро аҳамиятли даражада фарқ қилади, чунки бу тизимлар насос ёки гидроэлектр станциялар каби гидроэнергетик объектларни ўз ичига киритади ва бу уларнинг турли инерцион хусусиятларини белгилаб беради.

Агарда электр энергия тизимларининг электр магнит жараёни билан боғлиқ бўлган ўтиш ҳолатлари, яъни қисқа тўхташув каби жараёнлар бир лаҳза ичида бўлса, электр ва гидромеханик жараёнлар билан боғлиқ ҳолатлар ўнлаб секунд ёки бир неча минут бўлиши мумкин, бу ҳолат унсурларни уларни бир бирига мувофиқлаштириш учун мутаносиб параметрлар бўйича тенгламаларни танлашни талаб қилади, чунки “қувур–насос–электр двигатель–электр тармоқ” ягона тизим сифатида бу ичидаги барча унсурларни ўзаро ҳисобга олган ҳолда ўрганилиши лозим.

Тизим ҳолатларини ростлаш учун тизим унсурлари ҳолатини тасвирловчи математик моделларни соддалаштириш зарурати пайдо бўлади. Агарда биз ўрганаётган тизимнинг дифференциал тенгламалари тизимида вақтнинг доимийлиги турли қийматга эга бўлса, унда ҳаракатларни тезкор ва секинга бўлиш имконияти бўлади.

Электр механик жараёнлар босим арматурасини тартибга солишни ҳисобга олган ҳолда ўрганилганда баъзида юқори бьеф ва қувурдаги сув сатҳининг тебранишлари ҳам ҳисобга олинган, чунки бу тебранишлар насос станцияси синхрон двигателининг тебранишига ва ўнлаб, юзлаб секунд билан ҳисобланадиган узоқ муддатли ўтиш жараёнларининг пайдо бўлишига олиб келади.

Авария барқарорсиз ҳолатларни ҳисоблаш учун энергетик тизимларнинг умумий математик моделида секин электр механик жараёнлар

ҳисобга олинди, жумладан, объектлар электр симларининг узунлиги, насос станция қувурларининг узунлиги каби параметрлари ҳам ҳисобга олинди. Электр механик жараёнлар айланаётган машиналарнинг ротор тебранишлари ҳамда агрегатларнинг гидромеханик қисмларида бўлаётган жараёнларнинг ўзаро боғлиқлигида ўрганилган.

Дастлабки математик моделни соддалаштириш кичик кўпайтирувчилар бўлган дифференциал тенгламалар назариясини қўллаш ва бунга асосланган ўзгарувчиларнинг ўзгаришини нисбий тезлиги бўйича динамик тизим ҳаракатини ҳисоблашда қўлланилди.

Тизим ўтиш жараёнларининг тадқиқоти гарчи у тезкор электр магнит жараёнлари модели ёрдами асосида амалга оширилса ҳам, улар машина роторлари айланишининг бурчак тезликлари ўзгармас бўлган ҳолдаги вақт бўлаклари учун тўғри келади.

Электр тизимларининг секин ўтиш ҳаракатларининг математик моделлари электр ва гидромеханик ўтиш жараёнларини тадқиқ этишга мўлжаллангандир, бунда биз тартибга солувчи қурилмаларни ягона жараён сифатида ҳисобга оламиз. Унсурларнинг ўзаро таъсирини ҳисобга оладиган тенгламалар тизими тузилди, бу тенгламалар тадқиқ этилаётган тизимда пайдо бўладиган турли ҳолатларни таҳлил қилиш ҳамда уларга ҳолат ва унсурлар параметрлари ўзгаришининг таъсирини аниқлаш имкониятини беради. Бу тизимнинг асосини тадқиқ этилаётган электр ва гидромеханик тизим унсурларининг ўрганилган тенгламалари ташкил қилади.

Умумий тизимга қуйидаги тенгламалар киради:

- қувурдаги сиқилмайдиган суюқликнинг ҳаракат тенгламаси:

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{gS} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\lambda}{d} \frac{1}{S^2} \frac{Q|Q|}{2g} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{c^2}{gS} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

бунда S – қувурнинг қўндаланг кесими юзаси, d – қувурнинг диаметри ва λ – қувурнинг қаршилик коэффиценти.

Насос ва электр юритмани ўз ичига олган агрегатнинг ҳаракат тенгламаси:

- синхрон: $T_{JC} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = M_{ДВ} - M_{МЕХ}, \quad (3)$

- асинхрон: $T_{JA} \frac{ds}{dt} = M_{ДВ} - M_{МЕХ}, \quad (4)$

Насос двигатели электр моментларининг тенгламалари:

- синхрон: $M_{ДВ} = \frac{E_q U_c}{X_{d\Sigma}} \sin \delta + \frac{U^2 (X_d - X_q)}{2 X_{d\Sigma} X_{q\Sigma}} \sin 2\delta, \quad (5)$

- асинхрон: $M_{ДВ} = M_{ДВ}^M \frac{2(1 + s_{kp})}{\frac{s}{s_{kp}} + \frac{s_{kp}}{s} + 2s_{kp}}, \quad (6)$

$$M_{\text{мех}} = M_{\Gamma} - M_{\text{тр}}, M_{\Gamma} = \frac{\rho \eta Q H}{\omega}, M_{\text{тр}} = (0,03 - 0,07) M_{\Gamma} \text{sign}(n). \quad (7)$$

Синхрон двигателини ғалаёнлантирувчи ростлагичларининг тенгламалари:

$$T_e \frac{dE_{qe}}{dt} = E_{q0} - E_{qe} + v, T_p \frac{dv}{dt} = e - v, \quad (8)$$

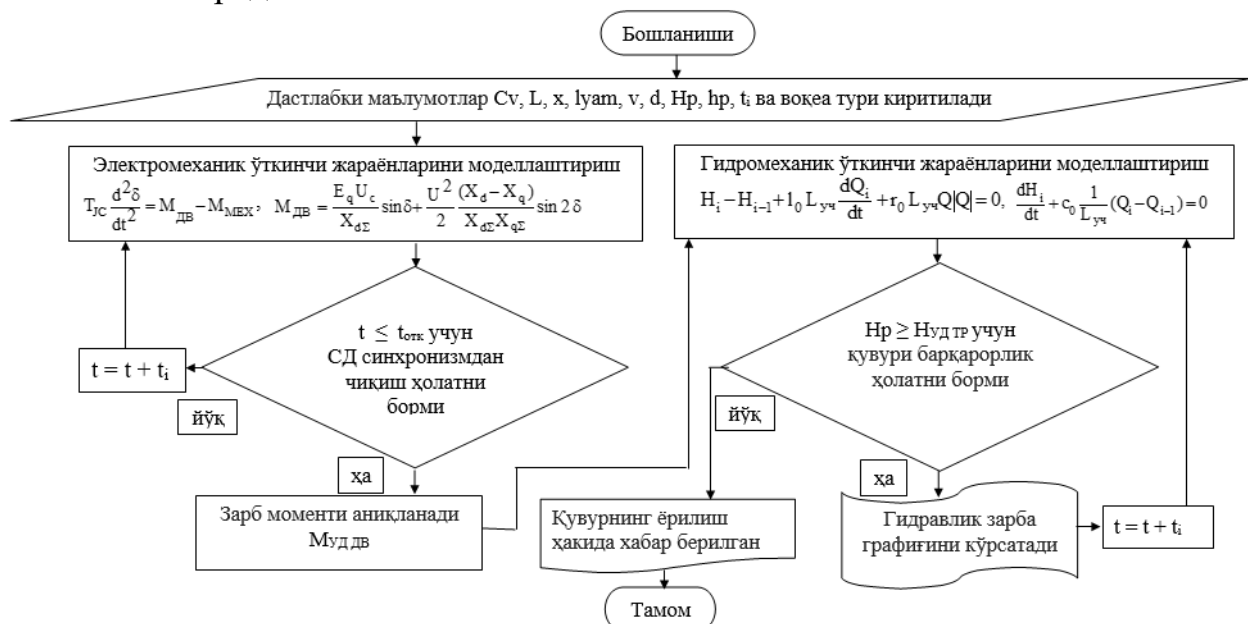
$$e = \sum_1^m (K_{0\Pi} \Pi_i + K_{1\Pi} \frac{d\Pi_i}{dt} + K_{2\Pi} \frac{d^2\Pi_i}{dt^2}). \quad (9)$$

Бу тенгламаларни ечиш учун мувофиқ математик ифодалар қўлланилди, улар ҳолат параметрларини ўзаро боғлайдилар. Тенгламалар насос агрегатларининг ўтиш ҳолатларини турли авариявий ва эксплуатацион ҳолатларда, яъни шиналарда босим ўзгариши, синхрон двигателнинг авариявий тўхтатилиши, насос ёки қувур билан боғлиқ бўлган авариялар ҳолатида ўтиш ҳолатини тадқиқ этиш имкониятини беради.

Алгоритмнинг блок схемаси 1-расмда келтирилган.

Ишлаб чиқилган алгоритмлар гидравлик зарбни аниқлаш ва ҳисоб қилиш дастурий комплексини яратиш учун асос қилиб олинган. Бу комплексга электрон ҳисоблаш машиналари учун дастурни расмий рўйхатдан ўтказилганлиги ҳақидаги №DGU 03124 ва № DGU 03644 гувоҳномалари олинди.

C# дастурлаш тилидаги дастурий комплекс юқори даражада асосий ва ёрдамчи жиҳозлар конструкция ва сув ўтказиш қувурлари ва иншоотлари параметрларини танлашга юқори даражада имкон беради. Дастурнинг қўлланилиши гидравлик зарб бўлганида қувурдаги суюқликнинг босими ва тезлиги, сарфланиши ва оқиб кетишини аниқлаш имкониятини беради ва уни мумкин бўлган рақамлар билан таққослайди, зарур бўлган вақтда гидравлик зарб кучини пасайтириш бўйича зарурий техник чораларни қабул қилишни таъминлаб беради.



1-расм. Насос станцияларини ўтиш жараёнларининг босқичма-босқич ҳал қилиш алгоритмларини блок схемаси

Дастурий комплекс қайта уланувчи қурилмани математик моделлаштиришда синовдан ўтказилди, бу қурилма қувурларни узоқ муддат хизмат қилиши ва электр энергия сарфини тежаш мақсадида гидравлик зарбнинг олдини олиш имкониятини беради. Дастурни илмий тадқиқот ишларини амалга оширишда ва ўқув жараёнида ишлатиш мумкин.

Диссертациянинг «Гидроэнергетик қурилмаларда ўтиш жараёнларини ҳисоб-экспериментал тадқиқотлари» деб номланган учинчи бобида гидроэнергетик қурилмаларда ўтиш жараёнларини тадқиқ этиш, яъни қувур ва гидромашинада гидромеханик жараёнларни ўрганиш ҳамда гидрогенератор ва энергия тизимида электрмеханик жараёнлар ўзгариши натижалари келтирилган.

Ўтиш жараёнлари жиҳоз унсурларига динамик юкламаларни катта даражада кўпайиши билан тавсифланади. Жиҳозларнинг вибрацияси гидроагрегатнинг оқим қувуридаги деворларига гидродинамик босим пульсациясининг интенсивлиги ошганидан ошади, бу эса талофатга олиб келиши мумкин.

Қувур тармоғидаги динамик жараёнлар гидравликадан маълум бўлган қувурда босимнинг тарқалиш (1) ва (2) тенгламалари билан тасвирланади, параметрлари бир хиллаштирилган эквивалент 4 қутбли тизимни тақсимланган параметрларини тармоқнинг алмаштириш йўли билан қувур тармоғи доимий узунлик диаметр ва қувур материали хусусиятлари қисмлари билан тақдим этилиши мумкин. Унда қувурнинг i қисми учун босим ва сарфнинг тенгламалари қуйидаги кўринишга эга:

Қувур қисми қаршилик кўрсатишининг ҳисоби:

$$H_i - H_{i-1} + l_0 L_{yч} \frac{dQ_i}{dt} + r_0 L_{yч} Q|Q| = 0, \quad (10)$$

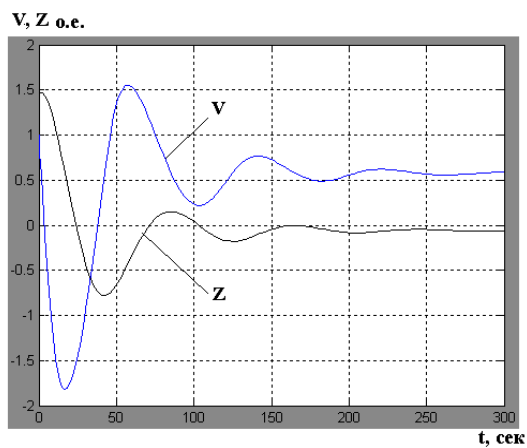
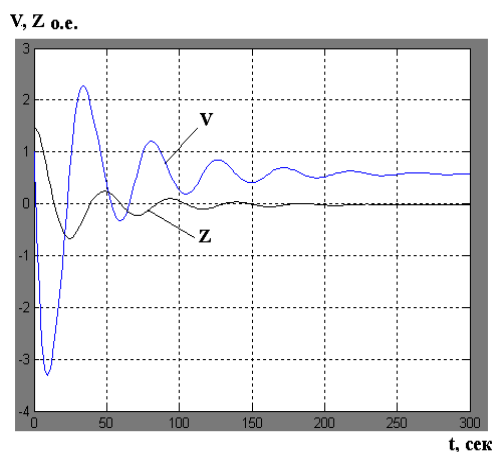
$$\frac{dH_i}{dt} + c_0 \frac{1}{L_{yч}} (Q_i - Q_{i-1}) = 0, \quad (11)$$

бунда $r_0 = \frac{\lambda}{S^2 d} \frac{1}{2g}$, $c_0 = \frac{c^2}{Sg}$, $l_0 = \frac{1}{Sg}$ – i -қисми қувурнинг қаршилик; H_i , Q_i , H_{i-1} ,

Q_{i-1} – i -қисми қувурнинг кириш ва чиқишидаги босим ва сарфи; $L_{yч}$ – қувур участкасининг узунлиги.

Бу тенгламалар “насос–қувур–двигатель–электр тармоғи” бутун тизимининг ўтиш жараёнларининг таҳлилида қўлланилади.

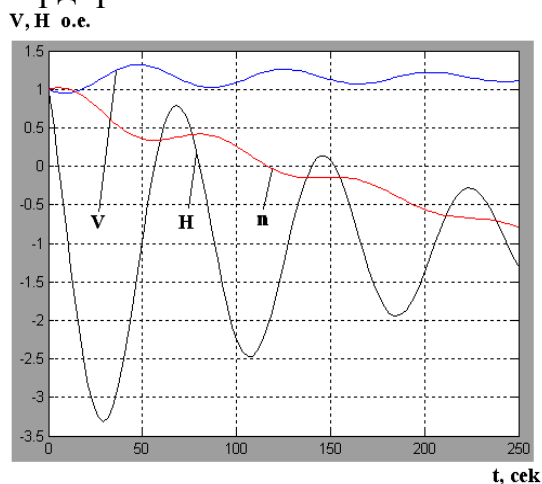
2-расмда “қувур–юқори бьеф” тизимида ўтиш жараёнини моделлаштиришнинг натижалари келтирилган. Улардан қувур узунлигини қисқариши тебранишлар частотаси ҳамда сув ҳажмининг тебраниш амплитудаси катталашишига олиб келиши кўриниб турибди. Ўтиш жараёни 300 секундга яқин бўлиб, бунда қувур узунлиги қисқариши сари босим ва тезликнинг ошиш даражаси кўпаяди.



А Б
 А) $L=1500$ м, Б) $L=500$ м, $H_1=55$ м, $\lambda=0.02$, $F=13$ м²
2-расм. “Қувур-юкори бьеф” тизимининг
гидромеханик ўтиш жараёнлари

Насос агрегати электр двигателининг кутилмаганда тўхтатиши машинанинг ротор статор контурларида ёки энергия тизимида қисқа тўхташ натижасида пайдо бўлади, булар насос станцияси шиналарида ҳам бўлиши мумкин ва бу авариявий ҳолат деб белгиланади.

3-расмда энергия тизими томонидан электр токининг етказиб берилиши кутилмаганда тўхтаганида вужудга келган ўтиш жараёнининг тавсифи берилади, бу ерда қувурдаги сув оқимининг тезлиги тебраниши Аму Бухоро машина каналининг “Хамза-2” насос станцияси агрегати роторининг босими ва айланиш тезлиги ҳисобланган, бунда қувурнинг узунлиги 1500 метр, диаметри 4,2 метр, ишчи босими 55 метр ва оқимнинг бошланғич тезлиги секундига 2 метрдир.



**3-расм. Насос станцияси синхрон двигатели кутилмаганда ўчганда
“қувур—юқори бьеф” тизимидаги ўтиш жараёнлари**

Бунда жараёнларнинг асосий хусусияти, уларнинг агрегат айланишининг ўзгараётган частотасида вужудга келишидандир, бу эса электр магнит ва гидромеханик параметрлар тебранишига олиб келади.

Синхрон двигателининг электр магнит моментлари қуйидаги формула бўйича аниқланган:

$$M_C = x_{ad} [i_{qC} (i_f + i_{1d}) - i_{dC} i_{1q}] (1 + s_k); \quad (12)$$

Соддалаштириш мақсадида электр магнит ва гидромеханик моментлари мувофиқ қувватлар билан алмаштирилган, яъни $M_{ДВ} = P_{ДВ}$ ва $M_{НАС} = P_{НАС}$.

Электр ва гидромеханик тизим тенгламаларининг умумлаштирилган тизими қуйидаги тарзда берилган:

сарф тенграмаси:

$$\frac{dQ}{dt} = (H_{i-1} - H_i - r_0 L_{yч} Q |Q|) / L_{yч}, \quad (13)$$

босим тенграмаси:

$$\frac{dH}{dt} = -c_0 \frac{1}{L_{yч}} (Q_i - Q_{i-1}), \quad (14)$$

синхрон двигатель тенграмаси:

$$\frac{d\delta}{dt} = s, \quad (15)$$

$$\frac{ds}{dt} = \left(\frac{314}{T_{JC}}\right) (P_{ДВС} - P_{НАС}), \quad (16)$$

синхрон двигателни ғалаёнлаштириш ростлагичининг тушириш регуляторининг тенграмалари мувофиқ тарзда:

ўтиш ЭЮКи:

$$\frac{dE'_q}{dt} = \left(\frac{1}{T_{d0}}\right) (E_{qe} - E_q), \quad (17)$$

ротор айланмаларидаги босим:

$$\frac{dE_{qe}}{dt} = \left(\frac{1}{T_e}\right) (E_{eq0} - E_{qe} + v), \quad (18)$$

ғалаёнлаштиргичнинг киришидаги кучланиш:

$$\frac{dv}{dt} = \left(\frac{1}{T_p}\right) (e - v). \quad (19)$$

(12)-(19) тенгламаларининг бир пайтнинг ўзида ечилиши “қувур – насос – электр двигатель – электр тармоғи” тизимларида ўтиш жараёнининг комплекс таҳлилини амалга ошириш имкониятини беради.

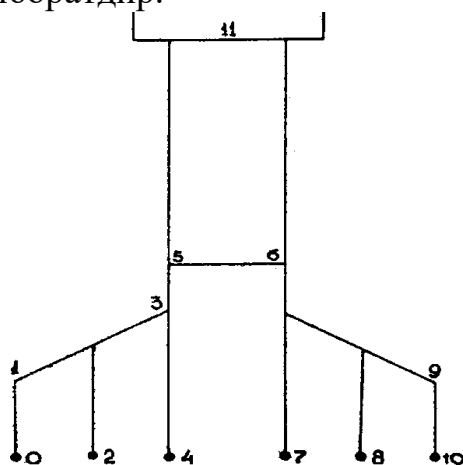
Бунда энг оғир ҳолатларидан бири станция шинасида айниқса, тизим шинасида кучланиш пасайиши эканлиги аниқланди. 4-расмда тизим шиналарида кучланиш 2% га пасайганида ўтиш жараёнининг тавсифлари келтирилган. Таҳлил тизим шиналарида кучланишни пасайиши 8%дан ортиқ бўлганида синхрон двигатель синхронликдан чиқиб кетишига олиб келади.

Келтирилган жадвалдан кўриниб турибдики, гидромеханик ўтиш жараёнларининг кечиш характери ўзгаради, яъни босим ошгани сари сарфи пасаяди, бу машинанинг айланиш моменти, яъни ҳаракатга келтирувчи куч пасайиши билан асосланади, босимнинг кўпайиши эса оқимнинг инерцион ҳаракати билан боғлиқ.

ечимлари: қайта ишга тушириш қурилмаси ва насоснинг дискли затворининг пропорционал бошқаруви қурилмаси таклиф қилинган.

Босимли қувурларнинг икки ёки ундан зиёд тармоғини бирлаштирувчи қайта ишга тушириш қурилмани қўллаш таклиф этилди. Уни гидравлик зарб бўлганида босимни ошишини пасайтириш учун қўллаш таклиф қилинди. Қайта ёқиш қурилмаси билан жиҳозланган насос станцияларида гидравлик зарб кечишининг таҳлили шуни кўрсатдики, тармоқнинг бирида босим ошганида қайта ёқишда ёнидаги тармоқ тизимига сув ташланади, аксарият ҳолда босим пасайганида ёнидаги қувурлардан сув бошқа қувурларга юборилади.

6-расмда ҳал қилинаган вазифа учун схема такдим этилган. Насос станциясининг ҳар бир босим тизими бир нечта насос агрегат, қувур ва сув ташлаш ускуналаридан иборатдир.



0,2,4,7,8,10 –насослар, 3,1, 9 – қувур диаметри ўзгариш жойлари,
5,6 – қайта ёқиш қурилмасини ўрнатиш жойи, 11 – сув ташлаш жойи

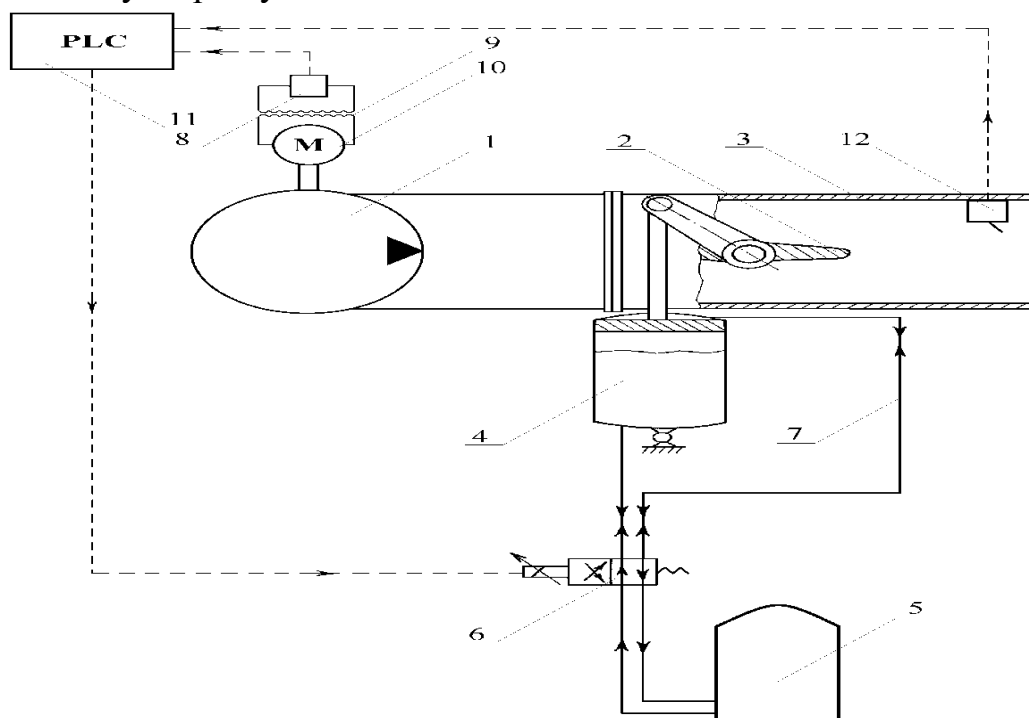
6 – расм. Насос станцияси босимли тизимининг ҳисоб схемаси

Ўтиш жараёни боғлиқлигининг таҳлили қайта ёқиш тизими ишлаганида босим тебранишларининг катталиги 20 метрга пасайгани кузатилди, бунда гидравлик зарб 40% га камайди. Босим пасайишининг давомийлиги 1,5 баробарга пасайди.

Насос станциясида ўрганилаётган ўтиш жараёнларининг табиий синовлари ўтказилди, уларнинг таҳлили қайта ёқиш қурилмаси босим қувур ва насос агрегатларини гидравлик зарбдан ҳимоялашнинг самарали восита эканлигини кўрсатди.

Диссертацияда насос станцияларини гидравлик зарбдан ҳимоялаш учун дискли затвори бошқарувининг пропорционал қурилмаси ишланмаси асосланган. Диск затворининг ёпилиши даврининг қисқариши ишда қолган насосни кавитация ҳудудидан тезроқ олиб чиқишига кўмаклашади. Бундан ташқари бу жараёнда ўчирилган насоснинг вибрацион тавсифлари уни қайта айланиш катталиги ва давомийлиги қисқаргани ҳисобига яхшиланади. Босим қувурида эса босим пульсацияси қисқаргани ҳисобига ҳам тавсифлари яхшиланади. Бу қисқариш насос фаолияти кавитация ҳолати ва реверсив ҳолатида бўлганлиги сабабли вужудга келади.

Насос диски затворини гидравлик зарбдан ҳимоялаш мақсадида пропорционал ёпилишини айланишини амалга ошириш учун фойдали модель даражасида № FAP 01119 Патент асосида бошқарув қурилмаси ишлаб чиқилган (7-расм). Бу бошқарув қурилмасида рақамли гидравликнинг замонавий ютуқлари қўлланилган.



1-насос, 2-диски затвори, 3-босимли қувур, 4-ёқиш қурилмаси, 5-мой босим қурилмаси, 6-пропорционал золотникли тақсимловчи, 7-мой етказиш қувури, 8-электр юритмани авариявий ўчириш датчиги, 9-электр юритмани статор чулғами, 10-электр юритма, 11-дастурланадиган логик контроллер, 12-тезликнинг рақамли датчиги.

7-расм. Насосни пропорционал бошқариш қурилмасининг схемаси

Сервопривод, мой босим қурилмаси, золотникли тақсимловчи, дроселли ёғ қувури ва насосни авариявий ўчириш датчигига эга бўлган диски затворли қурилма босимли қувурда суюқлик оқимининг тезлиги датчиги ва дастурланадиган логик контроллер билан жиҳозланади. Золотник тақсимловчиси эса пропорционал тарзда тартибга солинади.

Диски затворининг ёпилиш тезлигининг ўзгариши аста секинлик билан қувурдаги суюқлик оқими тезлигига пропорционал равишда амалга оширлади. Дастурланаётган логик контроллернинг техник тавсифи шундай тарзда дастурланадики, босимли қувурда суюқлик беришнинг тўғри тезлиги аксарият тезликка алмаштирилади, яъни рақамли датчик томонидан қайд этиладиган суюқликнинг нолга тенг тезлиги пайтида диски затвори тўлиқ ёпилади.

Насоснинг пропорционал бошқарув қурилмасининг қўлланилиши гидравлик зарб вужудга келиш имкониятини ҳамда элеткр энергиянинг авариявий ҳолда тўхтатилишида насоснинг ортга қайтувчи тезлиги имкониятини истисно этади, сарфланган электр энергия тежалишини таъминлаб беради, насос станциясининг ишончилиги ва тежамлилигини оширади.

Диссертациянинг «Гидроэлектр станциялари бинолари ва ҳудудларидан фильтрация, дренаж ва оқова сувларни чиқаришнинг ёрдамчи тизимлари ҳолатлари» деб номланган бешинчи бобида гидроэлектр станциялари бинолари ва ҳудудларидан фильтрация, дренаж ва оқова сувларни чиқаришнинг ёрдамчи тизимлари ҳолатини тартибга солиш ўрганилган.

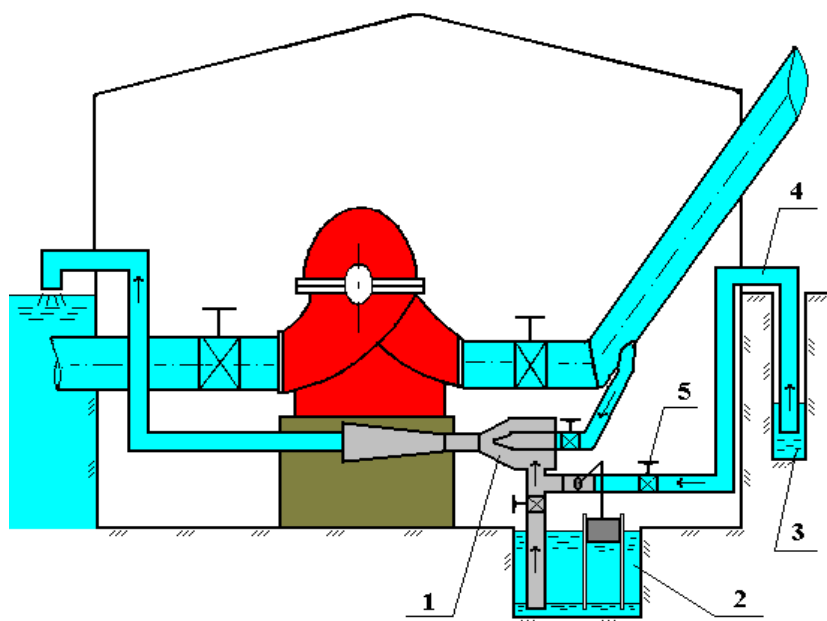
Энг масъул, муҳим ёрдамчи жиҳоз бу дренаж қуритувчи жиҳозлардир. Авариявий сув тошқини ва электр энергия тўхтатилганда дренаж насослари аслида биринчи бўлиб ишдан чиқади. Диссертацияда электр энергияни кутилмаганда ўчириш туфайли станция биноларида жиддий сув тошқини тасвирланган, чунки бу пайтда барча ёрдамчи жиҳозлар ўчирилган.

Иншоот ҳамда насос станциялари босимли қувурларнинг эскириши билан боғлиқ бўлган ҳудуддан оқова сувларни оқими доимий кўпайиши туфайли филтрланган сув станцияси биноси деворлари орқали бинонинг ўзига тушади, улар кабель каналлари бўйича оқиб тушади, бу кабеллар электр ток каналлари бўйича оқиб тушади, бу эса авариявий вазият ва сув тошқинларининг вужудга келишига олиб келади.

«Водоподъемник» илмий ишлаб-чиқариш қорхонасида диссертация муаллифининг иштирок билан насос ёки гидроэлектр станцияси ва биноси ҳудудидан фильтрация, дренаж ва оқова сувларни бир пайтнинг ўзида чиқариб ташлаш учун янги қурилма ишлаб чиқилган. Бу қурилма FAP 00592 рақамли фойдали моделга берилган Патент билан ҳимояланган, у атрофдаги ҳудудда жойлашган дренаж қудуқ станция биносида дренаж қудуғидан иборат бўлиб, бу қудуқда тортиб олувчи қувурли насос ўрнатилган бўлиб, унда дискли затвори мавжуд, бу затвор ричаг ёрдамида юк қалқитма билан бирлашган, бу юк дренаж қудуғида жойлашади.

Таклиф қилинган тизим схематик тарзда 8-расмда кўрсатилган. Сув оқими ўртача бўлганида дренаж қудуғидаги юк қалқитма шундай жойлашганки, у билан боғлиқ бўлган затворнинг диски ярим ёпилган ҳолатда бўлади, бунда насос дренаж қудуғига келган бутун сувни чиқариб ташлайди ва дренаж қувуридаги, скважинадаги сувни ҳам чиқариб ташлайди ва натижада буларда сув сатҳи маълум даражага пасаяди. Юк қалқитма таъсир қилувчи диск затвори дренаж қудуғидаги сув сатҳига боғлиқ равишда сув оқимини қайта тақсимлайди, бу сув дренаж қудуғидан шу тарзда тортиладики, кейинчалик дренаж қудуққа тушган барча сувни чиқариб ташлаш мақсадида ишлатилади.

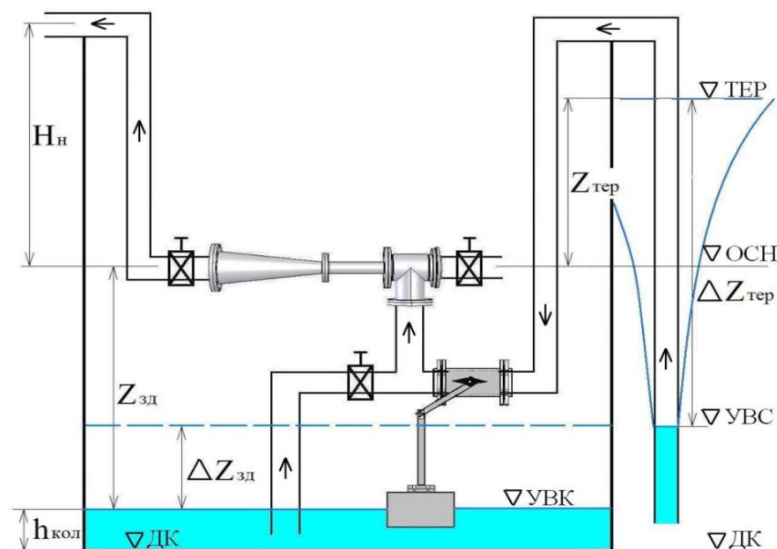
Насос ёки гидроэлектр станцияси биноси ҳамда атрофдаги ҳудуддан филтрланган дренаж ва оқова сувларни бир пайтнинг ўзида олиб ташлаш учун яратилган тизимнинг қўлланилиши сувни чиқариб ташлаш жараёнининг гидравлик автоматлашини таъминлайди, уни ишончлилиги ва тежамкорлигини оширади.



1-насосли тизим, 2-станция бносидаги дренаж кудуғи, 3-станция худудидаги кудуғи скважинаси, 4-қўшимча қувур, 5-қўшимча затвор
8-расм. Насос ёки гидроэлектр станция бноси ва атрофидаги худуддан фильтрация, дренаж ва оқова сувларни бир пайтнинг ўзида чиқариб ташлаш учун яратилган тизим

Чиқариб ташлаш тизимида учта оқимнинг аралашуви кузатилади, яъни босим қувурдан ишчи оқим ва иккита тортилувчи оқим, биттаси дренаж кудуғидан, иккинчиси станция худудидаги скважинадан намоён бўлади. Бундай тизимда бўлаётган оқимларнинг аралашув қонунлари математик тарзда тасвирланган, бундан ташқари қалқитмалик қурилма ёрдамида сувни чиқариб ташлаш тизимини тартибга солишдаги жараёнлар ҳам аниқланган.

Насос станцияси бноси ва атрофидаги худуддан фильтрация, дренаж ва оқова сувларини чиқаришнинг тартибга солинган тизим ишининг ҳисоб схемаси 9 расмда кўрсатилган.



9-расм. Насос станцияси бноси ва атрофидаги худуддан фильтрация, дренаж ва оқова сувларни чиқаришнинг тартибга солинган тизим ишининг ҳисоб схемаси

Станция биносида дренаж, кувурдан тортиб олишнинг юқорилиги қуйидагича бўлади:

$$H_{B\text{здан}} = \nabla UBK - \nabla OCH - \Delta h_{\text{здан}} = \nabla ДК + h_{\text{кол}} - \nabla OCH - \Delta h_{\text{здан}} \quad (20)$$

бунда ∇UBK – дренаж ҳудудидаги сув сатҳининг белгиси ∇OCH насосни ўрнатиш ўқи, $\nabla ДК$ кудук тубининг белгиси, $h_{\text{кол}}$ – кудукдаги сувнинг чуқурлиги, бу кўрсаткич ўзгарувчан кўрсаткич бўлиб, $Q_{B\text{здан}}$ дренаж кудукқа сувни келишига боғлиқ ва кувурда бинодан сувни чиқариб ташловчи, $\Delta h_{\text{здан}}$ – олувчи тизимдаги кувурнинг босимнинг йўқотилиши.

$$H_{B\text{тер}} = \nabla UBC - \nabla OCH - \Delta h_{\text{тер}} - \Delta h_{\text{диск}} = \nabla ДК + H_0 - S_c - \nabla OCH - \Delta h_{\text{тер}} - \Delta h_{\text{диск}} \quad (21)$$

Босимнинг йўқотилиши гидравлика формулалари асосида белгиланади.

$$\Delta h_{\text{здан}} = \lambda \frac{8l_{\text{здан}}(Q_{B\text{здан}})^2}{\pi^2 g d_{\text{здан}}^5}, \Delta h_{\text{тер}} = \lambda \frac{8l_{\text{тер}}(Q_{B\text{тер}})^2}{\pi^2 g d_{\text{тер}}^5}, \Delta h_{\text{диск}} = \xi_{\text{диск}} \frac{8(Q_{B\text{тер}})^2}{\pi^2 g d_{\text{тер}}^4} \quad (22)$$

Дискни маҳаллий қаршилик коэффицентининг катталигига $\xi_{\text{диск}}$ боғлиқ, у α дискини ёпилиш бурчагига боғлиқ.

Агарда α 0 дан 50 градусгача бўлса, коэффицентлар олтинчи даражадаги полином билан аппроксимация қилинади

$$\xi_{\text{диск}} = 9,4 \cdot 10^{-11} \alpha^6 + 3,56 \cdot 10^{-7} \alpha^5 - 2,47 \cdot 10^{-5} \alpha^4 + 6,81 \cdot 10^{-4} \alpha^3 - 5,0 \cdot 10^{-3} \alpha^2 + 4,24 \cdot 10^{-2} \alpha + 0,097,$$

агарда бурчак 50 дан 90 градусгача бўлса, тўртинчи даражадаги полином билан

$$\xi_{\text{диск}} = 0,0155 \alpha^4 - 3,502 \alpha^3 + 296,965 \alpha^2 - 11181,76 \alpha + 157675,6 \quad (23)$$

Бунда аппроксимация ишончлилигининг катталиги $R^2 = 0,99$ ни ташкил қилди.

Ўз навбатида, тартибга солувчи қалқитма қурилма диск затворининг ёпилиш бурчаги кудукдаги сув чуқурлиги ва ричагнинг геометрик параметрларига боғлиқ.

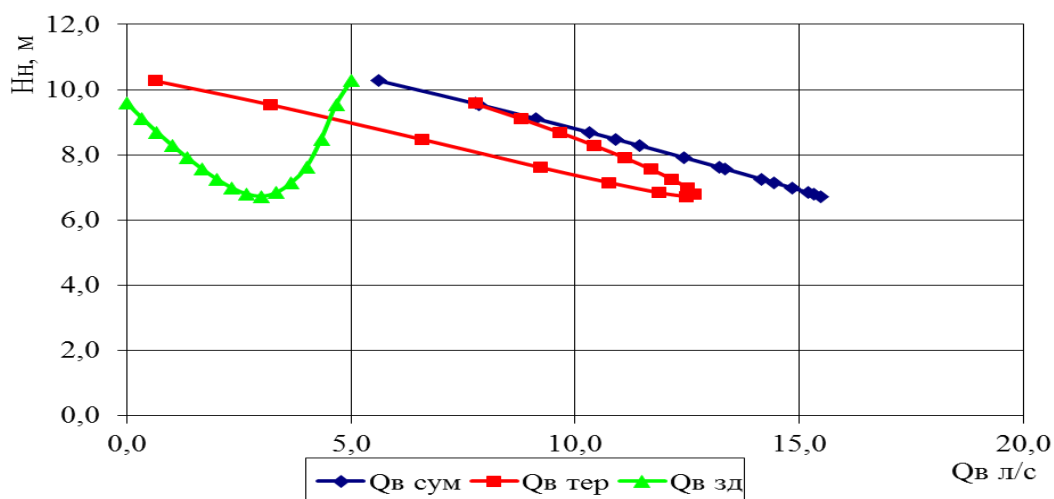
Оқимларни тортиб олишда насосни гидравлик тартбига солинишининг математик модели қуйидагича кўринишга эга.

$$z_{\text{тер}} + \frac{8Q_{B\text{тер}}^2}{g\pi^2 d_{\text{тер}}^4} \left(1 - \frac{\lambda_{\text{тер}} l_{\text{тер}}}{d_{\text{тер}}} - \xi_{\text{диск}} \right) = z_{\text{здан}} + \frac{8Q_{B\text{здан}}^2}{g\pi^2 d_{\text{здан}}^4} \left(1 - \frac{\lambda_{\text{здан}} l_{\text{здан}}}{d_{\text{здан}}} \right) \quad (24)$$

Бу ҳисобда насос станцияси ҳудуди $Q_{B\text{тер}}$ ва бино $Q_{B\text{здан}}$ дан насосни тортиб олиш сарфларининг катталиги аниқланади.

$$Q_{B\text{тер}} = \sqrt{\frac{z_{\text{здан}} - z_{\text{тер}} + \frac{8Q_{B\text{здан}}^2}{g\pi^2 d_{\text{здан}}^4} \left(1 - \frac{\lambda_{\text{здан}} l_{\text{здан}}}{d_{\text{здан}}} \right)}{\frac{8}{g\pi^2 d_{\text{тер}}^4} \left(1 - \frac{\lambda_{\text{тер}} l_{\text{тер}}}{d_{\text{тер}}} - \xi_{\text{диск}} \right)}} \quad (25)$$

Қашқадарё вилояти “М-2-2” насос станцияси мисолида ўтказилган ишлаб чиқилган математик модел бўйича тизимни параметрларининг ҳисоб натижалари 10-расмда график тарзда тақдим этилган.



10-расм. Насос станцияси биноси ва ҳудудидан оқимларни тортиб олиш сарфига насос босимининг боғлиқлиги

10-расмдан кўриниб тургандек, насос ишчи тавсифи номига эга бўлган тортиб олинаётган сарфнинг босимига боғлиқлиги ичи бўш дўмбира томони ташқарига қаратилган шаклдадир. Бундай кўриниш насосларнинг ишчи тавсифига хос бўлиб, дастлабки тадқиқотлардан олинган. Бироқ, насос станцияси биносидан оқимни тортиб олишнинг сарфига насосни боғлиқлигини алоҳида ўрганиб чиқсак, яъни бунда босими алоҳида бўлса тавсифлар бошқача белгига эгалигини тавсифлаш жоиз. Тавсифлар дўмбоқ томони пастга қаратилгани ва минимум нуқталарига эга бўлганлигидан иборат. Насос ишининг ҳолатлари бу минимумларга мувофиқ бўлганда энг кичик босимларга эга ва шу жихатдан энергия самарадорли ҳисобланади.

Янги қурилмалар Қашқадарё вилоятининг “М-2-2”, “Пахтакор”, “Гувалак”, Қарши магистрал каналининг 2, 3, 4 рақамли насос станциялари, Жиззах вилоятининг “Қораянтоқ” ва “ДМ-1”, Наманган вилоятининг “Олтин водий”, “Туркистон 1-1”, “Туркистон 1-2” насос станциялари ва Чорвоқ гидроэлектр станцияларида жорий этилди.

“М-2-2” насос станциясида амалга оширилган янги қурилмаларнинг табиий синовларининг натижалари келтирилган. Насос синовларининг ишлаб чиқилган услубияти ҳамда ўлчашнинг келтирилган восита ва услублари босимни 3% дан зиёд бўлмаган хато билан ўлчовининг амалга ошириш имкониятини берди, насоснинг ва ишчи суюқликнинг сарфининг хатоси 3,5% дан ошмади.

Мазкур ҳисоблар ҳамда амалга оширилган табиий синовларнинг статистик ишлови шуни кўрсатдики, инқирозли нуқталарда назарий ва экспериментал ҳисобларнинг максимал келишмовчилиги 6% дан зиёд бўлмади. Ҳисоб ва амалга оширилган табиий синовлар натижаларининг қиёсланиши амалга оширилган тадқиқотларнинг ишончлилигини кўрсатади.

ХУЛОСА

«Насос станцияларининг ҳолатларини ростлаш алгоритмлари ва усуллари» мавзусидаги докторлик диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари қуйидагилардан иборат:

1. Насос станцияларидаги аварияларнинг асосий сабабларидан бири гидравлик зарб билан мураккаблашган электромеханик ёки гидромеханик ўтиш жараёнларидир. Босимнинг кескин тебранишлари тармоқнинг бузилишига, қувур арматурасининг бузилишига, насоснинг тўхташига ва хаттоки насос станцияларининг ишдан чиқишига олиб келиши мумкин. Бу борада асосий энергетик жиҳоз ва қувурларни гидравлик зарбдан ҳимоялашнинг услуб ва қурилмаларини ишлаб чиқиш масаласи муҳим бўлиб қолади.

2. Илк бор “қувур – насос – электр двигатель – электр тармоқ” тизими модели таклиф қилинди. Келтирилган тенгламалар тизими турли авариявий ва эксплуатацион ҳолатларда энергия тизимнинг ўтиш ҳолатини тадқиқ этиш имкониятини беради, яъни шиналарда босимни ўзгариши синхрон двигателнинг авариявий ҳолатда ўчиши, насос ёки қувур билан боғлиқ аварияларни таҳлил қилишда қўлланилади. Синхрон двигатель қувватининг кутилмаган ҳолда 15% га пасайиши агрегатнинг турғунлигини сақланиб қолади, бунда электр механик жараёнлар тез пасаяди, гидромеханик жараёнлар эса 140 секундга яқин давом этади. 30% га пасайиши агрегат узоқ муддатли тебранишлар ҳолатига тушади. 50% га пасайиш бўлганида двигателнинг барқарорлиги бузилади ва у синхронизмдан чиқиб кетади.

3. Диаметри 4,2 метргача бўлган қувурли насос станцияларда гидравлик зарбларни ҳисоб қила оладиган дастурий комплекс ишлаб чиқилди. Бу комплекс асосий ва ёрдамчи энергетик жиҳозларни конструкция ва сув ўтказувчи иншоот ва қувурларни параметрларини танловига таъсир эта олади. Электрон ҳисоб машиналари учун дастурларни расмий рўйхатдан ўтказиш ҳақидаги гувоҳномалар олинди, № DGU 03124 ва № DGU 03644.

4. Босим қувурларда қайта ёқиш қурилмасидан фойдаланиш гидравлик зарбда босимнинг ошиш катталигини пасайтириш имкониятини беради. Қайта ёқиш қурилмаси ишлатилганида босим қувурлардаги гидравлик зарб юмшоқроқ ўтади. Қувурларнинг бирида босим ошганида қўшни қувурларга сув ташланади, пасайганда эса қўшни қувурлардан сув оқиб ўтади. Бунда гидравлик зарб ўрта ҳисобда 40%га пасаяди, босимнинг пасайиш муддати эса 1,5 баробарга камаёди.

5. FAP 01119 фойдали модель Патент даражасида насос станцияларининг диски затвори ёпилишининг пропорционал бошқаруви қурилмасини тавсия қилади. Дискли затворини ёпилиш тезлигининг ўзгариши аста-секин ўтади ва қувурда суюқликнинг оқиш тезлигига пропорционал тарзда бўлади. Дастурланаётган логик контроллернинг техник тавсифи шундай тарзда дастурланадики, босим сув қувурида суюқликни тўғридан-тўғри етказиб бериш тезлиги қайта тезлигига алмашганида, яъни суюқлик тезлиги нолга тенг бўлганда, диск затвори тўлиқ ёпилади, бу эса

асосий энергетик жиҳоз ва қувурларда гидравлик зарбнинг пайдо бўлишини тамоман тўлиқлигича истисно этади.

6. Бир пайтнинг ўзида фильтрация, дренаж ва оқова сувларини нафақат бино, балки насос станцияларини атрофидаги ҳудуддан чиқариб ташлаш заруриятининг илмий асосланган услубияти барча гидроэнергетик объектларни эксплуатация қилиш хавфсизлиги ва ишончлилигининг замонавий талабларига жавоб бериши мақсадида тавсия қилинади.

7. Насос станцияси биноси ва атрофидаги ҳудудлардан тортиб олинadиган оқимлар параметрлари ҳисобининг алгоритми ишлаб чиқилган. Ечимнинг натижаси тортиб олинadиган фильтрация, дренаж ва оқова сувларнинг оқимини насос станцияси биноси ва атрофидаги ҳудудидан тартиб солувчи гидравлик қалқитмалик тизимнинг тартиб солиш қонуни асосида бўлади. Олинган боғлиқлик ва тобеликнинг таҳлили шуни кўрсатдики, насос станцияси атрофидаги ҳудуддан тортиб чиқиладиган сувнинг максимал катталиги 40-45 градуслик бурчакда тартибга солувчи қалқитма қурилманинг диск затворини ёпиш соҳасида эришилади.

8. FAP 00592 рақамли Патент бўйича фойдали модель даражасида насос ёки гидроэлектр станцияси биноси ва атрофидаги ҳудудидан фильтрация, дренаж ва жала сувларини бир пайтнинг ўзида олиб ташлаш учун тизим тавсия қилади, бу тизим ҳам стационар ҳолатда, ҳам авариявий сув тошқинларида ишлашга мўлжалланган.

9. Ишнинг натижалари бир қатор насос ва гидроэлектр станция эксплуатацияси амалиётига жорий этилган. Бажарилган комплекс экспериментал тадқиқотлар ишлаб чиқилган услуб ва математик моделларнинг мувофиқлигини тасдиқлади. Теоретик ва экспериментал ҳисобларнинг ўртасидаги фарқ 6%дан юқори бўлмади, бу амалга оширилган тадқиқотларнинг ишончлилигини тасдиқлайди. Диссертация иши натижаларини жорий этишдан тушадиган тасдиқланган иқтисодий самардорлик йилига 200 млн сўмдан ошади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК 14.07.2016.Т.02.01 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ И
ООО «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»**

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТИТОВА ЖАННА ОЛЕГОВНА

**АЛГОРИТМЫ И МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ
РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ**

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

АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Ташкент – 2016

Тема докторской диссертации зарегистрирована за № 30.09.2014/B2014.3-4.T174 в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан.

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Аннотация диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский) размещен на веб-странице Научного совета (www.tdtu.uz) и Информационно-образовательном портале «Ziyo-Net» (www.ziyo.net).

Научный консультант:	Аллаев Кахрамон Рахимович доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Тягунов Михаил Георгиевич доктор технических наук, профессор Хашимов Арифжан Адилевич доктор технических наук, профессор Камалов Толяган Сирожиддинович доктор технических наук, профессор
Ведущая организация:	АО «Гидропроект»

Защита диссертации состоится «25» ноября 2016 г. в 11-00 часов на заседании научного совета 14.07.2016.T.02.01 при Ташкентском государственном техническом университете и Обществе с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр»: 100125, г.Ташкент, ул. Дурмон йули, 29. Тел: (99871) 262-05-22; факс: (99871) 262-09-19; e-mail: info@energetika.uz.

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Общества с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр» (регистрационный номер 03). Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 29. Тел.: 262-05-22.

Аннотация диссертации разослан «09»ноября 2016 года.
(протокол рассылки № 14д от «08»ноября 2016 г.)

Х.М.Муратов

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

О.О.Зарипов

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

Т.Ш.Гайибов

Председатель научного семинара при Научном совете
по присуждению ученой степени доктора наук
д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. На сегодняшний день в мировой практике непрерывно растет значение насосных станций в энергетике, мелиорации земель, перекачке углеводородных продуктов, а также в жилищно-коммунальном хозяйстве. В этих отраслях экономики актуальным является обеспечение надежности, бесперебойности, высокой энергоэффективности и гибкости работы насосных станций, а также работоспособности при неустановившихся режимах. В достижении всех вышеперечисленных параметров определенные успехи достигнуты в зарубежных странах мира, где современное насосное оборудование постоянно обновляется и совершенствуется. В связи с этим является востребованным применение «высокотехнологического специализированного основного и вспомогательного энергетического оборудования насосных станций, продлевающего срок эксплуатации трубопроводных систем в 1,5-2 раза»¹.

В Республике Узбекистан проводятся широкомасштабные мероприятия по эффективной организации мер по созданию энергосберегающих методов и устройств регулирования режимов работы насосных станций. В этом отношении заметные результаты достигнуты при разработке эффективных методов, способов и устройств снижения влияния электромеханических и гидромеханических переходных процессов на энергетическое оборудование и трубопроводы насосных станций. На базе регулируемого электропривода разработаны структурные схемы и алгоритмы управления насосными установками, разработаны частотно-регулируемые системы «асинхронный двигатель-насос», разработаны структуры комбинированного управления асинхронным двигателем в турбомеханизмах.

В мире особое значение приобретают вопросы надежности и бесперебойности работы насосных станций при неустановившихся режимах, создания новой техники и технологии защиты энергетического оборудования и трубопроводов насосных станций от внезапных переходных процессов. В этой области осуществление целенаправленных научных исследований по разработке методов регулирования установившихся и неустановившихся режимов работы насосных станций, созданию устройств защиты основного энергетического оборудования и трубопроводов от гидравлических ударов, созданию технических решений и совершенствовании надежности вспомогательного энергетического оборудования для удаления дренажных и сточных вод, все это является приоритетной проблемой.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Законе Республики Узбекистан «О рациональном использовании энергии» (1997), Постановлении Президента Республики Узбекистан №ПП-2343 от 5 мая 2015 года «О программе мер по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015-2019 годы», постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан № 499 от 16 ноября 1999 года «О мерах по реализации Закона Республики Узбекистан «О безопасности гидротехнических сооружений», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

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

¹ <http://www.volnotex.ru/>.

Обзор международных научных исследований по теме диссертации².

Научные исследования, направленные на создание алгоритмов и методов регулирования режимов насосных станций, защищающих от негативных проявлений электромеханических и гидромеханических переходных процессов, осуществляются в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе в Val-Matic Valve & Manufacturing (США), SIPOS Aktorik (Германия), GA Valves (Великобритания), University of Cambridge (Великобритания), Aalborg University (Дания), Zhejiang University of Science and Technology (Китай), Московском энергетическом университете (Россия), Ташкентском государственном техническом университете и ООО «Научно-технический центр» (Узбекистан).

В результате исследований, проведенных в мире по усовершенствованию алгоритмов и методов регулирования режимов на насосных станциях для защиты от негативных проявлений электромеханических и гидромеханических переходных процессов, получен ряд научных результатов, в том числе: разработаны принципы сглаживания пульсаций гидравлических ударов на насосных станциях и новые воздушные клапаны для нормализации давления (Val-Matic Valve & Manufacturing США); разработаны приводы, обеспечивающие различные скорости закрытия для различных участков хода арматуры в случае переходных режимов на насосных станциях (SIPOS Aktorik, Германия); разработаны автоматические управляющие клапаны, в которых настройка выходной скорости осуществляется отдельно для нормального и аварийного режима работы насосной станции (GA Valves, Великобритания); обоснованы режимы частотно-регулируемых электроприводов насосных установок на основе совершенствования алгоритмов управления (University of Cambridge, Великобритания); на основе проведенного имитационного моделирования гидравлического удара созданы законы частотного управления при скалярном и векторном регулировании скорости асинхронных двигателей на насосных станциях (Aalborg University, Дания); разработан алгоритм управления насосными станциями при пропорциональном законе регулирования напряжения и линейном законе изменения частоты управления в функции времени (Zhejiang University of Science and Technology, Китай); разработана теория и методы обоснования параметров оросительных насосных станций (Московский энергетический университет, Россия); разработаны математические модели переходных процессов на насосных станциях при самозапуске электродвигателя после кратковременного перерыва питания (Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан); построены рациональные структуры управления насосными станциями оросительных систем посредством частотно-регулируемых электроприводов (ООО «Научно-технический центр», Узбекистан).

В мире разработке интеллектуальных алгоритмов и оптимальных методов управления режимами крупных энергетических комплексов и гидроэнергетических объектов по ряду приоритетных направлений посвящены многие исследования, в том числе: разработка энергосберегающих, оптимальных и безопасных режимов насосных и гидроэлектрических станций; создание алгоритмов и методов регулирования неустановившихся режимов насосных станций; формализация взаимосвязи электромеханических и гидромеханических переходных процессов насосных станций; обеспечение надежности работы основного и вспомогательного насосно-силового оборудования насосных и гидроэлектрических станций.

Степень	изученности	проблемы.	Вопросам	исследования
теоретических и практических задач по созданию алгоритмов и методов регулирования режимов насосных станций, разработке способов и устройств предотвращения нештатных ситуаций во время электромеханических и гидромеханических переходных процессов, разработке альтернативных способов				

² Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации осуществлялся на основе: <http://www.sipos.de/>, <http://www.gavalves.co.uk/>, <http://www.valmatic.com/>, Water Hammer in Pumped Sewer Mains. Aalborg., Denmark, 2012, 52p., <http://www.zust.edu.cn/english/>, Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. –М.: Издательство ВИЭ, 2004, 448с., <http://www.mpei.ru/> и других источников.

удаления воды из зданий и территорий насосных станций посвящены работы ряда ученых: Don J. Wood (University of Kentucky), Larsen Torben (Aalborg University), Geraint Jewell (University of Sheffield), Hans-Georg Herzog (Technische Universität München), K.T. Chau (University of Hong Kong), В.И.Виссарионова, М.Г.Тягунова (Московский энергетический университет), Б.С.Лезнова (ВНИИВОДГЕО), А.А.Хашимова (Ташкентский государственный технический университет), Т.С.Камалова (ООО «Научно-технический центр»), В.А.Хохлова (Научно-производственное предприятие «Водоподъемник»).

Научно-исследовательские работы, связанные с разработкой и внедрением методов оценки влияния электромеханических и гидромеханических режимов, создание методов расчетов надежности работы, энергоэффективности и регулирования режимов насосных станций в составе энергетических систем и комплексов нашли отражение в работах ученых Х.Ф.Фазылова, М.З.Хамудханова, Р.А. Захидова, Х.М.Муратова, М.М. Мухаммадиева, К.Р.Аллаева, Т.Ш.Гайибова, Ш.Х.Рахимова, О.Я.Гловацкого.

Исследованию вопросов оптимизации и регулирования режимов работы струйных насосов насосных станций оросительных систем посвящены работы Е.А.Соколова, Н.М.Зингера, Л.Г.Подвидза, Б.Ф.Лямаева. Надо отметить, что проведенные исследования охватывают только часть проблем, недостаточно исследованы вопросы взаимного влияния переходных процессов различной природы с учетом срока эксплуатации основного и вспомогательного энергетического оборудования насосных станций. Проблеме одновременного удаления фильтрационных, дренажных и сточных вод из зданий и прилегающих территорий насосных станций не было уделено достаточного внимания. При энергоэффективном подходе и с учетом обновления гидроэнергетического оборудования задачи, связанные с разработкой экономичных, надежных и универсальных алгоритмов и методов исследований переходных процессов, происходящих в насосах, электродвигателях, напорных трубопроводах и электрических сетях, становятся все более актуальными.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ фундаментальных и прикладных проектов Ташкентского государственного технического университета: Ф-2-33 «Выявление закономерностей механизмов энергоэффективности и математическое моделирование режимов насосных станций» (2012-2016), А-3-24 «Разработка способов и устройств защиты от гидравлического удара основного энергетического оборудования и трубопроводов насосных станций» (2015-2017).

Целью исследования является создание алгоритмов, методов, способов и устройств снижения негативного влияния неустановившихся режимов и внезапных переходных процессов на основное и вспомогательное энергетическое оборудование и трубопроводы насосных и гидроэлектрических станций.

Задачи исследования:

установить взаимосвязь электромеханических и гидромеханических переходных процессов насосных станций с учетом срока эксплуатации энергетического оборудования насосных станций;

разработать методы регулирования режимов работы насосных станций для защиты основного энергетического оборудования и трубопроводов от гидравлического удара при переходных процессах и создать устройства для его осуществления;

научно обосновать и разработать математическую модель одновременного удаления фильтрационных, дренажных и сточных вод из зданий и прилегающих территорий насосных станций для защиты от затоплений;

провести натурные испытания режимов работы оборудования насосных станций для проверки адекватности разработанных методов расчета, сопоставить результаты натурных испытаний с результатами, полученными на разработанном программном комплексе;

разработать технические решения и внедрить устройства для удаления фильтрационных, дренажных и сточных вод из зданий и прилегающих территорий на действующих насосных станциях.

Объектом исследования являются насосные и гидроэлектрические станции.

Предметом исследования являются устройство пропорционального управления насосом, перепускное устройство для защиты от гидравлического удара и система одновременного удаления фильтрационных, дренажных и ливневых вод из зданий и прилегающих территорий насосных или гидроэлектрических станций.

Методы исследования. В диссертации использовались методы расчета на основе классических уравнений Жуковского и Парка-Горева, метод разделения движений, теория гидромашин, теория надежности, метод фильтрационных сопротивлений в части баланса потока, методы планирования эксперимента.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан алгоритм поэтапного решения электромеханических и гидромеханических переходных процессов насосных станций с учетом продолжительности эксплуатации энергетического оборудования;

разработана обобщенная математическая модель и программный комплекс расчета элементов системы «трубопровод - насос - электродвигатель - электрическая сеть», позволяющие исследовать переходные процессы энергосистемы при неуставившихся режимах насосных станций;

разработан новый способ использования перепускного устройства для защиты энергетического оборудования и трубопроводов насосных станций от гидравлического удара;

разработано устройство пропорционального управления дисковым затвором насоса для повышения надежности работы энергоустановок насосных станций;

разработан способ одновременной откачки дренажных и сточных вод с различной высотой всасывания с помощью струйного насоса с системой регулирования;

создана регулируемая система одновременного удаления фильтрационных, дренажных и ливневых вод из зданий и прилегающих территорий насосных или гидроэлектрических станций с помощью струйного насоса для защиты от затоплений.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны режимы эксплуатации и энергопотребления крупных насосных станций и внедрены для повышения надежности и эффективности на насосных станциях;

разработаны новое устройство пропорционального управления дисковым затвором и новый способ использования перепускного устройства для защиты энергетического оборудования и трубопроводов насосных станций от гидравлического удара, которые апробированы на насосных станциях;

регулируемые системы со струйными насосами для одновременного удаления фильтрационных, дренажных и сточных вод из зданий и прилегающих территорий насосных или гидроэлектрических станций для защиты от затоплений внедрены на насосных станциях и на гидроэлектрической станции.

Достоверность результатов исследований обоснована проведенными сопоставлениями результатов экспериментов с расчетными и теоретическими данными, подтверждена сопоставительными расчетами вариантов с результатами натурных испытаний, сравнением с результатами других исследователей, а также внедрением результатов исследований в практику эксплуатации насосных станций.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость полученных результатов исследований характеризуется тем, что использование результатов исследований обеспечит надежную работу энергетического оборудования насосных станций при эксплуатации, в

случае внезапных отключений электроэнергии и при аварийных затоплениях, а также позволит рационально использовать водные и энергетические ресурсы.

Практическая значимость полученных результатов работы заключается в разработке устройств по защите основного и вспомогательного энергетического оборудования от аварий и затоплений.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по созданию алгоритмов и методов регулирования режимов работы насосных станций разработаны:

энергосберегающие способы и средства регулирования неустановившихся режимов работы насосов и насосных станций, эффективные системы снижения гидравлического удара в трубопроводах насосных станций внедрены на ряде насосных станций системы сельского и водного хозяйства, в том числе на насосных станциях № 1÷4 КМК Управления эксплуатации Каршинского магистрального канала и на насосных станциях ДНС-1, ДНС-2, ДНС-3, «Хаваст Галлакор» Межобластного управления эксплуатации насосных станций «Мирзачуль» (Справка от 28 июня 2016 года №04/31-700 Министерства сельского и водного хозяйства). Использование научных результатов позволило снизить затраты электроэнергии на собственные нужды насосных станций в среднем на 4%;

регулируемые системы для одновременной откачки фильтрационных, дренажных и сточных вод из зданий и территорий насосных станций, с помощью струйных насосов, внедрены на ряде насосных станций системы сельского и водного хозяйства, в том числе на насосных станциях «Туркистон-1-2» и «Туркистон-1-1» Наманганского управления насосных станций энергетики и связи, на насосных станциях «Пахтакор», «Гувалак», Кашкадарьинского управления насосных станций энергетики и связи, на насосных станциях «Караянтаг» и «ДМ-1» Джизакского управления насосных станций энергетики и связи, на насосной станции «М-2-2» Каршинского управления эксплуатации малых насосных станций (Справка от 28 июня 2016 года №04/31-700 Министерства сельского и водного хозяйства). Использование научных результатов позволило разработать энергоэффективные струйные насосы, срок окупаемости которых составляет 1 год, что в 6,5 раз эффективнее нормативного срока окупаемости;

алгоритм поэтапного решения электромеханических и гидромеханических переходных процессов насосных станций с учетом продолжительности эксплуатации энергетического оборудования, программа выявления и расчета гидравлического удара в напорных трубопроводах насосных станций, обобщенная математическая модель взаимосвязи элементов системы «трубопровод - насос - электродвигатель - электрическая сеть» использовались для определения энергетических параметров при переходных процессах в проекте ОТ-Ф5-036 «Формализация взаимосвязи электромеханических и гидромеханических переходных процессов в области энергетики» (2007-2011). (Справка Комитета по координации развития науки и

технологий Республики Узбекистан № ФТК-03-13/700 от 20.10.2016 года). Использование результатов научного исследования позволило снизить негативное влияние неустановившихся режимов и внезапных переходных процессов на основное и вспомогательное энергетическое оборудование и трубопроводы насосных станций. Гидравлический удар снизился на 40%, длительность понижения давления сократилась в 1,5 раза.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования доложены на 11 научно-технических конференциях, в том числе 6 международных: на международной научно-технической конференции «Проблемы подготовки высококвалифицированных кадров для сельского и водного хозяйства» (Ташкент, 2009), международной научно-технической конференции «Проблемы формирования и внедрения инновационных технологий в условиях глобализации» (Ташкент, 2010), международной научно-технической и практической конференции «Современное состояние и перспективы развития энергетики» (Ташкент, 2011), на международном инновационном форуме «From Innovative Ideas to Innovative Economy» (Ташкент, 2015), международной научно-практической конференции «Vědecký pokrok na přelomu tysyačalety» (Прага, 2016), международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы в современной науке и пути их решения» (Москва, 2016) и на 5 республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследования.

По теме диссертации опубликованы всего 30 научных работ, из них 5 монографий, 12 научных статей, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 9 в республиканских и 3 в зарубежных журналах, 2 патента на полезные модели, 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 196 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность результатов исследований, раскрыты теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведен перечень внедрений результатов исследования, представлены результаты апробации работы, сведения по опубликованным трудам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Системный анализ современного состояния режимов эксплуатации и энергопотребления насосных станций»** освещено современное состояние режимов эксплуатации и энергопотребления насосных станций с учетом срока эксплуатации основного и вспомогательного энергетического оборудования.

Проанализированы данные фактической эксплуатации и энергопотребления насосных станций в разрезе областных и межрегиональных управлений насосных станций, энергетики и связи с учетом срока эксплуатации основного и вспомогательного энергетического оборудования. Обзор показал, что более половины всего электромеханического и гидромеханического оборудования насосных станций отработали свой гарантированный ресурс.

Как показал литературный обзор, проводятся значительные исследования, связанные с выбором безопасных и оптимальных режимов работы и обеспечением рационального использования электрической энергии оросительных насосных станций, регулирования режимов работы насосных станций оросительных систем и трубопроводов.

Электромеханические переходные процессы синхронных и асинхронных электродвигателей описаны классическими уравнениями Парка-Горева, а гидромеханические переходные процессы – дифференциальными уравнениями жесткого и упругого гидравлических ударов, основу которых положили классические работы Н.Е. Жуковского.

Нами выявлено, что достаточных исследований взаимосвязей электромеханических и гидромеханических переходных процессов, происходящих в насосах, электродвигателях, напорных трубопроводах и электрических сетях, с учетом срока эксплуатации всего комплекса оборудования не проводилось. А они, при повышенной длине напорного трубопровода, могут оказывать решающее влияние на безопасность и надежность работы энергетического оборудования станций.

Наиболее неблагоприятные последствия возникают при переходных процессах, связанных с внезапным аварийным отключением основных насосных агрегатов. При этом возникает наибольший гидравлический удар в напорном трубопроводе и наибольшая угонная скорость отключенных агрегатов.

Например, на крупнейшем каскаде насосных станций за предыдущие 5 лет ежегодно происходило около двадцати незапланированных погашений электроэнергии. Каждое из этих погашений приводило к значительным потерям от произошедших переходных процессов и гидравлических ударов. При внезапном погашении электроэнергии 23 января 2013 года, когда отключились все 29 работающих насосных агрегата мощностью по 12,5 Мегаватт каждый, потери составили 597 млн. сум. Самым неприятным является недоподача воды во время вегетации, что приводит к существенным потерям от снижения урожайности сельскохозяйственных культур. После обновления оборудования электроэнергетической системы и внедрения рекомендаций по надежной работе энергооборудования количество отключений на каскаде в 2015 году снизилось с двадцати до четырех в год.

Таким образом, становится необходимым создание научно-обоснованных алгоритмов, методов, способов и устройств снижения негативного влияния неуставившихся режимов и внезапных переходных процессов на основное, вспомогательное энергетическое оборудование и трубопроводы насосных и гидроэлектрических станций.

Во второй главе диссертации «Алгоритмы поэтапного решения уравнений электромеханических и гидромеханических переходных процессов насосных станций» разработаны алгоритмы решения уравнений режимов, происходящих в элементах электроэнергетических систем, содержащих насосные или гидроэлектрические станции. Эти процессы существенно отличаются между собой, что связано с их различными инерционными свойствами.

Переходные режимы электроэнергетических систем, связанные с электромагнитными процессами, такие как короткие замыкания, протекают за доли секунды. Режимы, связанные с электромеханическими и гидромеханическими процессами, могут длиться десятки секунд или несколько минут. Поэтому необходимо подбирать уравнения элементов по соответствующим параметрам для их стыковки, так как система «трубопровод – насос – двигатель – электрическая сеть» должна рассматриваться как единая, с учетом взаимовлияния всех этих элементов.

Для регулирования режимов системы необходимо упрощать математические модели, описывающие поведение элементов системы. В рассматриваемой системе дифференциальных уравнений постоянные времени могут иметь различный порядок. Тогда появляется возможность разделить движения на быстрые и медленные.

Электромеханические процессы рассматривались нами с учетом регулирования запорной арматуры, а иногда и колебаний уровня воды в верхнем бьефе. Они в свою очередь могут привести к колебаниям синхронного двигателя насосной станции и возникновению длительных переходных процессов, длящихся десятки и сотни секунд.

Общая математическая модель энергетических систем для расчета аварийных неустановившихся режимов охватывала медленные электромеханические процессы, в том числе с учетом параметров таких протяженных объектов, как линии электропередач, трубопроводы насосных станций. Электромеханические процессы рассматривались во взаимосвязи с колебаниями роторов вращающихся машин и с процессами, происходящими в гидромеханических частях вращающихся агрегатов.

Составлена система уравнений, которая позволит проанализировать различные режимы, возникающие в исследуемой системе, и определить влияние на них изменения параметров режима и элементов. В общую систему входят следующие уравнения:

- уравнения движения несжимаемой жидкости в трубопроводе:

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{gS} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\lambda}{d} \frac{1}{S^2} \frac{Q|Q|}{2g} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{c^2}{gS} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

где S – площадь поперечного сечения трубопровода, d – диаметр трубопровода, λ – коэффициент сопротивления трубопровода;

- уравнения движения агрегата, включающего насос и электропривод:

$$\text{синхронного двигателя: } T_{JC} \frac{d^2\delta}{dt^2} = M_{ДВ} - M_{МЭХ}, \quad (3)$$

$$\text{асинхронного двигателя: } T_{JA} \frac{ds}{dt} = M_{ДВ} - M_{МЭХ}, \quad (4)$$

- уравнения электрических моментов двигателя насоса:

$$\text{синхронного: } M_{ДВ} = \frac{E_q U_c}{X_{d\Sigma}} \sin \delta + \frac{U^2}{2} \frac{(X_d - X_q)}{X_{d\Sigma} X_{q\Sigma}} \sin 2\delta, \quad (5)$$

$$\text{асинхронного: } M_{ДВ} = M_{ДВ}^M \frac{2(1+s_{kp})}{\frac{s}{s_{kp}} + \frac{s_{kp}}{s} + 2s_{kp}}, \quad (6)$$

гидравлический момент насоса:

$$M_{МЭХ} = M_{Г} - M_{ТР}, \quad M_{Г} = \frac{\rho \eta Q H}{\omega}, \quad M_{ТР} = (0,03 - 0,07) M_{Г} \text{sign}(n); \quad (7)$$

- уравнение регуляторов возбуждения синхронного двигателя:

$$T_e \frac{dE_{qe}}{dt} = E_{q0} - E_{qe} + v, \quad T_p \frac{dv}{dt} = e - v, \quad (8)$$

$$e = \sum_{i=1}^m (K_{0\Pi} \Pi_i + K_{1\Pi} \frac{d\Pi_i}{dt} + K_{2\Pi} \frac{d^2\Pi_i}{dt^2}), \quad (9)$$

Для решения приведенных уравнений использовались соответствующие математические выражения, связывающие между собой параметры режима.

Приведенные уравнения позволили исследовать переходные режимы насосных агрегатов при различных аварийных и эксплуатационных режимах: при изменении напряжения на шинах, аварийном отключении синхронного двигателя, авариях, связанных с насосом или в трубопроводе и т.д.

Разработаны алгоритмы поэтапного решения электромеханических и гидромеханических переходных процессов, выявления и расчета гидравлического удара в трубопроводах насосных станций. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

Разработанные алгоритмы легли в основу создания программного комплекса выявления и расчета гидравлического удара, на который получены Свидетельства об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин № DGU 03124 и № DGU 03644. Программный комплекс на языке программирования C# может в значительной степени влиять на выбор основного и вспомогательного оборудования, конструкцию и параметры водопроводящих сооружений. Применение программы обеспечивает определение величины напора и скорости, расхода и стока жидкости в трубопроводе при гидравлическом ударе, сравнение их с допустимыми величинами, принятие в случае необходимости технических мер по снижению величины гидравлического удара.

Программный комплекс был апробирован при математическом моделировании перепускного устройства, позволяющего предотвращать гидравлический удар с целью увеличения долговечности трубопроводов и экономии потребления электроэнергии. Программы можно применять при проведении научно-исследовательских работ и в учебном процессе.

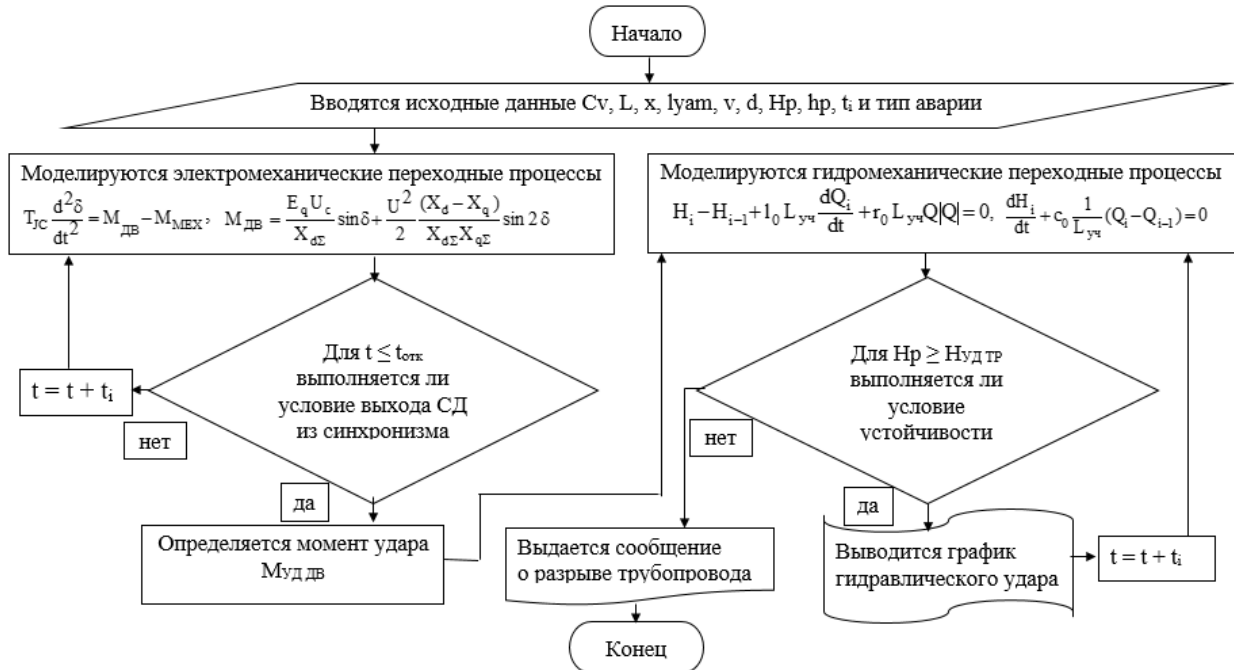


Рис. 1. Блок-схема алгоритма поэтапного решения электромеханических и гидромеханических переходных процессов насосных станций

В третьей главе диссертации «Расчетно-экспериментальные исследования переходных процессов в гидроэнергетических установках» приведены результаты исследований переходных процессов в гидроэнергетических установках, а именно: изучение гидромеханических процессов в трубопроводах и гидромашине и изучение электромеханических процессов в гидрогенераторе и в энергосистеме.

Переходные процессы характеризуются значительным увеличением динамических нагрузок на элементы оборудования. Вибрация оборудования значительно возрастает при увеличении интенсивности пульсации гидродинамического давления на стенках проточного тракта гидроагрегата, что может привести к катастрофическим последствиям.

Динамические процессы в трубопроводной сети описываются известными из гидравлики уравнениями распространения (1) и (2) путем замены линии с распределенными параметрами на систему эквивалентных четырехполосников с сосредоточенными параметрами. Трубопроводы могут быть представлены участками с постоянными длиной, диаметром и свойствами материала. Тогда, для i -го участка трубопровода уравнения напора и расхода имеют вид:

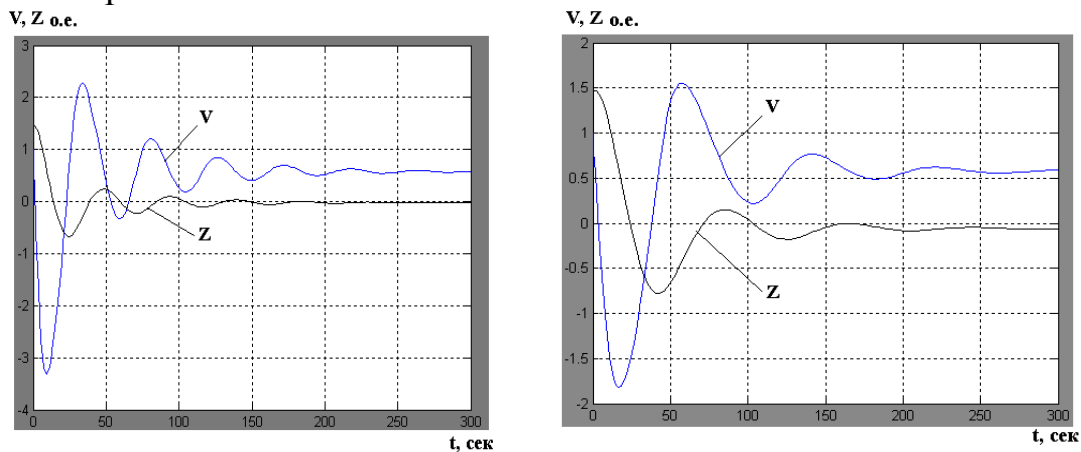
$$H_i - H_{i-1} + l_0 L_{yч} \frac{dQ_i}{dt} + r_0 L_{yч} Q|Q| = 0, \quad (10)$$

$$\frac{dH_i}{dt} + c_0 \frac{1}{L_{yч}} (Q_i - Q_{i-1}) = 0, \quad (11)$$

где $r_0 = \frac{\lambda}{8^2 d} \frac{1}{2g}$, $c_0 = \frac{c^2}{Sg}$, $l_0 = \frac{1}{Sg}$ – удельные сопротивления участка трубопровода; H_i , Q_i , H_{i-1} , Q_{i-1} – напоры и расходы на выходе и входе i -го трубопровода соответственно; $L_{yч}$ – длина участка трубопровода.

Эти уравнения используются при анализе переходных процессов всей системы «насос – трубопровод – двигатель – электрическая сеть».

На рис. 2 приведены результаты моделирования переходных процессов в системе «трубопровод - верхний бьеф», из которых видно, что уменьшение длины трубопровода приводит к увеличению частоты колебаний и амплитуды колебаний водной массы. Переходный процесс продолжается около 300 с, причем с уменьшением длины трубопровода кратность увеличения напора и скорости возрастает.



А Б
 А) $L=1500$ м, Б) $L=500$ м, $H_1=55$ м, $\lambda=0.02$, $F=13$ м²
Рис. 2. Переходные гидромеханические процессы системы «трубопровод - верхний бьеф».

Внезапные отключения электродвигателя насосного агрегата возникают в результате коротких замыканий в роторных, статорных контурах машины или в энергосистеме, вблизи шин насосной станции и являются аварийными процессами.

На рис. 3 приводятся характеристики переходного процесса при внезапном отключении питания со стороны энергосистемы. Рассчитаны колебания скорости потока воды в трубопроводе, напора и скорости вращения ротора агрегата насосной станции «Хамза-2» Аму-Бухарского машинного канала, при длине трубопровода 1500 м, диаметре 4,2 м, рабочем напоре 55 м и начальной скорости потока 2 м/с.

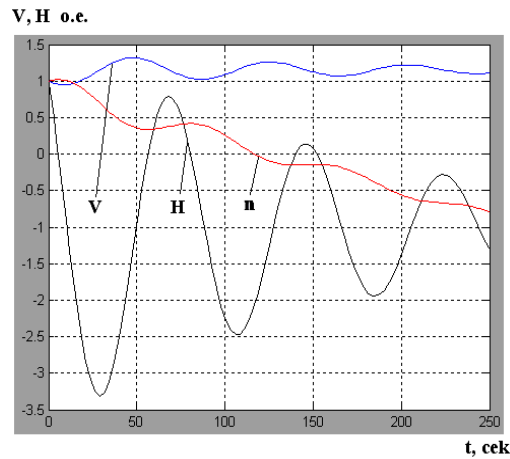


Рис. 3. Переходные процессы в системе «трубопровод – верхний бьеф» при внезапном отключении синхронного двигателя насосной станции

Особенность процессов состоит в том, что они протекают при изменяющейся частоте вращения насосного агрегата, приводящей к колебаниям электромагнитных и гидромеханических параметров.

Электромагнитные моменты синхронного двигателя определены по формуле:

$$M_C = x_{ad} [i_{qc}(i_f + i_{ld}) - i_{dc}i_{lq}](1 + s_k); \quad (12)$$

При расчетах в целях упрощения электромагнитный и гидромеханический моменты заменены соответствующими мощностями, т.е., $M_{дв} = P_{дв}$ и $M_{нас} = P_{нас}$.

Обобщенная система уравнений электро- и гидромеханической системы представлена в виде:

- уравнение расхода:

$$\frac{dQ}{dt} = (H_{i-1} - H_i - r_0 L_{yч} Q |Q|) / L_{yч}, \quad (13)$$

- уравнение напора:

$$\frac{dH}{dt} = -c_0 \frac{1}{L_{yч}} (Q_i - Q_{i-1}), \quad (14)$$

- уравнений синхронного двигателя:

$$\frac{d\delta}{dt} = s, \quad (15)$$

$$\frac{ds}{dt} = \left(\frac{314}{T_{JC}}\right) (P_{двс} - P_{нас}), \quad (16)$$

- уравнения регулятора возбуждения синхронного двигателя, соответственно:

- переходной ЭДС:

$$\frac{dE'_q}{dt} = \left(\frac{1}{T_{d0}}\right) (E_{qe} - E'_q), \quad (17)$$

- напряжения на кольцах ротора:

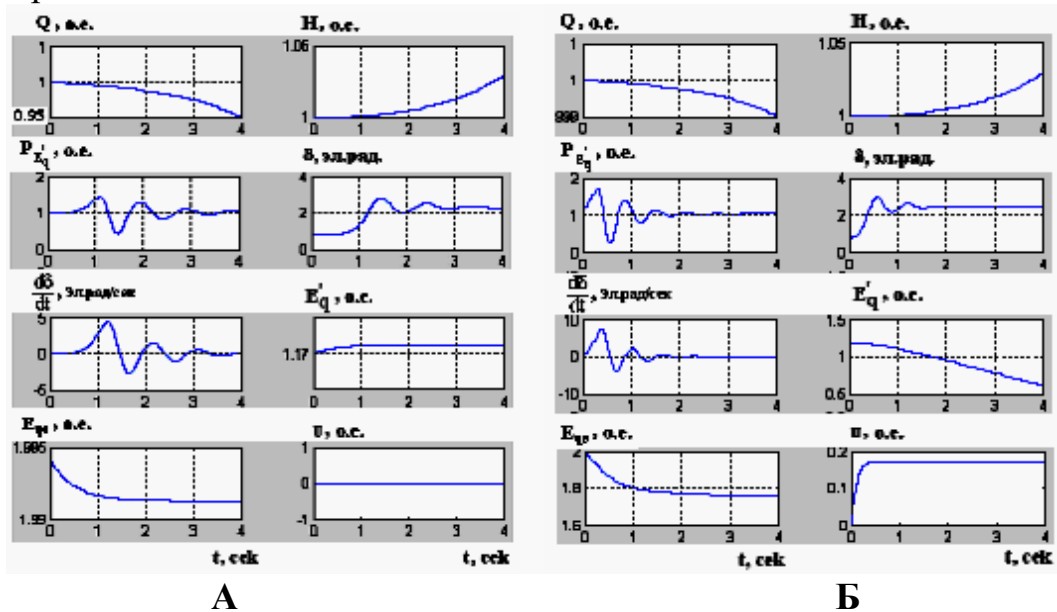
$$\frac{dE_{qe}}{dt} = \left(\frac{1}{T_e}\right) (E_{eq0} - E_{qe} + v), \quad (18)$$

- напряжения на входе возбудителя:

$$\frac{dv}{dt} = \left(\frac{1}{T_P}\right)(e - v). \quad (19)$$

Совместное решение уравнений (12) - (19) позволило провести комплексный анализ переходных режимов системы «трубопровод - насос - электродвигатель - электрическая сеть».

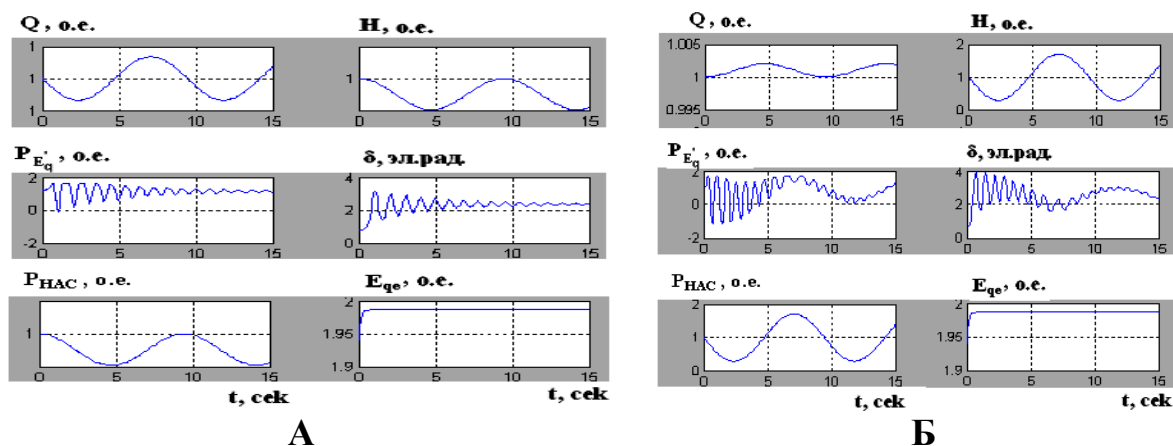
Определено, что одним из тяжелых режимов является снижение напряжения на шинах станции, в особенности на шинах системы. На рис. 4 приведены характеристики переходных процессов при снижении напряжения на шинах системы на 2%. Анализ показывает, что снижение напряжения на шинах системы более чем на 8% приводит к выходу синхронного двигателя из синхронизма.



А) АРВ СД отключен $K_{0U}=0$; Б) АРВ включен, $K_{0U}=5$ ед
Рис. 4. Переходные электро- и гидромеханические процессы при понижении напряжения на шинах системы на 2%

Из приведенных кривых видно, что характер протекания гидромеханических переходных процессов несколько меняется, а именно – расход снижается, в то время как напор повышается. Это объясняется тем, что движущая сила – вращающий момент машины снижается, а увеличение напора связано с инерционностью движения потока.

Рассмотрены случаи скачкообразного уменьшения мощности синхронного двигателя (рис. 5): на 15% – устойчивость агрегата сохраняется, при этом электромеханические процессы затухают быстро, а гидромеханические процессы продолжаются около 140 с; на 30% – агрегат попадает в режим длительных колебаний; на 50% – приводит к нарушению устойчивости двигателя и выходу его из синхронизма.



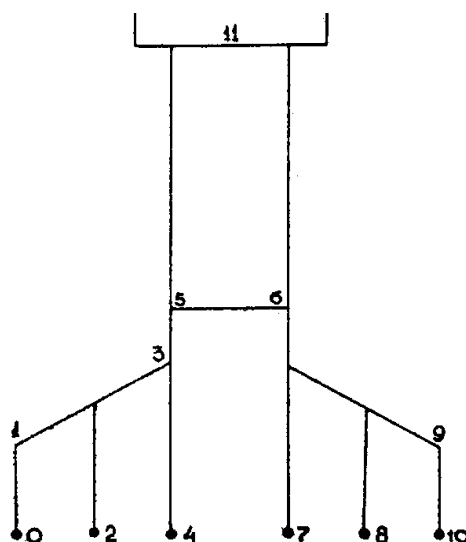
А **Б**
 А) мощность двигателя уменьшается на 15%,
 Б) мощность двигателя уменьшается на 30%
Рис. 5. Переходные процессы при скачкообразном изменении нагрузки на валу насосного агрегата

Полученные результаты могут быть использованы для обоснования конструкций энергетического оборудования и трубопроводов, а также в технико-экономических расчетах.

В четвертой главе диссертации «**Технические средства защиты основного энергетического оборудования и трубопроводов насосных станций от гидравлического удара**» предложены следующие эффективные устройства защиты от гидравлического удара в основном оборудовании и трубопроводах насосных станций: перепускное устройство и устройство пропорционального управления дисковым затвором насоса.

Предложено использование известного перепускного устройства, соединяющего две или более нитки напорных трубопроводов по новому назначению для уменьшения величины повышения давления при гидравлическом ударе. Проведенный анализ протекания гидравлического удара на насосных станциях, оборудованных перепускным устройством, показал, что при повышении давления в одной из ниток при открытом перепуске будет осуществляться сброс воды в соседние, а при понижении давления - происходить обратный процесс – переток жидкости из соседних трубопроводов.

На рис. 6 представлена схема для решаемой задачи. Каждая напорная система насосной станции включает несколько насосных агрегатов, трубопроводы и водовыпуски.



0,2,4,7,8,10 – насосы; 1,3,9 – места изменения диаметра трубопровода;
5,6 места установки перепускного устройства; 11 – водовыпуск.

Рис. 6. Расчетная схема напорной системы насосной станции

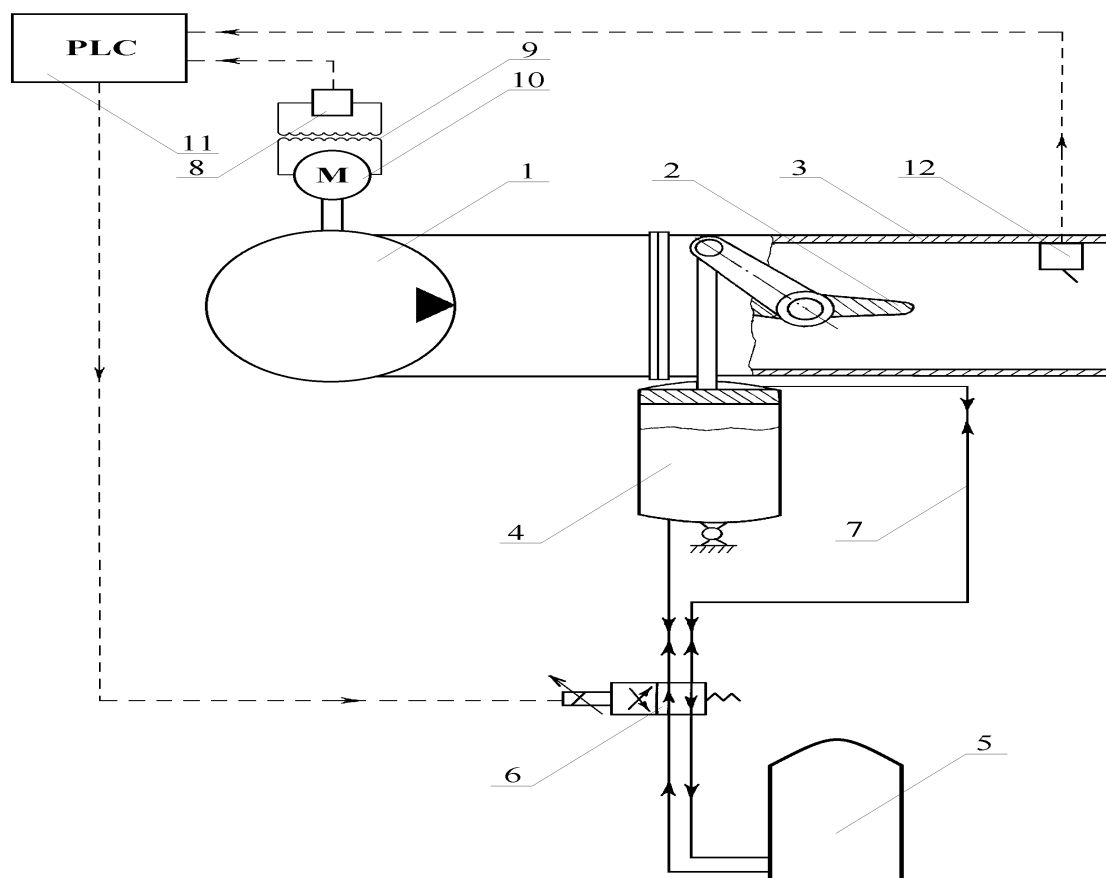
Нами принята форма четырехквadrантных характеристик насоса $H/\beta^2 = f_1(Q/\beta)$ и $M/\beta^2 = f_2(Q/\beta)$, полученные на основе теории подобия насосов (где β – относительная частота вращения ротора).

Анализ полученных зависимостей переходного процесса позволил сделать вывод о том, что при работе перепуска величина колебаний напора уменьшилась на 20 м, при этом гидравлический удар снизился на 40 %. Длительность понижения давления уменьшилась более чем в 1,5 раза.

На насосной станции были проведены натурные испытания изучаемых переходных процессов. Их анализ позволяет сделать вывод о том, что перепускное устройство является достаточно эффективным средством защиты напорных трубопроводов и насосных агрегатов от гидравлического удара.

В диссертации обоснована разработка пропорционального устройства управления дисковым затвором для защиты насосных станций от гидравлического удара. Сокращение времени закрытия дискового затвора способствует более быстрому выводу оставшегося в работе насоса из кавитационной зоны. Кроме того, при этом улучшаются вибрационные характеристики отключенного насоса за счет сокращения величины и продолжительности его обратного вращения, а также напорного трубопровода, за счет уменьшения пульсации давления, вызываемой работой насосов в режиме кавитации и в реверсивном режиме.

Для осуществления пропорционального закрытия дискового затвора насоса для защиты от гидравлического удара на уровне полезной модели по Патенту № FAP 01119 разработано устройство управления насосом (рис. 7) с использованием современных достижений пропорциональной и цифровой гидравлики.



1 – насос, 2 – дисковый затвор, 3 – напорный трубопровод, 4 – сервопривод, 5 – маслonaпорная установка, 6 – пропорциональный золотниковый распределитель, 7 – маслопровод, 8 – датчик аварийного отключения электропривода, 9 – статорная обмотка электропривода, 10 – электропривод, 11 – программируемый логический контроллер, 12 – цифровой датчик скорости.

Рис. 7. Схема устройства пропорционального управления насосом

Устройство, содержащее дисковый затвор с сервоприводом, маслonaпорную установку, золотниковый распределитель, маслопровод с дросселем и датчик аварийного отключения насоса, снабжается цифровым датчиком скорости потока жидкости в напорном трубопроводе и программируемым логическим контроллером, а золотниковый распределитель выполняется регулируемым в пропорциональном исполнении.

Изменение скорости закрытия дискового затвора происходит плавно и пропорционально скорости течения жидкости в трубопроводе. Техническая характеристика программируемого логического контроллера программируется таким образом, что в момент смены в напорном трубопроводе прямой скорости подачи жидкости на обратную, т.е. в момент нулевой скорости жидкости, фиксируемой цифровым датчиком, дисковый затвор закрывается.

Применение устройства пропорционального управления насосом исключает возможность возникновения гидравлического удара и обратной угонной скорости насоса при аварийных погашениях электроэнергии, обеспечивает экономию затраченной электроэнергии, повышает надежность и экономичность насосной станции.

В пятой главе диссертации **«Регулирование режимов вспомогательных систем откачки фильтрационных, дренажных и сточных вод территорий и зданий насосных и гидроэлектрических станций»** разработаны регулируемые системы одновременной откачки фильтрационных, дренажных и сточных вод из зданий и территорий насосных или гидроэлектрических станций с помощью струйных насосов и определены их режимы для потоков с различной высотой всасывания.

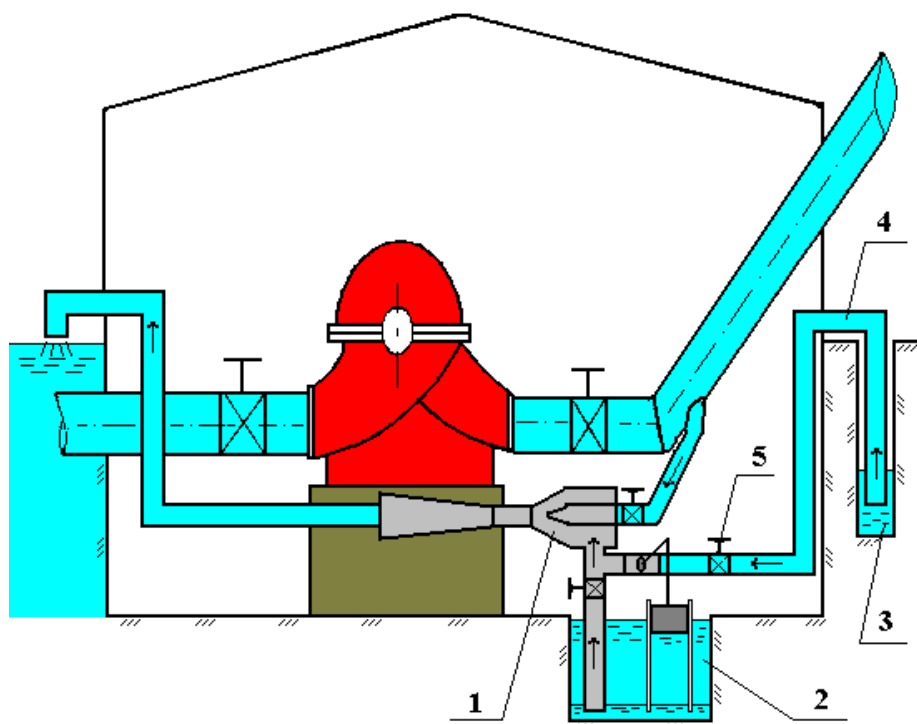
Наиболее ответственным вспомогательным энергетическим оборудованием является дренажно-осушительное оборудование. В результате аварийных затоплений и при отключениях электроэнергии дренажные насосы, по сути, первые подвержены выходу из строя. В диссертации описан ряд серьезных затоплений зданий станций, вызванных погашением электроэнергии, т.к. все вспомогательное оборудование в это время отключено.

Из-за увеличения притока сточных вод с территории, связанного со сроком эксплуатации сооружений и напорных трубопроводов насосных станций, фильтрационная вода через стены здания станции, попадает внутрь самого здания, стекая по кабельным каналам, находящимся под напряжением, что предопределяет возникновение аварийных ситуаций и затоплений.

В научно-производственном предприятии «Водоподъемник» с участием автора диссертации разработано новое устройство для одновременной откачки фильтрационных, дренажных и сточных вод территорий и зданий насосных или гидроэлектрических станций, которое защищено Патентом на полезную модель № FAP 00592. Оно содержит дренажную скважину на территории, дренажный колодец в помещении станции, в котором установлен струйный насос с всасывающим трубопроводом, дисковый затвор, соединенный посредством рычага с грузом-поплавком, расположенным в дренажном колодце.

Предлагаемая система схематично показана на рис. 8. При среднем значении притока воды в дренажный колодец груз-поплавок расположен так, что кинематически связанный с ним диск дискового затвора находится в полуприкрытом состоянии. При этом струйный насос откачивает всю воду, которая поступает в дренажный колодец и откачивает воду из дренажной скважины, понижая в ней уровень воды на определенную величину.

Дисковый затвор, на который воздействует груз-поплавок, в зависимости от горизонта воды в дренажном колодце производит перераспределение притока воды, всасываемой из дренажного колодца и дренажной скважины таким образом, чтобы в обязательном порядке обеспечить откачку всей воды, поступающей в дренажный колодец из условия надежности работы откачивающей системы и незатопления здания станции.



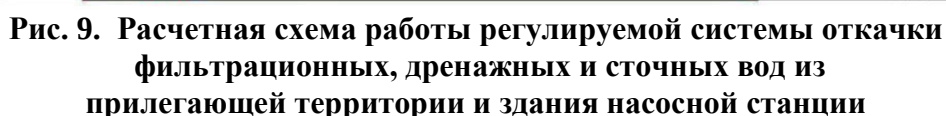
1 – система со струйным насосом; 2 – дренажный колодец в здании станции; 3 – дренажная скважина на территории станции; 4 – дополнительный трубопровод; 5 – дополнительная задвижка.

Рис. 8. Система для одновременного удаления фильтрационных, дренажных и сточных вод из прилегающей территории и из помещения насосной или гидроэлектрической станции

Применение системы для одновременного удаления фильтрационных, дренажных и сточных вод из прилегающей территории и из помещения насосной или гидроэлектрической станции обеспечивает гидравлическую автоматизацию процесса откачки воды, повышает ее надежность и экономичность.

В системе откачки происходит смешение трёх потоков: рабочего потока – из напорного трубопровода и двух всасываемых потоков: из дренажного колодца – с первоначальной отрицательной высотой всасывания и из скважины на территории станции – с первоначальной положительной высотой всасывания. Закономерности смешивания потоков, происходящих в такой системе, математически не были описаны.

Были формализованы процессы, происходящие в струйных насосах при смешении трёх потоков, а также при регулировании системы откачки с помощью поплавкового устройства. Расчетная схема работы регулируемой системы откачки фильтрационных, дренажных и сточных вод из здания и прилегающей территории насосной станции представлена на рис 9.


$$H_{\beta \text{ здан}} = \nabla YBK - \nabla OCH - \Delta h_{\text{здан}} = \nabla ДК + h_{\text{кол}} - \nabla OCH - \Delta h_{\text{здан}}, \quad (20)$$

где $\nabla УВК$ – отметка уровня воды в дренажном колодце; $\nabla ОСН$ – отметка оси установки струйного насоса; $\nabla ДК$ – отметка дна колодца; $h_{кол}$ – глубина воды в колодце – величина переменная, зависящая от притока воды в дренажный колодец $Q_{вздан}$; $\Delta h_{здан}$ – потери напора в трубопроводе всасывающей линии откачки из здания.

Высота всасывания из скважины на территории станции составляет:

$$H_{Bmen} = \nabla YBC - \nabla OCH - \Delta h_{men} - \Delta h_{duck} = \nabla DK + H_0 - S_c - \nabla OCH - \Delta h_{men} - \Delta h_{duck}, (21)$$

где ∇YBC – отметка уровня воды в скважине; $\Delta h_{тер}$ – потери напора в трубопроводе всасывающей линии откачки с территории; $\Delta h_{диск}$ – потери напора в регулирующем дисковом затворе.

Потери напора определяются по формулам гидравлики:

$$\Delta h_{3дан} = \lambda \frac{8l_{3дан}(Q_{В3дан})^2}{\pi^2 g d_{3дан}^5}, \Delta h_{мер} = \lambda \frac{8l_{мер}(Q_{Вмер})^2}{\pi^2 g d_{мер}^5}, \Delta h_{диск} = \xi_{диск} \frac{8(Q_{Вмер})^2}{\pi^2 g d_{мер}^4} \quad (22)$$

Величина коэффициента местного сопротивления диска $\xi_{диск}$ переменная, она зависит от угла закрытия диска α .

При углах α от 0 до 50° величины коэффициента аппроксимированы полиномом шестой степени:

$$\xi_{\text{quck}} = 9,4 \cdot 10^{-11} \alpha^6 + 3,56 \cdot 10^{-7} \alpha^5 - 2,47 \cdot 10^{-5} \alpha^4 + 6,81 \cdot 10^{-4} \alpha^3 - 5,0 \cdot 10^{-3} \alpha^2 + 4,24 \cdot 10^{-2} \alpha + 0,097,$$

при углах α от 50^0 до 90^0 – полиномом четвертой степени:

$$\xi_{\text{диск}} = 0,0155\alpha^4 - 3,502\alpha^3 + 296,965\alpha^2 - 11181,76\alpha + 157675,6 \quad (23)$$

При этом величина достоверности аппроксимации составила $R^2 = 0,99$.

В свою очередь угол закрытия дискового затвора поплавкового регулирующего устройства зависит от глубины воды в колодце и геометрических параметров рычага.

Математическая модель гидравлического регулирования струйного насоса при откачке потоков с различной высотой всасывания имеет вид:

$$z_{\text{тер}} + \frac{8Q_{\text{Втер}}^2}{g\pi^2 d_{\text{тер}}^4} \left(1 - \frac{\lambda_{\text{тер}} l_{\text{тер}}}{d_{\text{тер}}} - \xi_{\text{диск}} \right) = z_{\text{здан}} + \frac{8Q_{\text{Вздан}}^2}{g\pi^2 d_{\text{здан}}^4} \left(1 - \frac{\lambda_{\text{здан}} l_{\text{здан}}}{d_{\text{здан}}} \right) \quad (24)$$

Отсюда определяются соотношения всасываемых расходов струйного насоса с территории $Q_{\text{Втер}}$ и здания $Q_{\text{Вздан}}$ насосной станции:

$$Q_{\text{Втер}} = \sqrt{\frac{z_{\text{здан}} - z_{\text{тер}} + \frac{8Q_{\text{Вздан}}^2}{g\pi^2 d_{\text{здан}}^4} \left(1 - \frac{\lambda_{\text{здан}} l_{\text{здан}}}{d_{\text{здан}}} \right)}{\frac{8}{g\pi^2 d_{\text{тер}}^4} \left(1 - \frac{\lambda_{\text{тер}} l_{\text{тер}}}{d_{\text{тер}}} - \xi_{\text{диск}} \right)}} \quad (25)$$

Результаты расчетов параметров системы по разработанной математической модели, проведенные на примере насосной станции «М-2-2» Кашкадарьинской области, представлены на графической зависимости на рис. 10. Как видно из рис. 10, зависимость напора от суммарного всасываемого расхода, имеющая название рабочей характеристики струйного насоса, имеет полого нисходящее очертание, обращенное выпуклостью вверх. Такое очертание характерно для рабочих характеристик струйных насосов и было получено в предыдущих исследованиях.

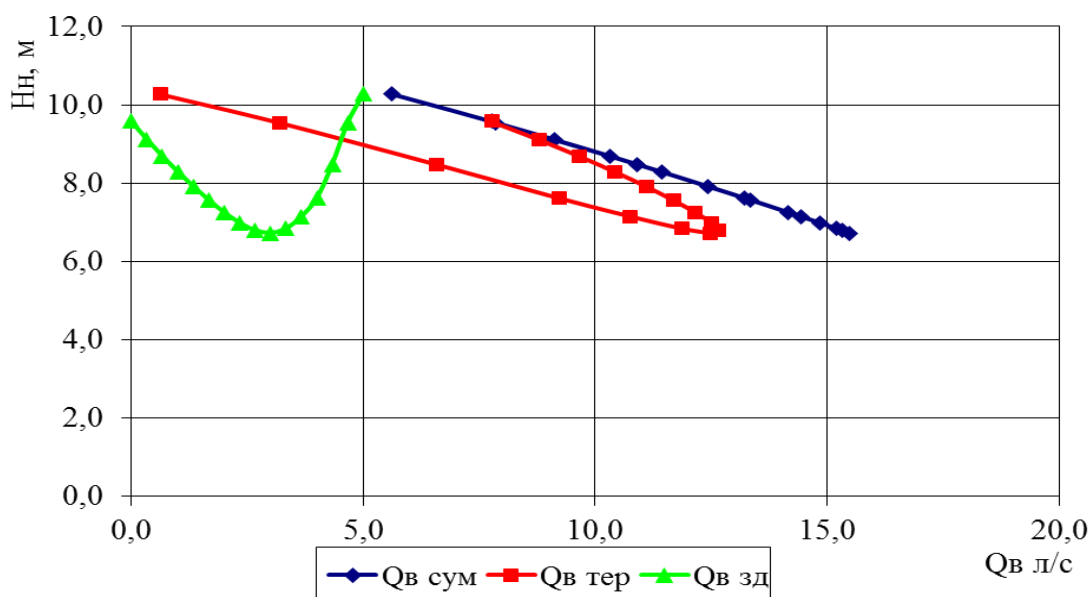


Рис. 10. Зависимость напора струйного насоса от расходов всасываемых потоков из здания и с территории насосной станции

Однако при рассмотрении по отдельности зависимости напора струйного насоса от всасываемого расхода потока из здания насосной станции и зависимости напора струйного насоса от всасываемого расхода потока с территории насосной станции, можно отметить, что характеристики имеют другие очертания. Характеристики обращены выпуклостью вниз и имеют точки минимумов. Режимы работы струйного насоса, соответствующие этим минимумам, имеют наименьшие напоры и поэтому являются наиболее энергоэффективными.

Было осуществлено внедрение новых устройств на насосных станциях «М-2-2», «Пахтакор», «Гувалак» Кашкадарьинской области, НС №2, №3, №4 Каршинского магистрального канала, «Караянтаг» и «ДМ-1» Джизакской области, «Туркистон-1-2» и «Туркистон-1-1» Наманганской области и на Чарвакской гидроэлектрической станции.

Приведены результаты натурных испытаний новых устройств, проведенные на насосной станции «М-2-2». Разработанная методика испытаний струйного насоса и применяемые средства и методы измерения позволили осуществить замеры напора с погрешностью, не превышающей 3 %, подачу струйного насоса и расход рабочей жидкости с погрешностью, не превышающей 3,5 %. Статистическая обработка данных расчетов и проведенных натурных испытаний показала, что максимальное расхождение значений теоретических и экспериментальных исследований не превысило 6 % в критических точках. Сопоставление результатов расчета и проведенных натурных испытаний указывает на достоверность проведенных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по докторской диссертации на тему: «Алгоритмы и методы регулирования режимов работы насосных станций» представлены следующие выводы:

1. Проведенный анализ режимов эксплуатации насосных станций показал, что одной из основных причин аварий на насосных станциях являются одновременные электромеханические или гидромеханические переходные процессы, осложненные гидравлическим ударом. В связи с этим важным становится проблема разработки способов и устройств защиты от гидравлического удара основного энергетического оборудования и трубопроводов насосных станций.

2. Разработана модель системы «трубопровод – насос – электродвигатель – электрическая сеть», позволяющая исследовать переходный режим энергосистемы при различных аварийных и эксплуатационных режимах: при изменении напряжения на шинах, аварийном отключении синхронного двигателя, авариях, связанных с насосом или в трубопроводе и т.д. При скачкообразном уменьшении мощности синхронного двигателя на 15% ($0.85P_{\text{дв}}$) устойчивость агрегата сохраняется, при этом электромагнитные процессы затухают относительно быстро, а гидромеханические процессы продолжаются около 140 с. При уменьшении мощности на 30% ($0.7P_{\text{дв}}$) агрегат попадает в режим длительных колебаний. Уменьшение мощности на 50% приводит к нарушению устойчивости двигателя и выходу из синхронизма.

3. Рекомендован программный комплекс, способный рассчитывать гидравлический удар на насосных станциях с трубопроводами диаметрами до 4,2 метра, который может в значительной степени влиять на выбор основного и вспомогательного энергетического оборудования, конструкцию и параметры водопроводящих сооружений. Получены свидетельства об официальной регистрации программ для электронно-вычислительных машин № DGU 03124 и № DGU 03644.

4. Рекомендовано использование перепускного устройства на напорных трубопроводах для уменьшения величины повышения давления при гидравлическом ударе. При работе перепускного устройства гидравлический удар в напорных трубопроводах протекает значительно мягче. При повышении давления в одной из ниток осуществляется сброс воды в соседние, а при понижении – переток воды из соседних. При этом гидравлический удар снижается в среднем на 40%, длительность понижения давления уменьшается более чем в 1,5 раза.

5. Рекомендовано разработанное на уровне полезной модели по Патенту № FAP 01119 устройство пропорционального управления насосом. Изменение скорости закрытия дискового затвора происходит плавно и пропорционально скорости течения жидкости в трубопроводе. Техническая характеристика логического контроллера программируется таким образом, что в момент смены в напорном трубопроводе прямой скорости подачи жидкости на обратную, т.е. в момент нулевой скорости жидкости, дисковый затвор полностью закрывается, что исключает возникновение гидравлического удара в основном энергетическом оборудовании и трубопроводах насосной или гидроэлектрической станции.

6. Рекомендован метод одновременной откачки фильтрационных, дренажных и сточных вод из зданий и из прилегающих территорий насосных и гидроэлектрических станций, отвечающий требованиям надежности и безопасности эксплуатации при увеличении притока сточных вод, связанного со сроком эксплуатации сооружений и напорных трубопроводов, а также возможными авариями и затоплениями гидроэнергетических объектов.

7. Результатом расчета параметров всасываемых потоков из здания и прилегающей территории насосной станции стал алгоритм регулирования гидравлической поплавковой системы. Анализ полученных зависимостей показал, что максимальная величина всасываемого расхода из прилегающей территории насосной станции достигается в области перекрытия дискового затвора регулирующего поплавкового устройства на угол около 40° – 45° .

8. Рекомендована разработанная на уровне полезной модели по Патенту № FAP 00592 система для одновременного удаления фильтрационных, дренажных и ливневых вод из прилегающей территории и из помещения насосной или гидроэлектрической станции, предназначенная для работы, как в стационарных режимах, так и при аварийных затоплениях.

9. Результаты работы внедрены в практику эксплуатации ряда насосных и гидроэлектрических станций. Выполненные комплексные экспериментальные исследования подтвердили адекватность разработанных методов и математических моделей. Максимальное расхождение теоретических и экспериментальных значений не превысило 6%, что указывает на достоверность проведенных исследований. Подтвержденная экономическая эффективность от внедрения результатов диссертационной работы составляет около 200 млн. сум в год.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD SCIENTIFIC DEGREE
OF DOCTOR OF SCIENCES 14.07.2016.T.02.01 AT THE TASHKENT
STATE TECHNICAL UNIVERSITY AND LIMITED LIABILITY COM-
PANY “SCIENTIFIC AND TECHNICAL CENTRE”**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

TITOVA JANNA OLEGOVNA

**ALGORITHMS AND METHODS OF REGULATION OF
THE PUMPING STATIONS OPERATING MODES**

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

ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION

Tashkent – 2016

The theme of the doctoral dissertation is registered at the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number 30.09.2014/B2014.3-4.T174

Doctoral dissertation is carried out at the Tashkent State Technical University.

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

Scientific consultant: **Allaev Kahramon Rakhimovich**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Tyagunov Mikhail Georgievich**
doctor of technical sciences, professor

Khashimov Arifjan Adilovich
doctor of technical sciences, professor

Kamalov Tolyagan Sirojiddinovich
doctor of technical sciences, professor

Leading organization: **“Gidroproject” JSC**

Defense of dissertation will take place on "25" November 2016 at 11-00 o'clock at a meeting of the scientific council 14.07.2016.T.02.01 at the Tashkent State Technical University and the Limited Liability Company "Scientific and Technical Centre". (Address: 100125, Tashkent, Durmon yuli str., 29, tel.: (99871) 262-05-22; fax: (99871) 262-09-19; e-mail: info@energetika.uz).

Doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Limited Liability Company "Scientific and Technical Centre" (registration number 03). Address: 100125, Tashkent, Durmon yuli str., 29, tel.: (99871) 262-05-22.

Abstract of the dissertation sent out on "09" November 2016 year.
(Protocol at the register No 14д dated "08" November 2016 year).

H.M.Muratov
Chairman of scientific council on award of
Scientific degree of doctor of sciences,
doctor of technical sciences, professor

O.O.Zaripov
Scientific secretary of scientific council,
doctor of technical sciences, associate professor

T.Sh.Gayibov
The chairman of scientific seminar under
scientific council, doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (summary of the doctoral dissertation)

The relevance and demanding of the dissertation the theme. Today in the world the significance of pumping stations in the energy sector, land reclamation, pumping of petroleum products, as well as housing and communal services is continuously increasing. In these industries to ensure reliability, continuity, high energy efficiency and flexibility of pumping stations work, as well as performance under transient conditions is actual. In order to achieve all of the above mentioned parameters the certain progress has been made in other countries of the world where modern pumping equipment is constantly updated and improved. "In this regard, the use of a popular high-tech specialized basic and auxiliary power equipment of pumping stations, prolonging the life of the pipeline system by 1.5-2 times is necessary"¹.

In the Republic of Uzbekistan, the large-scale activities on the effective organization of measures for the creation of energy-saving techniques and the control system of pumping stations operating modes are carried out. In this regard, the notable progress has been made in developing effective methods, techniques and devices to reduce the influence of electromechanical and hydro-mechanical transients on power equipment and pipelines of pumping stations. On the basis of controlled electric drive, the block diagrams and pumping units' control algorithms are developed, frequency variable systems "asynchronous motor - pump" are designed, a combined management structure of asynchronous motor in turbo-machines are developed.

In the world, the questions of reliability and uninterrupted operation of pumping stations during transient conditions, the creation of new techniques and technologies of protection of the power equipment and pipelines of pumping stations against sudden transients are becoming particularly important. In this area, the implementation of targeted research in developing the control methods of the steady and transient modes of pumping stations operation, creation of the main power equipment and pipelines protection devices against water hammer, creating technical solutions and improving the reliability of the auxiliary power equipment for the removal of drainage and wastewater are the priority problems.

This dissertation research to a certain degree performs the tasks provided in the Law of the Republic of Uzbekistan "On the Rational Use of Energy" (1997), the Decree of the President of the Republic of Uzbekistan № PD-2343 on May 5, 2015 " On the program to reduce energy consumption measures, the introduction of energy saving technologies in the fields of economy and social sphere for 2015-2019", decree of the Cabinet of Ministers № 499 dated November 16, 1999 "On Measures for the Implementation of the Law of the Republic of Uzbekistan "On the safety of hydraulic structures" as well as in other regulatory documents adopted in this area.

¹ <http://www.volnotex.ru/>.

Compliance research priority areas of science and technology of the Republic. Dissertation was performed in accordance with the priority direction for development of the science and technology of Republic II. "Energy engineering, energy and resource saving"

Overview of the international research on the dissertation theme². Researches aimed at the creation of algorithms and methods of regulation of pumping stations modes protecting from negative effects of electromechanical and hydro-mechanical transients are conducted in the leading research centers and higher educational institutions of the world, including Val-Matic Valve & Manufacturing (US), SIPOS Aktorik (Germany), GA Valves (UK), University of Cambridge (UK), Aalborg University (Denmark), Zhejiang University of Science and Technology (China), Moscow Power Engineering Institute (Russia), Tashkent State Technical University and LLC "Scientific and Technical Centre" (Uzbekistan).

As a result of researches carried out in the world to improve the algorithms and methods of control of pumping stations modes for protection against negative effects of electromechanical and hydro-mechanical transients a number of research results is received. They include following: principles of smoothing of water hammer pulsation at pumping stations and new air valves for pressure normalization are developed (Val-Matic Valve & Manufacturing USA); drives to ensure different closing speed for different parts of the valve stroke in the case of transients at pumping stations are designed (SIPOS Aktorik, Germany); automatic control valves, in which the output speed adjustment is performed separately for normal and emergency operation modes of the pumping stations are developed (GA Valves, United Kingdom); the modes of variable-frequency electric drives of pump sets through improved control algorithms are justified (University of Cambridge, UK); on the basis of the simulation of water hammer frequency control laws with scalar and vector control of speed of asynchronous motors at the pumping stations are created (Aalborg University, Denmark); pumping stations control algorithm with a proportional law of voltage regulation and a linear law of control frequency change in function of time is designed (Zhejiang University of Science and Technology, China); the theory and methods of study of irrigation pumping stations parameters are developed (Moscow Power Engineering University, Russia); mathematical models of the pumping stations transients at the electric motor after a short break, self-catering are developed (Tashkent State Technical University, Uzbekistan); rational structures of irrigation systems pumping stations control through variable frequency drives were built (LLC "Scientific and Technical Centre", Uzbekistan).

In the world on the development of intelligent algorithms and optimal control modes of large energy complexes and hydroelectric objects in a number of priority areas of research are carried out, including: the development of energy-

² Review of foreign scientific research on the topic of the dissertation is based on: <http://www.sipos.de/>, <http://www.gavalves.co.uk/>, <http://www.valmatic.com/>, Water Hammer in Pumped Sewer Mains. Aalborg, Denmark, 2012, 52p., Energy equipment for using untraditional and renewable energy sources. –M.: RES publishing house, 2004, 448p., <http://www.mpei.ru/> and other sources.

efficient, optimal and safe modes of pumping and hydroelectric plants operating; creation of algorithms and methods of regulation of pumping stations transients; formalization of the relationship of electromechanical and hydro-mechanical transients at pumping stations; ensuring of the reliability of the main and auxiliary pumping equipment of pumping and hydroelectric stations.

The degree of knowledge of the problem. Research questions of theoretical and practical tasks on creation of algorithms and methods of regulation of pumping stations modes, development of methods and devices to prevent abnormal situations during electromechanical and hydro-mechanical transients, the development of alternative methods for the removal of water from buildings and territories of pumping stations are studied in the works of many scientists: Don J. Wood (University of Kentucky), Larsen Torben (Aalborg University), Geraint Jewell (University of Sheffield), Hans-Georg Herzog (Technische Universität München), KT Chau (University of Hong Kong), V.I.Vissarionov, M.G.Tyagunov (Moscow Power Engineering University), B.S.Leznov (VNIIVODGEO), A.A.Khashimov (Tashkent State Technical University), T.S.Kamalov (LLC "Scientific-Technical Center"), V.A.Khokhlov (Research-and-production enterprise "Water Lifting").

Research works related to the development and implementation of impact assessment methods of electromechanical and hydro-mechanical modes, creation of calculation methods of work reliability, energy efficiency and regulation of modes of pumping stations as part of the energy systems and complexes are reflected in the works of scientists H.F.Fazilov, M.Z.Khamudkhanov, R.A.Zahidov, H.M.Muratov, M.M.Mukhammadiev, K.R.Allaev, T.Sh.Gayibov, Sh.Kh.Rakhimov, O.J.Glovatsky.

Research questions of optimization and control of operating modes of jet pumps of irrigation systems pumping stations are studied by E.A.Sokolov, N.M.Zinger, L.G.Podvidz, B.F.Lyamaev. It should be noted that the studies cover only part of the problems and insufficiently investigate issues of mutual influence of transient processes of different nature, taking into account the life of the main and auxiliary power equipment of pumping stations. To the problem of simultaneous removal of filtration, drainage and waste water from buildings and surrounding territories of pumping stations, was not given sufficient attention. Taking into account energy-efficient approach and the renovation of hydropower equipment, problems associated with the development of efficient, reliable and flexible algorithms and methods of research of transients occurring in pumps, motors, pressure pipelines and power grids are becoming more actual.

Connection of dissertation theme with research works, performed in the organization where the dissertation is done. The dissertation research is carried out within the framework of the plan of research works of fundamental and applied projects of the Tashkent State Technical University: F-2-33 "Identifying of patterns of energy efficiency mechanisms and mathematical modeling of pumping stations modes" (2012-2016), A-3-24 "Development of ways and protection devices from water hammer of main power equipment and pipelines of the pumping stations" (2015-2017).

The aim of the research is the creation of algorithms, methods, techniques and devices to reduce the negative influence of unsteady modes and sudden transients on the main and auxiliary power equipment and pipelines of pumping and hydroelectric stations.

The tasks of research work:

to establish a relationship of electromechanical and hydro-mechanical transients of pumping stations, taking into account the life of the pumping stations power equipment;

to develop methods of pumping stations operating modes regulation to protect the main power equipment and pipelines from water hammer at transients and to design devices for its implementation;

to substantiate scientifically and to develop mathematical model of simultaneous removal of filtration, drainage and sewage water from buildings and adjacent territories of pumping stations for flood protection;

to conduct field tests of operating modes of the pumping station equipment to verify the adequacy of the developed methods of calculation, to compare the field tests results with the results obtained in the developed software package;

to develop technical solutions and to implement devices for removing filtration, drainage and sewage water from buildings and adjacent territories at the existing pumping stations.

Objectives of the research are pumping and hydroelectric stations.

Subject of the research is a device of pump proportional control, a bypass device for protection against water hammer and a system of simultaneous removal of filtration, drainage and sewage water from buildings and adjacent territories of pumping or hydroelectric stations.

Methods of the research. In dissertation the methods of calculation based on the classical equations of Zhukovsky and Park-Gorev, the method of movements separation, the hydraulic machines theory, the reliability theory, the method of filtration resistance of flow balance, the methods of experiment planning are used.

Scientific novelty of the research consists in the following:

the algorithm of phased solving of electromechanical and hydro-mechanical transients at pumping stations, taking into account the duration of power equipment operation is developed;

the generalized mathematical model and software complex for calculation of "pipeline - pump - electric motor - electric grid" system elements, which allows to explore the power system transient processes during pumping stations transient modes are developed;

the new method of protecting of pumping stations pipelines against water hammer using the bypass device is substantiated;

the device of proportional control of the pump butterfly valve to improve the reliability of the pumping stations power equipment work is designed;

the method of simultaneous pumping of drainage and sewage water with different suction height by means of jet pump with the system of regulation is developed;

the regulated system of simultaneous removal of filtration, drainage and sewage water from buildings and adjacent territories of pumping and hydroelectric stations by means of jet pump to protect against flooding is developed.

Practical results of the research consist in the following:

the modes of operation and power consumption of large pumping stations are developed and implemented to improve the reliability and efficiency of pumping stations;

the new device of proportional control the butterfly valve is designed, new method of the bypass device using to protect the power equipment and pipelines of pumping stations against water hammer is developed and tested;

adjustable systems with jet pumps for simultaneous removal filtration, drainage and sewage water from buildings and adjacent territories of pumping and hydroelectric stations to protect against flooding are implemented at the pumping stations and at hydroelectric power station.

Reliability of the research results is substantiated by the comparison of the experimental results with calculations and theoretical data, is confirmed by comparative calculations of variants and the results of field tests, comparison with the results of other researchers, as well as the implementation of the results of research into the practice of pumping stations operation.

Scientific and practical value of results of the research. The scientific significance of the research is characterized by the fact that the usage of the research results will ensure reliable operation of the power equipment of pumping stations in operation in the event of sudden power outages and emergency flooding, and allow efficient use of water and energy resources.

The practical significance of the results of the work is to develop devices for the protection of the main and auxiliary power equipment from accidents and flood.

Implementation of the research results. On the basis of scientific results in the creation of algorithms and methods of regulation of pumping stations operating modes the following is done:

energy efficient methods and means of regulation of transient modes of operation of pumps and pumping stations, effective systems of reduction of water hammer in the pumping stations pipelines are implemented in a number of pumping stations of agricultural and water systems, including pumping stations number 1÷4 KMC of Direction of Exploitation of Karshi Main Canal and pumping stations DPS-1, DPS-2, DPS-3, "Khavast Gallakor" of Inter-provincial Direction of Exploitation of Pumping Stations "Mirzachul" (Certificate given by the Ministry of Agriculture and Water Resources of the Republic of Uzbekistan № 04/31-700 on June 28, 2016). Using research results allowed to reduce the electricity consumption for auxiliary needs of the pumping stations by an average of 4%;

adjustable system for simultaneous pumping of filtration, drainage and sewage water from buildings and territories of pumping stations with the help of jet pumps, are implemented in a number of pumping stations of agricultural and water systems, including the pumping stations "Turkistan 1-1", "Turkistan 1-2" of Namangan Direction of Pumping Stations Energy and Communications, at the pump-

ing stations "Pakhtakor", "Guvalak" of Kashkadarya Direction of Pumping Stations Energy and Communications, at the pumping stations "Karayantag", "DM-1" of Jizzakh Direction of Pumping Stations Energy and Communications, at the pumping station "M-2-2" of Karshi Direction of Exploitation of Small Pumping Stations (Certificate given by the Ministry of Agriculture and Water Resources of the Republic of Uzbekistan № 04/31-700 on June 28, 2016). Using of scientific results allowed implementing energy-efficient jet pumps, payback of which is 1 year, that is 6.5 times more effective than normative payback period;

algorithm of phased solutions of electromechanical and hydro-mechanical transients of pumping stations, taking into account the duration of the power equipment operation, the program of identification and calculation of water hammer in pumping stations pressure pipelines, a generalized mathematical model of the relationship of "pipeline - pump - electric motor - electric grid" system elements were used to determine the energy parameters at transients performing project OT-F5-036 "Formalization of the relationship of electromechanical and hydro-mechanical transients in the energy brunch" (2007-2011). (Certificate given by the Committee for Coordination of Science and Technology of the Republic of Uzbekistan № FTK-03-13/700 on October 20, 2016). Using the results of scientific researches allowed reduction of the negative influence of unstable modes and sudden transients on the main and auxiliary power equipment and pipelines of pumping stations. Water hammer intensity decreased by 40%, the duration of the pressure reduction decreased 1.5 times.

Approbation of the research results. The main results of the dissertation were presented at 11 scientific conferences, including 6 international: the international scientific-technical conference "Problems of highly skilled employees education for agricultural and water system" (Tashkent, 2009); the international scientific-technical conference "Problems of formation and implementation of innovative technologies in the context of globalization" (Tashkent, 2010), international scientific and practical conference "Current state and prospects of development of energy" (Tashkent, 2011), the international Innovation forum «From Innovative Ideas to Innovative Economy» (Tashkent, 2015), the international scientific-practical conference "Science progress at the Millennium" (Prague, 2016), the international scientific and practical conference "Actual problems of modern science and the ways of their solution" (Moscow, 2016) and 5 national conferences.

Publication of the results. Main results and position of the dissertation are presented in 30 published works, including 5 monographs, 1 manual, 2 utility models, 2 certificate of registration of the software product, as well as 12 articles published in scientific and technical journals recommended by the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of basic scientific results of doctoral dissertations, including 2 articles published in Germany and 1 article in the Russian Federation.

Structure and volume of dissertation. The dissertation consists of an introduction, five chapters, conclusion, list of references, and applications. The volume of dissertation is 196 pages.

THE MAIN CONTENTS OF DISSERTATION

In the introduction the actuality and demand of the theme of the dissertation are based, the purpose and problems are formulated, the object and subject of study are identified, the appropriate research priority areas of science and technology of the Republic are determined, scientific novelty and practical results of the study are presented, the validity of the results is justified, theoretical and practical importance of the obtained results are disclosed, the list of implementation of the research results in practice is shown, the results of testing work, information on published papers and the dissertation structure are presented.

In the first chapter of the dissertation "**System analysis of the current state of the problem of operation modes and energy consumption of pumping stations**" the current state of operation modes and energy consumption of pumping stations based on the life of the main and auxiliary power equipment is disclosed.

The data of actual operation and power consumption and pumping stations in the context of regional and inter-regional directorates of pumping stations, energy and communication, taking into account the duration of exploitation of the main and auxiliary power equipment are analyzed. The survey showed that more than half of all electromechanical and hydro-mechanical equipment of pumping stations had exhausted their guaranteed resource.

As the literature review showed, considerable research related to the selection of safe and optimal operating conditions and to ensuring the rational use of electrical energy of irrigation pumping stations, control of operating modes of the pumping stations of irrigation systems and pipelines are carried out.

Electromechanical transients of synchronous and asynchronous motors are described by classical equations of the Park-Gorev and hydro-mechanical transients – by differential equations of elastic and rigid water hammer, which is based on classical works of N.E.Zhukovsky.

We have found that sufficient studies of mutual influence of electromechanical and hydro-mechanical transients occurring in pumps, motors, pressure pipelines and electrical grids in view of duration of exploitation of all equipment complex had not been carried out. But they at an increased pressure pipe length can have a decisive influence on the safety and reliability of power station equipment.

The most adverse effects occur during transients associated with a sudden emergency stop of the main pumping units. This gives the largest water hammer in the pressure pipe and the highest speed of the pump units reverse rotation.

For example, on the biggest Karshi stage of pumping stations for the previous 5 years annually about twenty unscheduled electricity outages happened. Each of these outages led to significant losses from occurring transient and water hammer.

When electricity outage on January 23, 2013 happened and all 29 working pump units with capacity of 12.5 MW each had were turned off the damage amounted to 597 million sums. The worst effect of such events is the lack of irrigation water during the growing season, leading to significant losses from reduced agricultural yields. After upgrading the power system equipment and the imple-

mentation of the recommendations for its safe operation the number of outages at Karshi stage in 2015 reduced from twenty to four per year.

Thus, it becomes necessary to establish evidence-based algorithms, methods, techniques and devices for reduction of the negative influence of unsteady regimes and sudden transients on the main and auxiliary power equipment and pipelines of pumping and hydroelectric plants.

In the second chapter of the dissertation "Algorithms of the phased solution of the equations of electromechanical and hydro-mechanical transients at the pumping stations" algorithms of solutions of equations of processes occurring in the elements of electric power systems containing pumping or hydroelectric stations are developed. These processes differ greatly among themselves, due to their different inertial properties.

Electric power systems transients associated with electromagnetic processes, such as short circuits, occur during a split second. The modes associated with electromechanical and hydro-mechanical processes can take tens of seconds or several minutes. This circumstance requires choosing equation components for the corresponding parameters being interfaced as the system "pipe - pump - engine - electric network" should be considered as a whole, taking into account the mutual influence of all these elements.

To control the system modes, it is necessary to simplify the mathematical models that describe the behavior of the system elements. System of differential equations may have time constants of a different order. Then a possibility of separation movements in the fast and slow will appear.

We consider electromechanical processes, taking into account regulation valves, and sometimes taking into account fluctuations in the water level upstream and in pipeline. Accordingly, they may lead to fluctuations in the synchronous motor of the pumping station and the emergency of long-term transients, that last tens and hundreds seconds.

The general mathematical model of the energy systems of emergency transient modes accounted slow and took for calculating electromechanical processes into account the distribution of the parameters of extended objects such as power lines, pipelines of pumping stations. Electromechanical processes considered in conjunction with vibrations of rotors of revolving machines and the processes occurring in the hydro-mechanical parts of the rotating units.

A system of equations, which will analyze the different modes that occur in the system, and determine the impact of these changes on the regime parameters and elements. The overall system consists of the following equation:

The overall system consists of the following equation:

- Motion equation of an incompressible fluid in the pipeline,

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{gS} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\lambda}{d} \frac{1}{S^2} \frac{Q|Q|}{2g} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{c^2}{gS} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

where: S – the cross sectional area of the pipeline; d – diameter of the pipeline; λ – pipeline resistance coefficient.

- Equations of motion of the machine, including the pump and electric drive:

synchronous motor:
$$T_{JC} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = M_{\text{ДБ}} - M_{\text{МЭХ}}, \quad (3)$$

asynchronous motor:
$$T_{JA} \frac{ds}{dt} = M_{\text{ДБ}} - M_{\text{МЭХ}}, \quad (4)$$

- The equations of electric moments of the pump motor:

synchronous motor:
$$M_{\text{ДБ}} = \frac{E_q U_c}{X_{d\Sigma}} \sin \delta + \frac{U^2 (X_d - X_q)}{2 X_{d\Sigma} X_{q\Sigma}} \sin 2\delta, \quad (5)$$

asynchronous motor:
$$M_{\text{ДБ}} = M_{\text{ДБ}}^M \frac{2(1 + s_{kp})}{\frac{s}{s_{kp}} + \frac{s_{kp}}{s} + 2s_{kp}}, \quad (6)$$

pump hydraulic moment:

$$M_{\text{МЭХ}} = M_{\Gamma} - M_{\text{ТП}}, \quad M_{\Gamma} = \frac{\rho \eta Q H}{\omega}, \quad M_{\text{ТП}} = (0,03 - 0,07) M_{\Gamma} \text{sign}(n); \quad (7)$$

- The equation of synchronous motor excitation regulators.

$$T_e \frac{dE_{qe}}{dt} = E_{q0} - E_{qe} + v, \quad T_p \frac{dv}{dt} = e - v, \quad (8)$$

$$e = \sum_1^m (K_{0\Pi} \Pi_i + K_{1\Pi} \frac{d\Pi_i}{dt} + K_{2\Pi} \frac{d^2 \Pi_i}{dt^2}), \quad (9)$$

To solve these equations, the appropriate mathematical expressions relating the mode parameters were used.

These equations have allowed to investigate transients of the pumps for various emergency and operating conditions: when changing the voltage on the buses, emergency shutdown of the synchronous motor, accidents associated with the pump or in the pipeline, etc.

Algorithms of phased solution of electromechanical and hydro-mechanical transients, identifying and calculating the water hammer in the pipelines of pumping stations. The block diagram of algorithm is shown in Fig. 1.

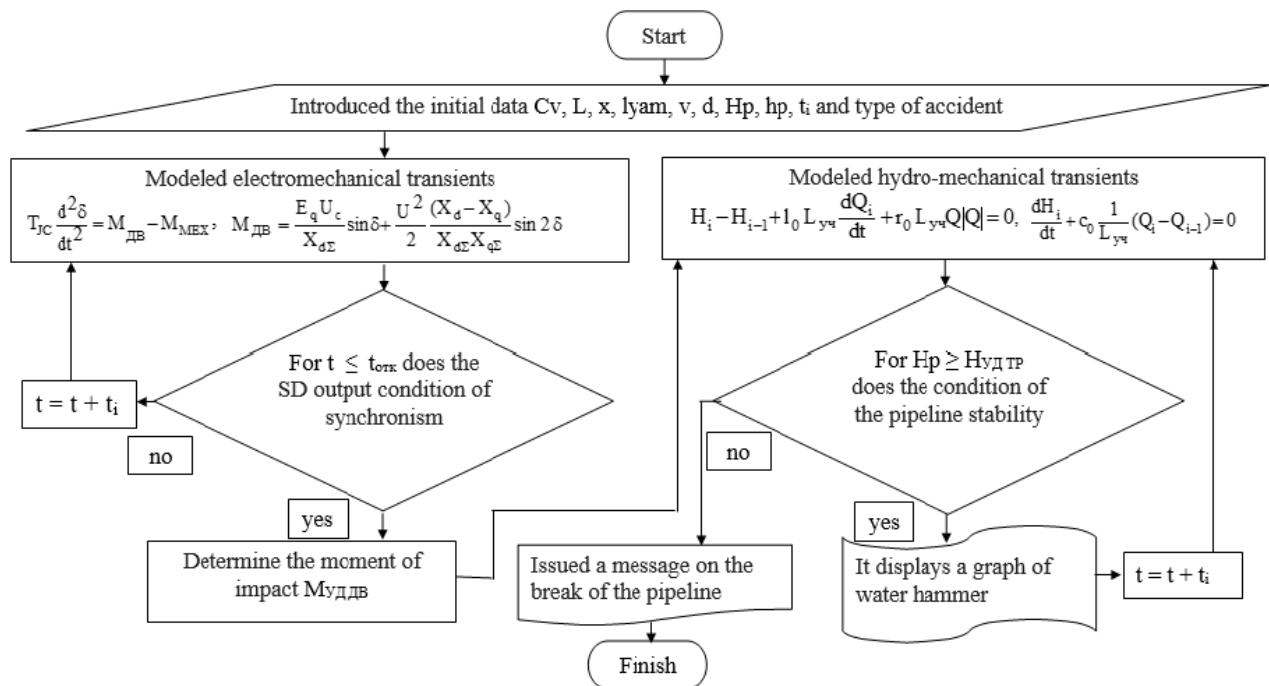


Fig. 1. Block diagram of the algorithm of phased solution of electromechanical and hydro-mechanical transients at pumping stations

The software package was tested in the mathematical modeling of the overflow device, that helps to prevent water hammer in order to increase the durability of pipelines and save electricity consumption. Program can be used in carrying out research works and in the educational process.

In the third chapter of the dissertation "**Numerical and experimental investigation of transients in hydropower plants**" the results of studies of transients in hydropower plants are presented. Namely it is the study of hydro-mechanical processes in pipes and hydraulic machines and the study of electromechanical processes in the hydro-generators and in the power system.

Transients are characterized by a significant increase in dynamic loads on equipment items. Equipment vibration greatly increases with the intensity of the hydrodynamic pressure fluctuations on the walls of the flow path of hydraulic unit, which can lead to catastrophic consequences.

Dynamic processes in the pipeline network are described by known from hydraulics propagation equations (1) and (2) where the line with distributed parameters is replaced by system of equivalent four poles with concentrated parameters. Pipeline network can be represented by areas with constant length, diameter and material properties of the pipe. Then for the i -th section of the pipeline pressure and flow equations are of the form:

$$H_i - H_{i-1} + l_0 L_{yч} \frac{dQ_i}{dt} + r_0 L_{yч} Q|Q| = 0, \quad (10)$$

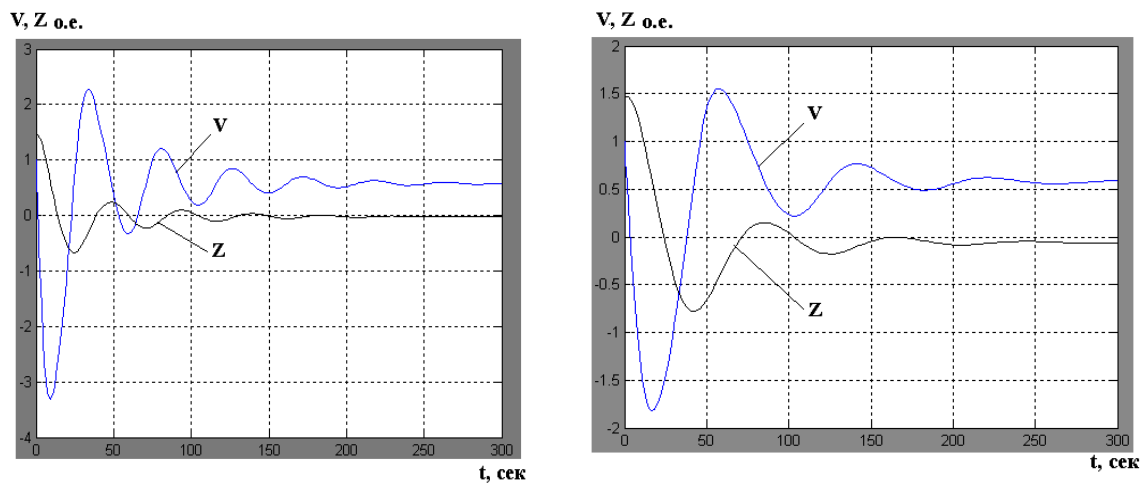
$$\frac{dH_i}{dt} + c_0 \frac{1}{L_{yч}} (Q_i - Q_{i-1}) = 0, \quad (11)$$

where: $r_0 = \frac{\lambda}{S^2 d} \frac{1}{2g}$, $c_0 = \frac{c^2}{Sg}$, $l_0 = \frac{1}{Sg}$ – the specific resistance of the pipeline section;

$H_i, Q_i, H_{i-1}, Q_{i-1}$ – head and flow at the outlet and inlet i -th pipeline respectively; L_{yq} – the length of the pipeline section.

These equations are used for transient analysis of the entire system "pump - pipeline - electric motor - the electric grid."

Fig. 2 shows the results of modeling the transients in the system "pipeline - upstream" from which it is seen that reduction in the length of pipeline results in an increase of the oscillation frequency and the oscillations amplitude of the water mass. The transition process lasts about 300 s, and decreasing of the pipeline length leads to multiple increases of the pressure and velocity.



The calculations were performed under the following parameters:

A) $L=1500$ m, B) $L=500$ m, $H_1=55$ m, $\lambda=0.02$, $F=13$ m²

Fig. 2. Transitional hydro-mechanical processes of the system "Pipeline - upstream"

Sudden shut-downs of the pump unit motor are the result of short circuit in the rotor, stator circuits of the machine or in the power system, pumping station near the bus-bar and are emergency processes.

Fig. 3 shows characteristics of the transition process in case of sudden power shut-down from the grid. The fluctuations of water flow rate in the pipeline, pressure and rotation speed of the unit rotor at the pumping station "Hamza-2" of Amu-Bukhara mechanized irrigation canal are calculated. Length of pipeline is 1,500 m, diameter 4.2 m, working head – 55 m and an initial flow velocity – 2 m/s.

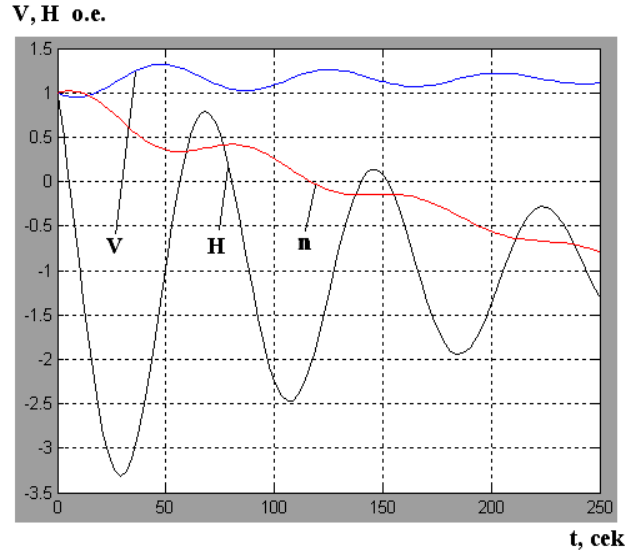


Fig. 3. Transients in the system "pipeline - upstream" at the sudden shut-down of synchronous motor of pumping station

The main feature of these processes consists in the fact that they occur at varying unit rotation speed, resulting in fluctuations of electromagnetic and hydro-mechanical parameters.

Electromagnetic moments of synchronous motor are determined by the formula:

$$M_C = x_{ad}[i_{qC}(i_f + i_{ld}) - i_{dC}i_{lq}](1 + s_k); \quad (12)$$

In order to simplify the calculations, the electromagnetic and hydro-mechanical moments are replaced by the corresponding power data, i.e. $M_{\Delta B} = P_{\Delta B}$ and $M_{HAC} = P_{HAC}$.

Generalized system of equations of electricity and hydro-mechanical system is presented in the form of:

- Flow equation:

$$\frac{dQ}{dt} = (H_{i-1} - H_i - r_0 L_{yq} Q |Q|) / L_{yq}, \quad (13)$$

- Pressure equation:

$$\frac{dH}{dt} = -c_0 \frac{1}{L_{yq}} (Q_i - Q_{i-1}), \quad (14)$$

- Synchronous motor equations:

$$\frac{d\delta}{dt} = s, \quad (15)$$

$$\frac{ds}{dt} = \left(\frac{314}{T_{JC}}\right)(P_{\Delta BC} - P_{HAC}), \quad (16)$$

- Equations of excitation regulator of synchronous motor, respectively:

- Electromotive force transition:

$$\frac{dE'_q}{dt} = \left(\frac{1}{T_{d0}}\right)(E_{qe} - E_q), \quad (17)$$

- Voltage on the rotor rings:

$$\frac{dE_{qe}}{dt} = \left(\frac{1}{T_e}\right)(E_{eq0} - E_{qe} + v), \quad (18)$$

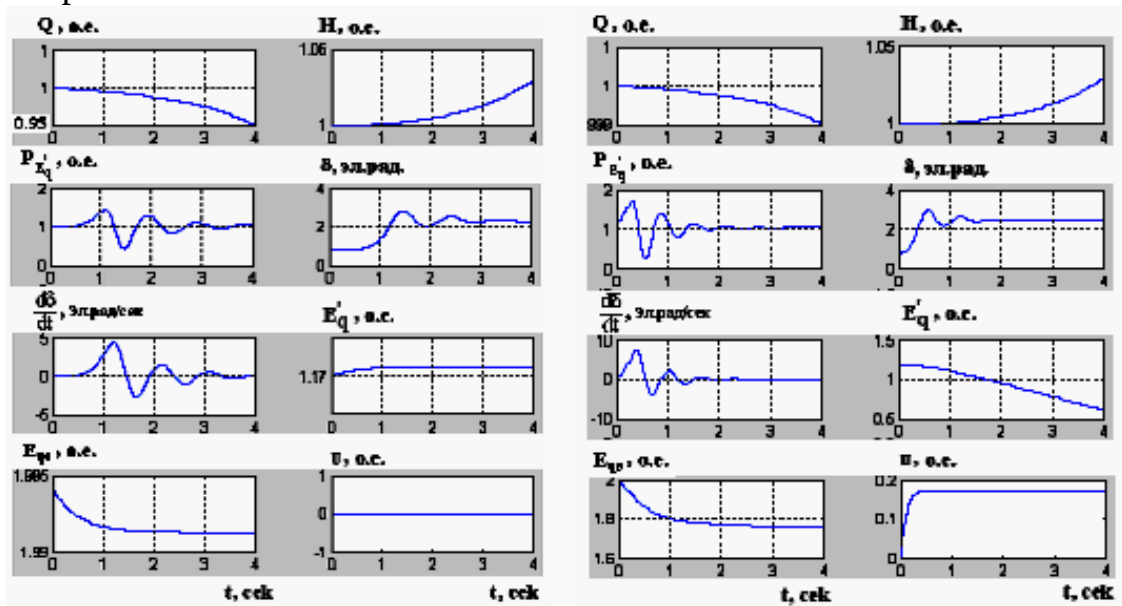
- Voltage at the input of the exciter:

$$\frac{dv}{dt} = \left(\frac{1}{T_p}\right)(e - v). \quad (19)$$

The joint solution of equations (12) - (19) made it possible to conduct a comprehensive analysis of the transients of the system "pipeline - pump - electric motor - the electric network."

It was determined that one of the difficult modes is the reduction of voltage on the station busses, especially on the system busses. Fig. 4 shows the characteristics of transients at voltage drop on the system busses by 2%. Analysis shows that the voltage drops on the system buses for more than 8% may breaks synchronism of the synchronous motor.

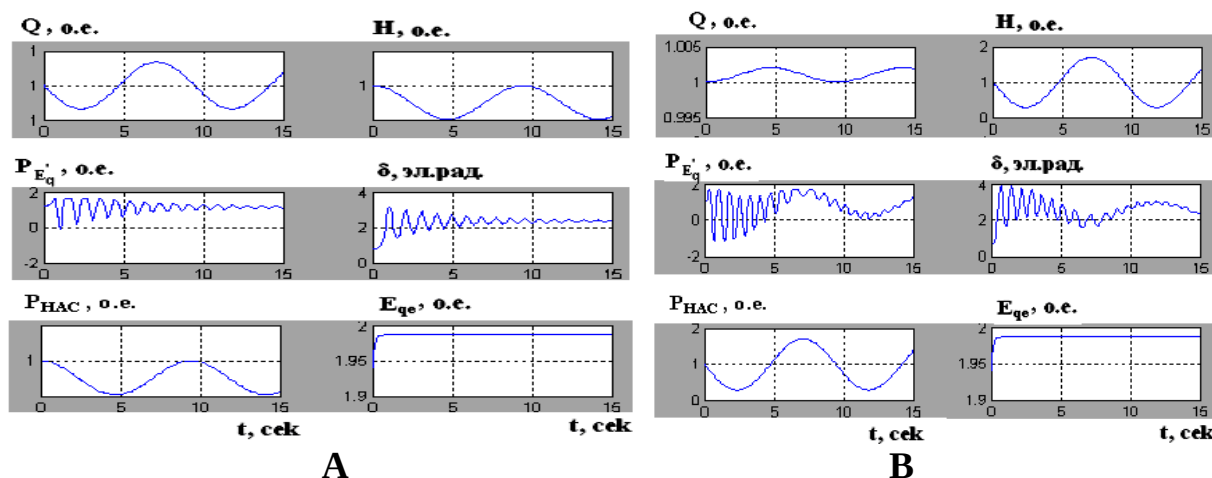
It is seen from the curves that the character of hydro-mechanical transients a few changes – namely, flow rate is reduced, while the pressure increases. This is explained by the fact that the driving force - the torque of the machine is reduced, and the pressure increase is connected with the flow inertia.



A) ART disabled K0U = 0; B) ART on, K0U = 5 units.

Fig. 4. Transition electric and hydro-mechanical processes at low voltage on the system busses by 2%

The cases of intermittent reduction of the power of synchronous motor (Figure 5) are examined: reduction by 15% – aggregate stability is preserved, while the electro-mechanical processes decay quickly and hydro-mechanical processes continue about 140 s; 30% – the unit enters the mode of long-term fluctuations; 50% – resulting in a violation of the stability of the electric motor and the break of its synchronism.



A – engine power is reduced by 15%,
B – engine power is reduced by 30%

Fig. 5. Transients at the intermittent change of load on the pump unit shaft

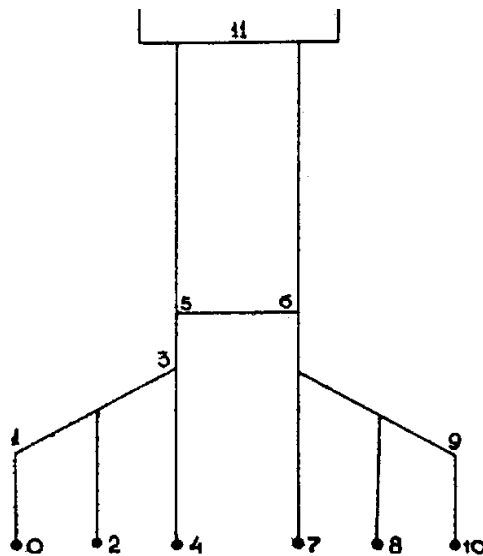
The results can be used to justify the construction of the power equipment and pipelines, as well as in technical and economic calculations.

In the fourth chapter of the dissertation, "**Technical means of protection of the main power equipment and pipelines pumping stations from the water hammer**" the effective devices for the protection of pumping stations main equipment and pipelines are offered. They are: bypass device and the device of the pump butterfly valve proportional control.

The use of the known bypass device that connects two or more pressure pipelines for a new purpose is proposed. It is used to reduce the amount of pressure increase at water hammer. The analysis of water hammer proceeding at the pumping stations equipped bypass device, showed that pressure increase in one of the pipelines, with open bypass, will lead to the water escape to the adjacent pipelines, and the reverse process occurs at low pressure – the flow of fluid from adjacent pipelines.

Figure 6 shows a diagram for the problem. Each pressure system of the pumping station includes several pumps, pipelines and outfalls.

We have adopted a form of four-quadrant variables of pump performance $H/\beta^2 = f_1(Q/\beta)$ and $M/\beta^2 = f_2(Q/\beta)$, obtained on the basis of the theory of pumps similarity (where β - relative rotor speed).



0,2,4,7,8,10 - pumps; 1,3,9 - places of change of the pipe diameter;
5,6 - the places of bypass device; 11 - outfall.

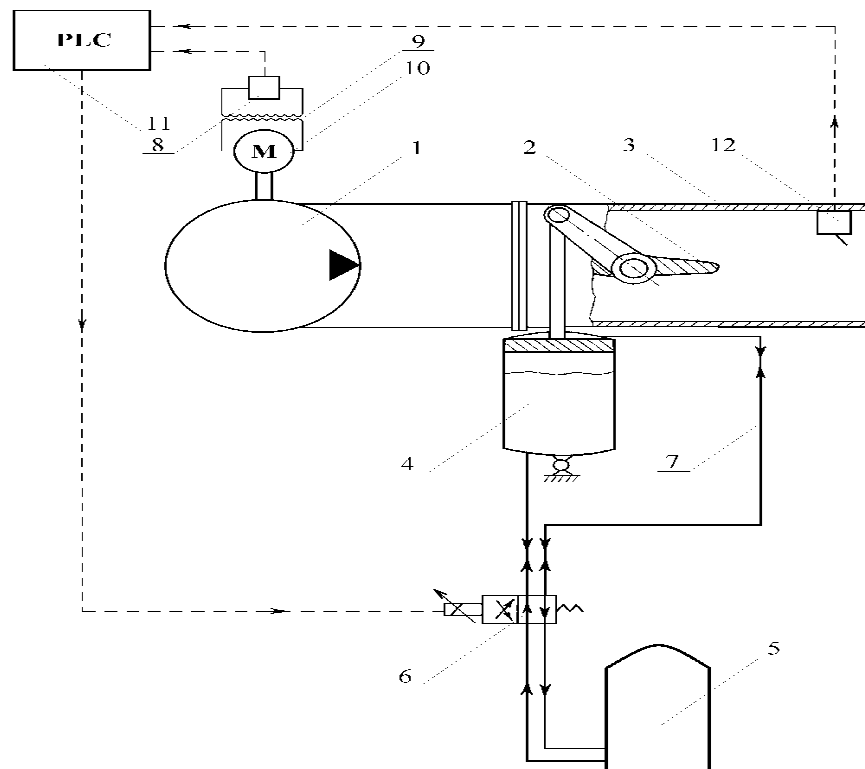
Figure 6. Diagram of the pressure system of the pumping station

Analysis of the transition process dependent variables led to the conclusion that the value of pressure fluctuations at the bypass decreased by 20 m, and the value of water hammer decreased by 40%. The duration of the pressure reduction decreased by more than 1.5 times.

Field tests under study transients were carried out at the pumping station. Their analysis suggests that the bypass device is quite effective means of protecting pressure pipelines and pumps against water hammer.

In the dissertation the development of a proportional device of butterfly valve control for the protection of the pumping stations against water hammer is substantiated. The reduction of the butterfly valve closing time contributes to a more rapid taking of the working pump out of cavitation zone. Also vibration characteristics of a disabled pump will be improved by reducing the magnitude and duration of its reverse rotation, as the vibration characteristics of the pressure pipeline will be improved, by reducing the pressure pulsations caused by the pump operation in the cavitation mode and in the reverse mode.

To proportional closing of pump butterfly valve for the purpose of protection against water hammer the device of pump control using the modern advances of digital proportional hydraulics is developed (Fig. 7). The utility model Patent number FAP 01119 is taken out.



1 - pump 2 - butterfly valve, 3 - pressure pipe, 4 - servo-cylinder, 5 - oil pressure unit, 6 - the proportional directional spool valve, 7 - oil line, 8 - the sensor of emergency stops of the electric drive, 9 - stator winding of the electric drive, 10 - electric drive, 11 - programmable logic controller, 12 - digital velocity sensor

Fig. 7. Scheme of the proportional pump control device

A device comprises a butterfly valve actuator, oil pressure unit, directional spool valve, the oil line with a throttle sensor and an emergency shutdown of the pump is provided with a digital velocity sensor in the pressure pipe as well as programmable logic controller, and the directional spool valve is designed in controlled proportional form.

Change of butterfly valve closing speed is occurring smooth and proportional to flow velocity in the pipeline. Technical characteristics of the programmable logic controller is programmed in such a way that when the liquid direct velocity changes in the pressure pipe to the reverse, i.e. at the moment of zero liquid velocity, fixed by a digital velocity sensor, butterfly valve is fully closed.

Application of the device of the pump proportional control eliminates the possibility of water hammer and reverse pump speed during emergency electricity shut down, saves the consumed electricity, increases the reliability and efficiency of the pumping station.

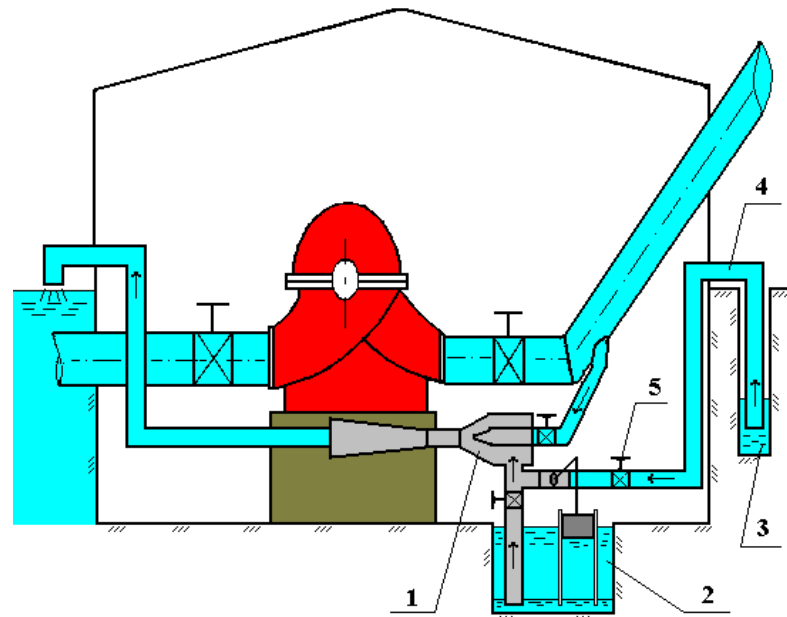
In the fifth chapter of the dissertation "**Regulation of modes of auxiliary pumping systems of filtration, drainage and sewage water pumping from the buildings and territories of pumping and hydroelectric stations**" designed adjustable simultaneously pumping system of filtration, drainage and sewage water from buildings and territories of pumping and hydroelectric plants with the help of jet pumps are designed and its modes for flows with different suction heights are determined.

Very important auxiliary power equipment is the drainage equipment. As a result of flooding and emergency electricity shut down the drainage pumps, in fact, are the first to be subjected to failure. The dissertation describes a number of serious flooding of the pumping stations buildings and territories due to the electricity shut downs since all the auxiliary equipment at this moment is off.

Due to the constant increase of sewage water from the territory associated with duration of stations and pressure pipelines exploitation the leakage water through the walls of the station building drains inside the building via channels with electrical cables, which may cause accidents and floods.

At the research-and-production enterprise "Water Lifting" with the assistance of the authoress of dissertation the new device for the simultaneous pumping of filtration, drainage and sewage waters from buildings and territories of pumping and hydroelectric stations is developed. The utility model Patent number FAP 00592 is taken out. The device comprises a drainage hole in the territory, drainage well in the station building where the jet pump with a suction pipe, butterfly valve, connected via a lever with a load-float are located.

The proposed system is shown schematically in Fig. 8. At the average value of the water flowing into the drainage well the load-float is positioned so that cinematically associated with it butterfly valve is in the half-closed state. In this case the jet pump removes all of the water flowing into the drainage well and pumps water out of the drainage hole, lowering the water level to a certain value.



1 - system with a jet pump; 2 - drainage well in the building station;
3 - drainage hole at the station; 4 - additional pipeline; 5 - additional valve.

Fig. 8. A system for the simultaneous removal of filtration, drainage and sewage water from adjacent territory and the building of pumping or hydroelectric station

The butterfly valve, which is exerted by the load-float, depending on the water level in the drainage well produces a redistribution of the water flow sucked from out of drainage well and drainage hole. The mandatory condition is pumping

all of the water flowing into the drainage well that provides safety work of drainage system and impossibility of station building flooding.

Application of the system for the simultaneous removal of the filtration, drainage and sewage water from the building and adjacent territory of the pumping or hydroelectric station provides hydraulic automation of the water pumping process, increases its reliability and efficiency.

In the system of pumping there is a mixture of three flows: the workflow – out of the pressure pipeline, and two suction flows: out of drainage well – with the initial negative suction height and out of the drainage hole - with initial positive suction height. Laws of flows mixing occurring in such a system have not been described mathematically.

The processes occurring in the jet pump at mixing of three flows as well as the processes of regulating of the pumping system by means of a load-float are formalized. Calculation scheme of regulated pumping system is shown in Fig. 9.

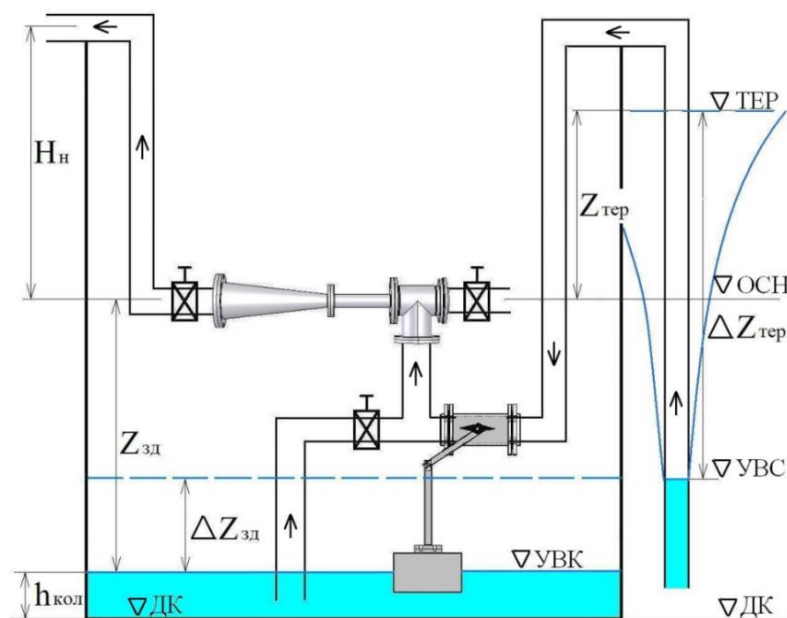


Fig. 9. Calculation scheme of regulated pumping system of filtration, drainage and sewerage water from the building and adjacent territory of pumping station

Suction from drainage well in the station building is:

$$H_{B \text{ здан}} = \nabla УБК - \nabla ОСН - \Delta h_{\text{здан}} = \nabla ДК + h_{\text{кол}} - \nabla ОСН - \Delta h_{\text{здан}} \quad (20)$$

where: $\nabla УБК$ – watermark in the drainage well; $\nabla ОСН$ – mark of the axis of the jet pump; $\nabla ДК$ – mark of the bottom of the drainage well; $h_{\text{кол}}$ – depth of water in the well, a variable that depends on the flow of water into the drainage well $Q_{B \text{ здан}}$; $\Delta h_{\text{здан}}$ – head loss in the suction pipeline located in the building.

Suction height from the drainage hole in the territory is:

$$H_{B \text{ тер}} = \nabla УВС - \nabla ОСН - \Delta h_{\text{тер}} - \Delta h_{\text{диск}} = \nabla ДК + H_0 - S_c - \nabla ОСН - \Delta h_{\text{тер}} - \Delta h_{\text{диск}} \quad (21)$$

where: $\nabla УВС$ – watermark in the drainage hole; $\Delta h_{\text{тер}}$ – head loss in the suction pipeline located in the territory; $\Delta h_{\text{диск}}$ – head loss in the butterfly valve.

Head losses are determined by the formulas of hydraulics:

$$\Delta h_{з\partial an} = \lambda \frac{8l_{з\partial an}(Q_{Bз\partial an})^2}{\pi^2 g d_{з\partial an}^5}, \Delta h_{тер} = \lambda \frac{8l_{тер}(Q_{Bтер})^2}{\pi^2 g d_{тер}^5}, \Delta h_{диск} = \xi_{диск} \frac{8(Q_{Bтер})^2}{\pi^2 g d_{тер}^4} \quad (22)$$

The value of the minor loss coefficient $\xi_{диск}$ is variable and depends on the angle α of the closing disk of butterfly valve.

At angles α from 0 to 50° value of the minor loss coefficient is approximated by a polynomial of the sixth degree:

$$\xi_{диск} = 9,4 \cdot 10^{-11} \alpha^6 + 3,56 \cdot 10^{-7} \alpha^5 - 2,47 \cdot 10^{-5} \alpha^4 + 6,81 \cdot 10^{-4} \alpha^3 - 5,0 \cdot 10^{-3} \alpha^2 + 4,24 \cdot 10^{-2} \alpha + 0,097, \\ \text{at angles } \alpha \text{ from } 50^\circ \text{ to } 90^\circ - \text{ by a polynomial of fourth degree:} \\ \xi_{диск} = 0,0155 \alpha^4 - 3,502 \alpha^3 + 296,965 \alpha^2 - 11181,76 \alpha + 157675,6 \quad (23)$$

The value of the reliability of the approximation was $R^2 = 0,99$.

In turn, the angle of the closing disk of butterfly valve float control device depends on the water depth in the well and the geometric parameters of the lever.

A mathematical model of the hydraulic regulation of jet pump during pumping of flows with different suction heights has the form:

$$z_{тер} + \frac{8Q_{Bтер}^2}{g\pi^2 d_{тер}^4} \left(1 - \frac{\lambda_{тер} l_{тер}}{d_{тер}} - \xi_{диск} \right) = z_{з\partial an} + \frac{8Q_{Bз\partial an}^2}{g\pi^2 d_{з\partial an}^4} \left(1 - \frac{\lambda_{з\partial an} l_{з\partial an}}{d_{з\partial an}} \right) \quad (24)$$

It determines the amount of jet pump suction flow rates from the building and territory of pumping station.

$$Q_{Bтер} = \sqrt{\frac{z_{з\partial an} - z_{тер} + \frac{8Q_{Bз\partial an}^2}{g\pi^2 d_{з\partial an}^4} \left(1 - \frac{\lambda_{з\partial an} l_{з\partial an}}{d_{з\partial an}} \right)}{\frac{8}{g\pi^2 d_{тер}^4} \left(1 - \frac{\lambda_{тер} l_{тер}}{d_{тер}} - \xi_{диск} \right)}} \quad (25)$$

The results of calculation of the system parameters made according to the developed mathematical model, conducted by the example of the pumping station "M-2-2" of the Kashkadarya region are shown in a graphic based on Fig. 10.

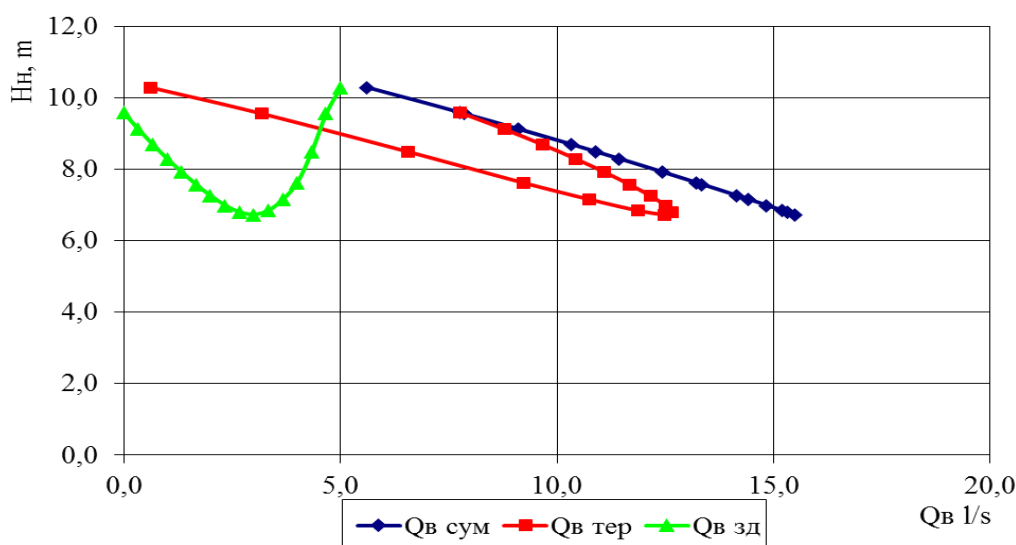


Fig. 10. The pressure dependence of the jet pump on suction flow rate from the building and from the territory of the pumping station

As can be seen from Fig. 10 pressure dependence of the total suction rate, which has the name of the operating characteristics of the jet pump, has a slightly downward shape facing convexity upwards. This shape is typical of the performance of jet pumps and was obtained in previous studies.

However, when considering separately dependences of the jet pump head on suction flow rate from the pumping station building and dependences of the jet pump head on suction flow rate from the pumping station territory, it can be noted that the characteristics have different contours. Characteristics face convexity downwards and have minimum points. Modes of operation of the jet pump, corresponding to these minima, have the lowest heads and therefore are the most energy efficient.

The new devices were implemented at the pumping stations "M-2-2", "Pakhtakor", "Guvalak" of the Kashkadarya region, PS-2, PS-3, PS-4 of the Karshi Main Canal, "Karayantag" and "DM-1" of the Jizzakh region, "Turkistan 1-1" and "Turkistan 1-2" of the Namangan region as well as at the Charvak hydroelectric station.

The results of field tests of the new devices carried out at the pumping station "M-2-2" are presented in the dissertation. The developed jet pump test procedure and the employed means and methods of measurement allowed carrying out the measurements of the head with an error not exceeding 3%, the jet pump delivery and the working liquid flow rate with an error not exceeding 3.5%. Statistical analysis of the calculation data and carried out field tests showed that the maximum difference of values of theoretical and experimental studies did not exceed 6% at the critical points. Comparison of the calculation results and field test results indicates the accuracy of the research.

CONCLUSION

On the basis of research on the doctoral dissertation on the theme: "Algorithms and methods of regulation of the pumping stations operating modes" the following conclusions are presented:

1. Conducted systematic analysis of operation modes of pump stations showed that one of the main causes of accidents at the pumping stations is simultaneous electromechanical and hydro-mechanical transients, complicated by water hammer. In connection with this phenomenon the problem of development of methods and devices of the protection of the pumping stations main power equipment and pipelines against water hammer is becoming important.

2. A model of the system "pipeline - pump - electric motor - electric network", which allows investigating the power system transient modes at various emergency and operating conditions is developed: at changing the voltage on the buses, emergency shutdown of the synchronous motors, accidents associated with the pumps or pipelines, and so on. When an intermittent decrease in power of synchronous motor by 15% ($0.85P_{\text{mot}}$) unit stability is preserved, and the electromagnetic processes decay quickly and hydro-mechanical processes continue about 140s. By reducing power by 30% ($0.7P_{\text{mot}}$) unit enters the long-term fluctuations. Power reduction by 50% leads to the violation of the motor stability and to the break of its synchronism.

3. Software system capable to calculate water hammer on pumping stations with piping diameters up to 4.2 meters is recommended. It may greatly influence the selection of the main and auxiliary power equipment, the design and parameters of water conveyance structures. Certificates of official registration of programs for electronic computers number DGU 03124 and number DGU 03644 are taken out.

4. The use of bypass device at the pressure pipelines for reduction the amount of pressure increase at water hammer is recommended. When using the bypass device water hammer in pressure pipelines is considerably softer. When the pressure in one of the pipelines increases water escapes into the adjacent pipelines or when pressure decrease it causes water flow from adjacent pipelines. This reduces water hammer by an average of 40%, the pressure reduction duration reduces by more than 1.5 times.

5. The proportional device of butterfly valve control for the protection of the pumping stations against water hammer is recommended. The utility model Patent number FAP 01119 is taken out. Change of butterfly valve closing speed is occurring smoothly and proportionally to flow velocity in the pipeline. Technical characteristics of the programmable logic controller is programmed in such a way that when the liquid direct velocity changes in the pressure pipe to the reverse, i.e. at the moment of zero liquid velocity, fixed by a digital velocity sensor, butterfly valve is fully closed which eliminates the possibility of water hammer in the main equipment and pipelines during emergency electricity shut down at the pumping or hydroelectric station.

6. The method of simultaneous pumping of filtration, drainage and sewage water from buildings and adjacent territories of pumping and hydroelectric stations

is recommended. It meets the requirements of reliability and safety of operation at the increase of water flow associated with duration of stations and pressure pipelines exploitation.

7. The result of calculating of parameters of the suction flows from the building and the adjacent territory of the pumping station became the algorithm of regulation of hydraulic float system. Analysis of the dependences showed that the maximum suction flow rate out of the pumping station territory is attained in the area of overlap of butterfly valve regulating float device at an angle of about 40° - 45° .

8. The system of the simultaneous removal of the filtration, drainage and sewage water from buildings and adjacent territories of pumping and hydroelectric stations is designed and recommended. The utility model Patent number FAP 00592 is taken out. The device is designed to work in steady-state conditions and during emergency flooding.

9. The results of the dissertation are implemented into practice at a number of pumping and hydroelectric stations. Performed complex experimental studies confirmed the adequacy of the developed methods and mathematical models. Maximum discrepancy between the theoretical and experimental values does not exceed 6%, which indicates the accuracy of the studies. Proven cost-effectiveness of the implementation of the results of the research is about 200 mln. sums per year.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙҲАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Хохлов В.А., Хохлов А.В., Титова Ж.О. Регулирование режимов работы струйных насосов. - Т.: Fan va texnologiya, 2011. – 120 с.

2. Хохлов В.А., Хохлов А.В., Титова Ж.О. Неустановившиеся режимы работы насосных станций с длинными трубопроводами. - Т.: Fan va texnologiya, 2012. – 160 с.

3. Аллаев К.Р., Хохлов В.А., Сытдыков Р.А., Титова Ж.О. Электромеханические и гидромеханические процессы в гидроэнергетических установках. - Т.: Fan va texnologiya, 2013. – 264 с.

4. Хохлов В.А., Хохлов А.В., Титова Ж.О. Режимы работы насосных станций Джизакского каскада. - Т.: Fan va texnologiya, 2014. – 164 с.

5. Аллаев К.Р., Хохлов В.А., Сытдыков Р.А., Титова Ж.О. Электроэнергетические системы с крупными насосными станциями. – Т.: Iqtisod Moliya, 2015. – 174 с.

6. Хохлов В.А., Хохлов А.В., Титова Ж.О. Режимы работы насосных станций Каршинского каскада. Т.: Навруз, 2015. – 217 с.

7. Хохлов В.А., Титова Ж.О. Регулируемые струйные насосы для дренажной откачки из помещений насосных и гидроэлектрических станций // Научно-технический журнал «Гидротехническое строительство». - Москва, 2010. – №3. – С.18-21 (05.00.00; № 24).

8. Хохлов В.А., Титова Ж.О. Энергосберегающая инновационная технология одновременной откачки дренажных и сточных вод насосной станции // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2010. – №4. – С.32-35 (05.00.00; №16).

9. Хохлов В.А., Титова Ж.О. Математическая модель неустановившихся энергогидравлических режимов системы откачки фильтрационных, дренажных и сточных вод насосных станций // Журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». – Ташкент, 2011 - № 1-2. – С.54-60 (05.00.00; №21).

10. Титова Ж.О. Альтернативный источник энергии одновременной откачки дренажных и сточных вод насосной станции // Научно-технический журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». – Ташкент, 2012 - № 1-2. – С.144-147 (05.00.00; №21).

11. Титова Ж.О. Протекание гидравлического удара на насосных станциях, оборудованных перепуском // Научно-технический журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». – Ташкент, 2013 - № 1-2. – С.158-163 (05.00.00; №21).

12. Титова Ж.О. Повышение энергоэффективности насосных станций с длинными трубопроводами // Научно-технический журнал «Проблемы

энерго- и ресурсосбережения». – Ташкент, 2013 - № 1-2. – С.148-152 (05.00.00; №21).

13. Аллаев К.Р., Хохлов В.А., Титова Ж.О. Методы экономического регулирования энергетических и гидравлических режимов насосных станций // Научно-технический журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». – Ташкент, 2013 - № 3-4. – С.146-150 (05.00.00; №21).

14. Khokhlov V.A., Khokhlov A.V., Titova J.O. Means of preventing hydraulic shocks at pumping stations // European Applied Sciences. - Stuttgart. Germany, 2014 - № 10. – С.79-82 (05.00.00; №3).

15. Аллаев К.Р., Титова Ж.О. Программный комплекс выявления и расчета гидравлического удара в трубопроводах насосных станций // Научно-технический журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». – Ташкент, 2014 - № 1-2. – С.74-78 (05.00.00; №21).

16. Хохлов В.А., Титова Ж.О. Минимизация потерь энергии насосных станций // Научно-технический журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». – Ташкент, 2014 - № 4. – С.87-90 (05.00.00; №21).

17. Khokhlov V.A., Khokhlov A.V., Titova J.O. Energy saving methods of regulation of the pumping stations operating modes // European Applied Sciences. - Stuttgart. Germany, 2015 - № 12. – С.50-51 (05.00.00; №3).

18. Титова Ж.О. Исследования энергогидравлических режимов системы одновременной откачки дренажных и сточных вод насосных станций // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2015. – Спецвыпуск. – С.105-111 (05.00.00; №16).

П бўлим (II часть; II part)

19. Имамназаров О.И., Маматкулов Б.Х., Титова Ж.О., Хохлов А.В., Хохлов А.А., Хохлов В.А. Система для удаления фильтрационных, дренажных и ливневых вод из помещения и прилегающей территории насосной или гидроэлектрической станции. Патент Республики Узбекистан № FAP 00592 от 24.11.2010г.

20. Аллаев К.Р., Хохлов В.А., Титова Ж.О. Программа для расчета напора и скорости жидкости при гидравлическом ударе в напорных трубопроводах насосных станций. Свидетельство Республики Узбекистан № DGU 03124 от 05.05.2015г.

21. Хохлов В.А., Хохлов А.В., Титова Ж.О. Программа измерения расхода и расчета стока воды на насосных станциях. Свидетельство Республики Узбекистан № DGU 03644 от 05.04.2016г.

22. Аллаев К.Р., Титова Ж.О., Хохлов А.В., Хохлов В.А. Устройство пропорционального управления насосом. Патент Республики Узбекистан № FAP 01119 от 04.07.2016г.

23. Хохлов В.А., Титова Ж.О. Совершенствование конструкции вспомогательных дренажных систем насосных и гидроэлектрических станций / Сб. трудов республиканской научно-практической конференции

«Кишлок ва сув хужалиги ишлаб чиқариши учун юкори малакали кадрлар тайёрлаш муаммолари». – Ташкент, 2009. – С.234-235.

24. Титова Ж.О. Инновационная система для одновременной откачки фильтрационных, дренажных и сточных вод территорий и помещений насосных станций / Сб. трудов республиканской научно-практической конференции «Роль молодежи в развитии науки и инновационной деятельности». – Ташкент, 2010. – С.106-107.

25. Хохлов В.А., Титова Ж.О. Влияние научно-технической информации и инновационных разработок на энергоэффективность работы насосных станций / Сб. трудов республиканской научно-практической конференции «Роль информации в развитии науки и инновационной деятельности». – Ташкент, 2012. – С.292-296.

26. Хохлов В.А., Титова Ж.О. Резервы энергоэффективности насосных станций промышленных предприятий // Вестник Туринского политехнического университета в городе Ташкенте. – Ташкент, 2014. – № 4 – С.11-14.

27. Титова Ж.О., Хохлов В.А. Выявление и предупреждение гидравлического удара на насосных установках // Вестник Туринского политехнического университета в городе Ташкенте. – Ташкент, 2014. – № 4 – С.16-20.

28. Хохлов В.А., Титова Ж.О. Innovation activity in the field of energy saving in the pumping stations / Сб. трудов международного инновационного форума – TIIF. – Ташкент, 2015. – С.174-179.

29. Титова Ж.О. Алгоритмы и методы регулирования неустановившихся режимов работы насосных станций / Сб. трудов международной научно-практической конференции «Vědecký pokrok na přelomu tysyachalety» («Научный прогресс на рубеже тысячелетий»). – Прага, 2016. – С. 31-34.

30. Титова Ж.О., Аллаев К.Р., Хохлов В.А. Методы и устройства защиты от гидравлического удара основного энергетического оборудования и трубопроводов насосных станций / Сб. трудов международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы в современной науке и пути их решения». – Москва, 2016. – С. 82-83.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» илмий журнал таҳририятида таҳрирдан
ўтказилди (28.10.2016 йил).

Босишга рухсат этилди: _____ 2016 йил
Бичими 60x45 ¹/₁₆, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 5. Адади: 100. Буюртма: № _____.

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

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ» ДУК