

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

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ДЖУРАЕВ КУРБОН САЛИХДЖАНОВИЧ

**ГИДРОАККУМУЛЯЦИОН ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАР
ПАРАМЕТРЛАРИНИ ТАНЛАШ ВА АСОСЛАШ ҲАМДА УЛАРДАН
ЎЗБЕКИСТОН ЭНЕРГЕТИКА ВА СУВ ХЎЖАЛИГИ ТИЗИМИДА
ФОЙДАЛАНИШ ШАРТЛАРИ**

05.05.06 – Қайта тикланидиган энергия турлари асосидаги энергия қурилмалари

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

Тошкент – 2021

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

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

**Contents of the Dissertation Abstract of Philosophy of Doctor (PhD)
on technical sciences**

Джураев Курбон Салихджанович

Гидроаккумуляцион электр станциялар параметрларини танлаш ва
асослаш ҳамда улардан Ўзбекистон энергетика ва сув хўжалиги
тизимида фойдаланиш шартлари..... 3

Джураев Курбон Салихджанович

Выбор и обоснование параметров гидроаккумулирующих
электростанций и условий их использования в
энерговодохозяйственной системе Узбекистана 23

Dzhuraev Kurbon Salikhdzhanovich

Selection and justification of the parameters of pumped storage power
plants and the conditions for their use in the energy and water
management system of Uzbekistan..... 43

Эълон қилинган ишлар руйхати

Список опубликованных работ
List of published works..... 47

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

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ДЖУРАЕВ КУРБОН САЛИХДЖАНОВИЧ

**ГИДРОАККУМУЛЯЦИОН ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАР
ПАРАМЕТРЛАРИНИ ТАНЛАШ ВА АСОСЛАШ ҲАМДА УЛАРДАН
ЎЗБЕКИСТОН ЭНЕРГЕТИКА ВА СУВ ХЎЖАЛИГИ ТИЗИМИДА
ФОЙДАЛАНИШ ШАРТЛАРИ**

05.05.06 – Қайта тикланидиган энергия турлари асосидаги энергия қурилмалари

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

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2021.3.PhD/T774 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:

Мухаммадиев Мурадулла Мухаммадиевич
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Авезова Нилуфар Раббонакуловна
техника фанлари доктори, етакчи илмий ходим

Елистратов Виктор Васильевич
техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти

Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/10.12.2019.T.03.03 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «30» октябр соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент ш., Университет кўчаси, 2-уй. Тел./факс: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (220 рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент ш., Университет кўчаси, 2-уй. Тел.: (99871) 246-03-41.

Диссертация автореферати 2021 йил «15» октябр кунини тарқатилди.

(2021 йил «11» октябр даги 5 рақамли реестр баённомаси).



Қ.Р. Аллаев

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

О.Х. Ишназаров

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

Р.П. Бабаходжаев

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда ноанъанавий ва қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланган ҳолда энергияни диверсификациялаш масалаларида гидроаккумуляцион электр станциялар ҳисобига электр энергетика тизимларини интеграциялаш орқали мазкур тизимда ишончлилики, барқарорлилики ва юқори манёвчанлилики ошириш усуллари ва техник ечимларини ишлаб чиқишга алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган мамлакатларда «...гидроаккумуляцион электр станцияларнинг фойланилмаган улкан потенциални акс эттирувчи ташлаб қўйилган конларда, ер ости ғорларида, энергетик бўлмаган тўғонларда ва анъанавий гидроэлектр станцияларда гидроаккумуляцион электр станциялардан фойдаланиш бўйича тадқиқотлар тобора кўпайиб бормоқда»¹. Бу борада, жумладан гидроаккумуляцион тизимлар иш режимларини такомиллаштиришга ҳамда улар ёрдамида электр энергетика тизими ва қайта тикланувчи энергия манбалари асосидаги энергоқурилмалар самарадорлигини оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда гидроаккумуляцион тизимларининг энергетик, иқтисодий ва экологик самарадорлигини ошириш усуллари такомиллаштириш, гидроаккумуляцион электр станциялар иш режимларини такомиллаштириш усуллари ишлаб чиқиш орқали электр энергия ва ресурс сарфларини камайитишга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан гидроаккумуляцион тизимлар самарадор технологик схемаларини ишлаб чиқиш орқали электр энергетика ва қайта тикланувчи манбалар асосидаги тизимлар манёвчанлигини, ишончлилигини ва барқарорлигини аниқлаш ва баҳолаш бўйича тадқиқотлар устивор ҳисобланади. Шу билан бирга, гидроаккумуляцион тизимларнинг энергия-гидравлик ва режим параметрларини ҳамда техник-иқтисодий кўрсаткичларини аниқлаш ва баҳолаш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Республикада қайта тикланувчи энергия манбаларидан самарали фойдаланиш учун янги техник ва технологик ечимларни яратиш усуллари ва инновацион ишланмаларни такомиллаштириш ва жорий этишга доир кенг қўламли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайитиш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш, қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш...»² каби вазифалар белгиланган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, гидроаккумуляцион электр станциялар ёрдамида электр энергетика тизимлари ишининг манёвчанлигини, ишончлилигини ва

¹ Гидроэнергетиканинг 2020 йилдаги ҳолати ҳақида ҳисобот, International Hydropower Association. https://www.hydropower.org/sites/default/files/publications-docs/2020_hydropower_status_report.pdf

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» ги Фармони <https://lex.uz/docs/3107042>

барқарорлигини ошириш бўйича, жумладан гидроаккумуляцион электр станцияларнинг энергетик, иқтисодий ва экологик самарадорлигини оширишга асосланган ва улардан Ўзбекистоннинг энергетика ва сув хўжалиги тизимида фойдаланиш хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда, уларнинг энергия-гидравлик ва режим параметрларини ҳамда техник-иқтисодий кўрсаткичларини аниқлаш ва асослаш масалаларини ечишга қаратилган илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш муҳим ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ПФ-4947-сон Фармони, 2017 йил 26 майдаги «2017–2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари Дастури тўғрисида»ги ПҚ-3012-сон ва 2017 йил 2 майдаги «2017–2021 йилларда гидроэнергетикани янада ривожлантириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида»ги ПҚ-2947-сон қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳукукий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Диссертация иши бўйича тадқиқотлар Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг IV–«Қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш усуллари ривожлантириш, нанотехнологиялар, фотоника ва бошқа замонавий илғор технологиялар асосида қурилмалар ва технологияларни яратиш» устувор йўналишига мос келади.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Гидроаккумуляцион электр станцияларини лойиҳалашда ва қуришда уларнинг турли параметрларини аниқлаш ва асослаш ҳамда электр энергетика тизимлари ва қайта тикланувчи энергия манбалари асосидаги энергетик тизимларнинг ишончилиги, барқарорлиги, манёврчанлиги ва иқтисодий самарадорлигини ошириш учун улардан оптимал фойдаланиш, бундан ташқари, қайта тикланадиган манбалар учун гидравлик энергияни сақлашнинг оптимал схемаларини ва уларнинг энергетик ва экологик жиҳатларини аниқлаш имконияти, шунингдек, турли иқлим шароитларида улардан фойдаланиш масалаларига қаратилган илмий тадқиқотлар дунёнинг кўплаб етакчи илмий-тадқиқот марказлари ва олий ўқув юртларида, хусусан: Energy Storage Association (АҚШ), California Energy Storage Alliance (АҚШ), China Energy Storage Alliance (Хитой), India Energy Storage Alliance (Ҳиндистон), Energy Storage Canada (Канада), Birmingham Energy Institute (Англия), Мадрид техника университети (Испания), Миллий қайта тикланувчи энергияси лабораторияси – NREL (АҚШ), Department of Energy's Global Energy Storage Database (АҚШ), Energy Research Institute (Хитой), Токио технология институти (Япония), Москва энергетика институти (Россия), Санкт-Петербург политехника университети (Россия) ва бошқаларда амалга оширилмоқда.

Гидроаккумуляцион электр станцияларнинг техник-иқтисодий параметрларини аниқлаш бўйича умумий қабул қилинган усулларни ишлаб чиқиш, гидравлик энергияни тўплаш учун насос қурилмаси ва сув ҳавзалари параметрларини оптималлаштириш бўйича ҳисоблаш, лойиҳалаш усуллари ва турли энерготизимларда қўллашнинг аҳамияти каби масалаларни ҳал қилишда бир қатор таниқли хорижий олимлар катта ҳисса қўшганлар, жумладан Blaabjerg F., Consoli A., Ferreira J., Van Wyk J., Connolly D., MacLaughlin S., Leahy M., Young Brown P.D., Pecas Lopes J.A., Matos M.A., Васильев Ю.С., Федоров М.П., Елистратов В.В., Бальзанников М.И., Претро Г.А., Шейнман Л.Б., Кулешов Н.Р., Мирошникова Ю.А., Родионов В.Г., Синюгин В.Ю., Шульгинов Р.Н. ва бошқалар.

Гидроэнергетик қурилмалардан фойдаланган ҳолда Ўзбекистон электр энергетика тизимларининг ишончлилиги ва манёврчанлигини асослаш, насос станцияларида ва мавсумий тартибга солиш сув омборларида гидроаккумуляцион электр станциялардан фойдаланиш жараёнларини математик моделлаштириш, республикада гидроаккумуляцион электр станцияларга эга гидроэнергетик комплексларни яратиш каби илмий муаммоларни ҳал қилишда маҳаллий олимларимиздан Аллаев К.Р., Гловацкий О.Я., Захидов А.З., Захидов Р.А., Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У., Клычев Ш.И. ва бошқалар томонидан ҳам кўплаб тадқиқотлар ўтказилган ҳамда салмоқли натижаларга эришилган.

Сезиларли муваффақиятларга қарамасдан, бугунги кунгача республика электр энергетика тизимларини диверсификация қилиш мақсадида мамлакатнинг умумий энергия балансида гидроаккумуляцион электр станцияларлардан электр энергетика тизимлари учун маневрчан манба ва қайта тикланувчи энергия манбалари учун аккумулятор сифатида қўшимча энергия манбаларини ҳосил қилиш мақсадида паст напорга эга сув ҳўжалиги тизимларида гидроаккумуляцион электр станциялардан фойдаланишни ҳисобга олган ҳолда етарли даражада ўрганилмаган. Мазкур диссертация ишида Ўзбекистоннинг мавжуд энергетика ва сув ҳўжалиги тизимлари асосидаги гидроэнергокомплекслар таркибида гидроаккумуляцион электр станциялардан фойдаланиш таклиф этилган ҳамда электр энергетика ва қайта тикланувчи энергия манбалари асосидаги тизимлар учун манёврчан манба сифатида самарали фойдаланиш учун уларнинг энергетик ва гидравлик, режим, техник-иқтисодий ва ресурс кўрсаткичлари кўриб чиқилган ва ечимлари таклиф этилган.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент Давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ А-4-24 «Кичик қувватли гидроаккумуляцион электр станцияларни қўллаш орқали қайта тикланувчи гидравлик энергиядан фойдаланишнинг самарадор технологияларини ривожлантириш ва ишлаб чиқиш» (2014–2017) мавзусидаги амалий ва ОТ-ФЗ-15 «Гидроаккумуляцион электростанцияларни қўллаган ҳолда қайталанувчан сув энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш

бўйича илмий ёндошув ва назарий ҳолатларни ривожлантириш» (2017–2020) ва F-OT-2021-235 «Гидроэнергетикани ривожлантиришда гидроэнергетик комплекслардан фойдаланишнинг назарий асослари» (2021-2025) мавзусларидаги фундаментал илмий лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади гидроаккумуляцион электр станциялардан электр энергетика ва қайта тикланувчи энергия манбалари асосидаги тизимлар учун манёврчан манба сифатида фойдаланишнинг хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда уларнинг параметрларини танлаш ва асослашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

гидроаккумуляцион электр станциялардан самарали фойдаланиш ва яратиш учун Ўзбекистон энергетика ва сув хўжалиги тизимларини таҳлил қилиш;

энергетика ва сув хўжалиги тизимида гидроаккумуляцион электр станцияларнинг энергия ва гидравлик характеристика кўрсаткичларини ҳамда режим параметрларини аниқлаш методикасини ишлаб чиқиш;

Ўзбекистон энергетика ва сув хўжалиги тизимида режалаштирилаётган гидроаккумуляцион электр станцияларнинг башорат қилинган техник-иқтисодий кўрсаткичларини баҳолаш методикасини такомиллаштириш;

Ўзбекистон электр энергетика тизимининг манёвр манбаи сифатида энергетика ва сув хўжалиги объектларида гидроаккумуляцион электр станцияларни ишлаб чиқиш ва лойиҳалаштириш учун илмий асосланган дастлабки маълумотларини ишлаб чиқиш;

гидроаккумуляцион электр станцияларда Банки турбинасидан турбина режимида ва марказдан қочма насосдан иккита режимда (турбина ва насос) фойдаланиш имкониятларини аниқлаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида электр энергетика ва қайта тикланувчан энергия манбалари асосидаги тизимлар учун манёвр манбаи сифатида энергетика ва сув хўжалиги тизимидаги гидроаккумуляцион электр станциялар олинган.

Тадқиқотнинг предмети гидроаккумуляцион электр станцияларнинг энергетик ва гидравлик характеристикалари кўрсаткичлари ва режим параметрларини аниқлаш усуллари ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Диссертация ишида гидроаккумуляцион электр станцияларнинг параметрларини танлаш ва асослаш учун математик моделлаштириш усуллари, гидроаккумуляцион электр станцияларнинг энергетик ва гидравлик характеристикалари кўрсаткичлари, шунингдек режим параметрларини аниқлашнинг аналитик ва графикли таҳлил усуллари, тажриба натижаларини қайта ишлаш усуллари, лойиҳани техник-иқтисодий баҳолаш усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

гидроаккумуляцион электр станциясининг технологик схемаси кунлик ва мавсумий иш режимларини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилган;

гидроаккумуляцион электр станциясининг асосий параметрлари ва иш режимларини ҳисоблаш усули паст напорли шароит учун такомиллаштирилган;

гидроаккумуляцион электр станциянинг конструкцияси гидротаран асосида такомиллаштирилган ва гидротараннинг чегаравий фойдали иш коэффиценти сув кўтариш баландлигига боғлиқ бўлмаган ҳолда 75% га тенглиги аниқланган;

паст напорли гидроаккумуляцион энергетик қурилманинг турбина режимида Банки турбинасидан фойдаланиш самарадорлиги экспериментал тадқиқотлар асосида исботланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

электр энергетика ва қайта тикланувчан энергия манбалари асосидаги тизимларда сув ресурслари салоҳиятининг ўзгарувчанлигини ҳисобга олган ҳолда гидроаккумуляцион электр станциянинг техник-иқтисодий кўрсаткичларини ҳисоблаш усули такомиллаштирилган;

гидроаккумуляцион электр станциянинг асосий режим параметрлари ўзгаришига боғлиқ ҳолда уларнинг энергетик ва гидравлик параметрларини ҳисоблаш услубияти ишлаб чиқилган;

гидроаккумуляцион электр станциянинг насос режимидаги иш самарадорлигини ошириш имконини берувчи гидротаран қурилмали гидроаккумуляцион энергетик қурилманинг схемаси ишлаб чиқилган;

кичик қувватли гидроаккумуляцион электр станцияларнинг энергия-гидравлик параметрларини вақт бўйича ўзгаришни аниқлаш усули ва дастури ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги гидроаккумуляцион тизимларнинг гидравлик ва энергетик параметрларини ҳамда уларнинг иш режимлари кўрсаткичларини аниқлашнинг назарий ва амалий усуллари, шунингдек уларни техник-иқтисодий асослашнинг замонавий ёндошув ва усулларида фойдаланилганлиги, экспериментал тадқиқот натижаларининг бошқа олимлар томонидан эришилган натижаларга моҳиятан мос келиши билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти электр энергетика тизими ва қайта тикланувчи энергия манбалари асосидаги тизимлар учун манёвр манбаи сифатида самарали фойдаланиш учун гидроаккумуляцион электр станциялар параметрларини танлаш ва асослаш учун ҳисоблаш услубиятининг такомиллаштирилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти дастлабки маълумотлар асосида республика сув ресурсларининг энергетика ва сув хўжалигидаги аҳамиятини ҳисобга олган ҳолда гидроаккумуляцион электр станцияларни лойиҳалашда бевосита қўллаш ҳамда гидроаккумуляцион электр станцияларнинг такомиллашган схема ва конструкцияларини ишлаб чиқиш ва яратиш имконини бериши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ўзбекистон энергетика ва сув хўжалиги тизимида гидроаккумуляцион электр станциялардан фойдаланишнинг хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда уларнинг параметрларини танлаш ва асослаш бўйича тадқиқот натижалари асосида:

гидроаккумуляцион электр станциясидан гидротаранларни қўллаш орқали фойдаланиш усули такомиллаштирилган (Интеллектуал мулк агентлигининг фойдали модел учун патенти, №FAP 01018, 15.06.2015 й.). Натижада, ишлаб чиқилган усул гидроаккумуляцион электр станциялар насос режимидаги электр энергияси истеъмолини 30 % гача камайтиришга имкон берган;

гидроаккумуляцион электр станцияларининг энергетик-гидравлик параметрларини аниқлаш усули «Гидропроект» АЖда жорий қилинган («Ўзбекгидроэнерго» АЖнинг 2020 йил 30 декабрдаги №02-14/3851-сонли маълумотномаси). Натижада, Туямўйин гидроузелида, Арнасой, Талимаржон ва Ходжикент сув омборларида гидроаккумуляцион электр станцияларни яратиш бўйича ҳисоблаш ишларида фойдаланган ва йилига қўшимча равишда 930,0 млн. кВт·соат электр энергияси ишлаб чиқаришга имкон берган;

гидроаккумуляцион электр станцияларининг энергетик-иқтисодий кўрсаткичларини аниқлаш дастури «Гидропроект» АЖда жорий қилинган («Ўзбекгидроэнерго» АЖнинг 2020 йил 30 декабрдаги №02-14/3851-сонли маълумотномаси). Натижада, Ўзбекистон Республикасининг тўртта энергетика ва сув хўжалиги объектларида гидроаккумуляцион электр станцияларни яратиш бўйича ҳисоблаш натижалари асосида йилига 139 минг т.ш.ё. ёқилғи ресурсларини тежашга имкон берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқотнинг асосий натижалари 5 та халқаро ва 2 та республика миқёсидаги илмий-амалий анжуманларда муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича 29 та илмий ишлар чоп этилган, шу жумладан Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссияси томонидан эътироф этилган хорижий журналларда 5 та ва республика журналларида 5 та мақола чоп этилган, шунингдек, 1 та дарслик, 1 та фойдали модел учун патент ва дастурий маҳсулот учун 4 та муаллифлик гувоҳномалари олинган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, умумий хулосалар, чоп этилган ишлар рўйхати, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 123 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотни фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, диссертация мавзуси бўйича олиб борилаётган халқаро илмий тадқиқотлар ҳақида умумий маълумот ва муаммонинг ўрганилганлик даражаси келтирилган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқот объектлари, предмети ва усуллари кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ёритилган, олинган

натижаларнинг ишончилиги асосланган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот ишнинг натижаларини жорий қилиниши ва апробацияси ҳамда диссертациянинг ҳажми ва тузилиши ҳақида қисқача маълумот келтирилган.

Диссертациянинг **“Гидроаккумуляцион электростанциялардан фойдаланиш ҳолати ва истиқболлари”** номли биринчи бобида жаҳонда ва Ўзбекистонда электр энергетиканинг ривожланиш ҳолати ва истиқболлари ҳамда қайта тикланувчан энергия манбаларидан фойдаланишнинг ривожланиш тенденцияси, шунингдек, дунёда ГАЭСдан фойдаланишнинг ҳозирги ҳолати, Ўзбекистонда ГАЭСдан манёвр манбаи сифатида фойдаланиш истиқболлари ўрганиб чиқилган.

Ўзбекистон электр энергетика тизимлари (ЭЭС), улардаги минимал ва максимал кунлик юкланишларни қоплаш масалалари ҳамда манёврлик имкониятларини ошириш зарурлиги, бу эса жаҳон тажрибасидан келиб чиққан ҳолда, энергетика тизими умумий қувватининг қарийб 25% ини ташкил этиши лозимлиги кўриб чиқилган. Эксплуатацион кўрсаткичлари тажрибасини умумлаштириш орқали, манёврчан қувват бўлиб ГЭСлар ҳисобланади. Бироқ ҳозирги кунда уларнинг Ўзбекистон ЭЭТдаги улуши тахминан 13,3% ни ташкил этади.

Ўзбекистондаги ушбу энг муҳим вазифани ҳал қилиш маневрли қувват сифатида гидроаккумуляцион электр станцияларни (ГАЭС) ишлаб чиқиш ва яратиш билан боғлиқ бўлиб, бу эса юкланишларнинг ошиб кетишидаги (пик) ва тушиб кетишидаги муаммоларини ҳал қилишга, шунингдек станциялараро энергия оқимларини камайтиришга имкон беради. Айниқса, энергия ишлаб чиқаришининг нотекислиги билан ажралиб турадиган ҚТЭМга асосидаги энергетик тизимларнинг ривожланиши билан ГАЭСларнинг роли ортиб боришини ўрганиш асосида, ЭЭТ ва ҚТЭМ асосидаги тизимлар учун манёврчан манба сифатида ГАЭСлардан самарали фойдаланиш учун уларнинг параметрларини танлаш ва асослаш бўйича мақсад ва вазифалар шакллантирилган.

Диссертациянинг **«Гидроаккумуляцион электр станциялар асосий энергетик ва гидравлик параметрлари ва кўрсаткичлари характеристикаларини тадқиқ қилиш»** деб номланган иккинчи боби ГАЭСнинг асосий энергетик ва гидравлик параметрлари таҳлилига, ГАЭС параметрларини танлашнинг асосий мезонларига, Ўзбекистон Республикасининг мавжуд сув хўжалиги объектларида ГАЭС яратиш вазифаларига, ГАЭС параметрлари ва иш режимларини аниқлаш бўйича ҳисоблаш усулларини такомиллаштиришга, шунингдек, кичик қувватли ГАЭСнинг энергетик ва гидравлик параметрларини ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш ҳамда гидротараннинг чегаравий хусусиятларини аниқлашга бағишланган.

Гидроэнергетика комплекслар (ГЭК) таркибида ГАЭС параметрларини танлаш ва асослаш бўйича ГАЭСларни лойиҳалаш ва қуриш учун лойиҳа-изланиш ишларини олиб боришда капитал сарф (қоплаш муддати) билан бир

қаторда йиллик харажатларнинг ўзгарувчанлигини, шунингдек келажакда экологик омилларнинг минималлик мезонларини ҳисобга олиш лозим:

$$K_{ГЭК} = \sum_{i=1}^n K_{Э,i}; \quad (1) \quad I_{ГЭК} = I_{СХЭК} + \sum_{i=1}^n I_{Э,i}; \quad (2)$$

бунда, $I_{СХЭК}$ – сув хўжалиги объектининг экологик омиллари билан йиллик харажатлари; $K_{Э}$, $I_{Э}$ – гидроэнергетик объект бўйича капитал сарф ва йиллик харажатлар.

ГАЭС объектлари бўйича капитал сарф, йиллик харажатларнинг катталиги ва экологик омиллари тўғридан-тўғри уларнинг асосий параметрлари (напор, сув сарфи, қувват ва бошқалар) билан боғлиқ, яъни сув сарфи қийматининг ортиши ГАЭС ҳавзалари ҳажмининг ортишига олиб келади, бу эса катта майдонларнинг сув босиши билан боғлиқ бўлиб, капитал сарфнинг ортишига ва ҳудуд экологик ҳолатининг ёмонлашувига олиб келади. Бироқ, напорнинг ортиши баланд тўғонлар қуришга ва ГАЭС ишончилигини таъминлаш учун паст напорли схемаларга нисбатан қўшимча иқтисодий харажатларга олиб келади.

ГАЭСнинг асосий параметрларини аниқлашнинг асосий вазифаси капитал сарфларни $i=1...n$ объектлар ўртасида тақсимлаш ва тегишли ечим варианти $j=1...m$ ни танлашдан, шунингдек техноген хавфсизлик мезонларини ҳам ҳисобга олишдан иборат бўлади.

Маълумки, бундай ҳисоблар учун мезон³

$$Z_{ГЭК, ij} = I_{ГЭК, ij} + \lambda K_{ГЭК, ij} + \sum U_{ij} \rightarrow \min \quad (3)$$

бунда, $\sum U$ – гидроэнергетик объектларни ишга туширишда етказиладиган умумий зарар (масалан, сув йўқотилишини ортиши); λ – кўриб чиқиладиган вариантлар тўплами учун самарадорлик меъёри.

Юқоридаги мезонларга асосланиб, республикада ГАЭСларни гидроузеллар ва сув омборлар негизидаги гидроэнергетик комплекслар (ГЭК) шаклида яратиш мақсадга мувофиқлиги аниқланди.

Шундан келиб чиқиб, Туямўйин гидроузелида, Арнасой, Талимаржон ва Ходжикент сув омборларида ГАЭСга эга ГЭКларни яратиш вазифаси кўриб чиқилди (1-расм). Натижада:

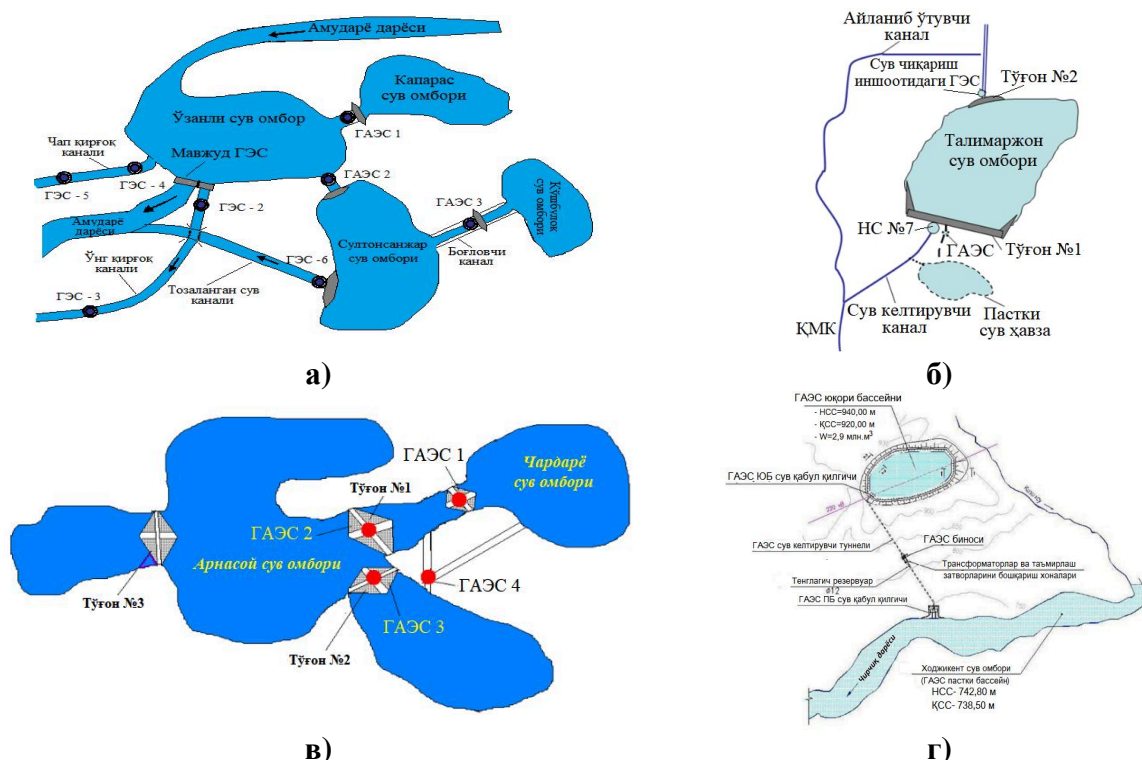
- 3 та ГАЭС ва 5 та кичик ва ўрта қувватли ГЭСларга эга Туямўйин ГЭКни яратиш, электр энергиясини ишлаб чиқаришни 350 ГВт·соат/йилга оширади (1а-расм);

- 1 та ГАЭС ва 1 та ГЭСга эга Талимаржон ГЭКни яратиш, тахминан 50,0 ГВт·соат/йил электр энергияси ишлаб чиқариш имконини беради (1б-расм);

- 4 та ГАЭСларга эга Арнасой ГЭКни яратиш, камида 350 ГВт·соат/йил электр энергиясини ишлаб чиқариш имконини беради (1в-расм);

- 200 МВт қувватли Ходжикент ГАЭС қурилиши, 450 ГВт·соат/йилдан ортиқ электр энергиясини ишлаб чиқариш имконини беради (1г-расм).

³ Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У. Гидроаккумуляцион электр станциялар. – Тошкент: «Фан ва технология» нашрети, 2018. 212 бет.



1-расм. ГАЭСдан фойдаланган ҳолда энергетика ва сув хўжалиги объектларида ГЭКларни яратиш схемалари:

а) Туямўйин ГЭКси схемаси; б) Талимаржон ГЭКси схемаси;
в) Арнасой ГЭКси схемаси; г) Ходжикент ГАЭСини жойлаштириш схемаси.

Паст босимли ГАЭСлар учун ҳозирги вақтда турбина режимидаги (ТР) ва насос режимидаги (НР) сув сарфлари ўртасида қонуниятлар ёки боғлиқликлар мавжуд эмас. Муаммони таҳлил қилиш шуни кўрсатдики, бу ҳолда ТР ва НР сув сарфлари бўйича энг яқин аналоглардан фойдаланиш мумкин. Бундай ҳолда қуйидаги шартни оламиз:

$$Q_{НР} = (0,75...0,80) \cdot Q_{ТР}. \quad (4)$$

Умуман ГАЭС ФИК бир нечта омилларга боғлиқ, асосан ТР ва НР ФИКга ($\eta_{ТР}$ ва $\eta_{НР}$), шунингдек, ГАЭС иш режимларига боғлиқ бўлган қувур ФИКга ($\eta_{ТР}^{кув}$ ва $\eta_{НР}^{кув}$) боғлиқ. Шунга асосан, ГАЭС ФИКни қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$\eta_{ГАЭС} = \eta_{ТР} \cdot \eta_{НР} \cdot \eta_{ТР}^{кув} \cdot \eta_{НР}^{кув} \quad (5)$$

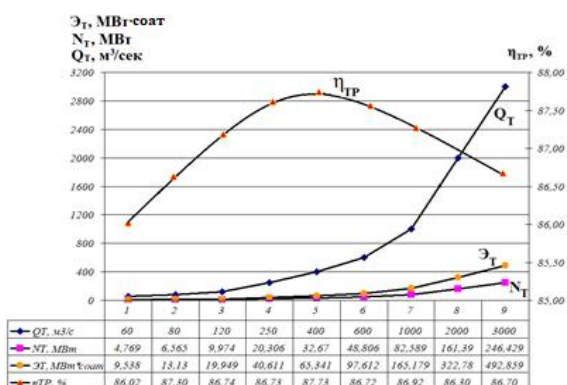
Тадқиқотлар шуни кўрсатдики, ГАЭС ФИК $\eta_{ГАЭС} = 0,7 \div 0,78$ оралиғда бўлади.

Олинган боғлиқлар асосида, босимли қувур диаметрлари (D) ва ТР сув сарфлар ($Q_{ТР}$) ўртасидаги турли нисбатларда ГАЭС режим параметрларини аниқлаш дастури (DGU 05155) ишлаб чиқилди.

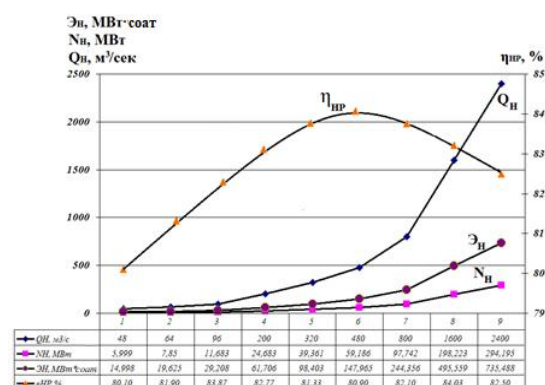
ГАЭСнинг ТР ва НРдаги характерли режим параметрлари ва иш кўрсаткичлари 2 ва 3 – расмларда келтирилган.

2 ва 3-расмлар ГАЭСнинг ТР ва НРларидаги сув сарфи, напори, қуввати, фойдали иш коэффиценти ва электр энергияси қийматларини босимли қувур диаметри ва ТРдаги сув сарфига боғлиқлиги орқали паст напорли

ГАЭСнинг характерли режим параметрлари ва иш кўрсаткичларини аниқлаш имкони яратади.



2-расм. ГАЭС ТРдаги ишининг асосий характеристикалари

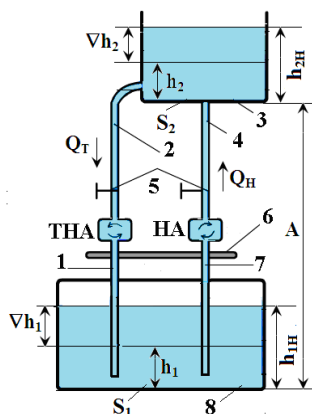


3-расм. ГАЭС НРдаги ишининг асосий характеристикалари

Кичик қувватли ГАЭС яратишнинг ўзига хос хусусиятлари шундаки, у республикадаги аксарият кичик сув оқимларининг кичик дебетини ҳисобга олган ҳолда, чекланган сув ресурслари билан ишлашига тўғри келади.

Шу билан бирга, кичик қувватли ГАЭСда ёки гидроаккумуляцион энергетик қурилмада (ГАЭҚ), таҳлиллар кўрсатганидек, асосий харажатлар сув тўплаш сиғимларини яратишга сарфланади. Шунингдек, ГАЭСлардаги каби, ГАЭҚларда ҳисоблаш вазифаларига напорини, сув сарфини, аккумуляторнинг ҳажмини, ТР ва НРда ишлаш вақтини ҳамда ҚТЭМ қувватининг ўзгарувчанлигини ҳисобга олиш зарурлигини аниқлашдан иборат. 4-расмда ГАЭҚ схемаси ва асосий элементлари келтирилган.

Кўриниб турибдики, ГАЭҚда зарядлаш ва зарядсизлантириш жараёнида напор ўзгаради, бу эса НР ва ТРдаги қувватларнинг ўзгаришига олиб келади.



НА – насос агрегати, НР ишлаши учун; ТНА – турбина-насос агрегати, ТР ишлаши учун; 1 – ТНА сўрувчи қувири; 2 – ТНА босимли қувири; 3 – босимли бак; 4 – НА босимли қувири; 5 – задвижка; 6 – агрегатлар учун таянч рама; 7 – НА сўрувчи қувири; 8 – сув қабул қилиш баки; А – бак асослари орасидаги масофа; h_1 ва h_2 – пастки ва юқори бакдаги сув сатҳлар; h_{1H} ва h_{2H} – қурилма ишга туширилишидаги пастки ва юқори бакдаги бошланғич сув сатҳлар; ∇h_1 ва ∇h_2 – пастки ва юқори бакдаги сув сатҳлари ўзгариши; S_1 ва S_2 – пастки ва юқори бак асослари юзаси.

4-расм. ГАЭҚ тузилиш схемаси

ГАЭҚ параметрларини ҳисоблаш вазифасини кўриб чиқамиз ва вазифанинг умумийлигини бузмаган ҳолда, ГАЭҚнинг пастки ва юқори баклари юзалари берилган деб ҳисоблаймиз.

5-расмдан келиб чиқадики, умумий ҳолат учун ТР ва НР учун напорлар қуйидагига тенг:

$$H_{TP} = A + \left(h_{2H} + \frac{Q_{HP} \cdot t}{S_2} - \frac{Q_{TP} \cdot t}{S_2} \right) - \left(h_{1H} + \frac{Q_{TP} \cdot t}{S_1} - \frac{Q_{HP} \cdot t}{S_1} \right) - h_W^{TP} \quad (6)$$

$$H_{HP} = A + \left(h_{2H} + \frac{Q_{HP} \cdot t}{S_2} - \frac{Q_{TP} \cdot t}{S_2} \right) - \left(h_{1H} + \frac{Q_{TP} \cdot t}{S_1} - \frac{Q_{HP} \cdot t}{S_1} \right) + h_W^{HP} \quad (7)$$

бунда, h_W^{TP} ва h_W^{HP} - ТР ва НРда босим йўқолиши; t —вақт.

(6) ва (7) формулалардан ТР ($Q_{HP}=0$) ёки НР ($Q_{TP}=0$) ишлаши учун фойдаланиш мумкин.

Бундай ҳолда, ТРдаги сув сарфини Q_{TP} ($Q_{HP}=0$) ва унинг қийматини билган ҳолда, ГАЭҚнинг зарядсизланиш вақти t_{TP} аниқлаш мумкин:

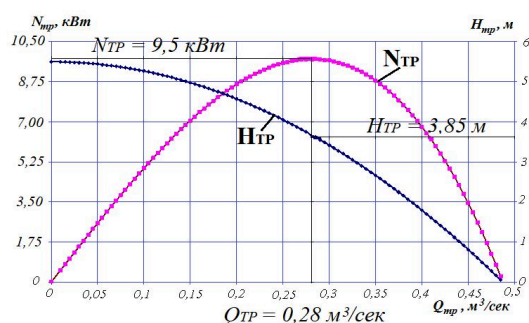
$$Q_{TP} = \frac{S_1 \cdot S_2 \cdot (A + h_{2H} - h_{1H} - H_{TP} - h_W^{TP})}{t \cdot (S_1 + S_2)}; \quad t_{TP} = \frac{S_1 \cdot S_2 \cdot (A + h_{2H} - h_{1H} - H_{TP} - h_W^{TP})}{Q_{TP} \cdot (S_1 + S_2)}. \quad (8)$$

Худди шундай, ГАЭҚнинг НРда ишлаши учун сув сарфи Q_{HP} ва ГАЭҚнинг зарядлаш вақти t_{HP} қуйидагига тенг бўлади:

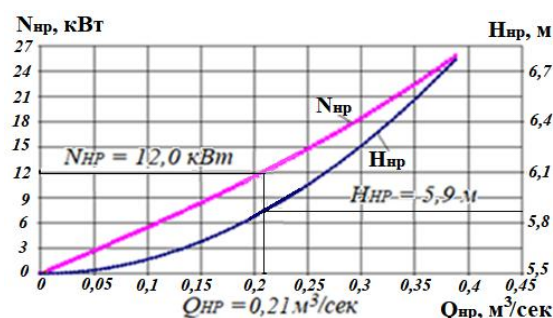
$$Q_{HP} = \frac{S_1 \cdot S_2 \cdot (H_{HP} - A - h_{2H} + h_{1H} - h_W^{HP})}{t \cdot (S_1 + S_2)}; \quad t_{HP} = \frac{S_1 \cdot S_2 \cdot (H_{HP} - A - h_{2H} + h_{1H} - h_W^{HP})}{Q_{HP} \cdot (S_1 + S_2)}. \quad (9)$$

Олинган боғлиқликлар ва унинг асосида яратилган дастур (DGU 05156) ГАЭҚнинг асосий параметрларини (напор, сув сарфи, қувват, зарядлаш ва зарядсизлантириш вақти), шунингдек, турбинада ишлаб чиқарилган ва насос томонидан истеъмол қилинадиган энергияни ГАЭҚнинг стационар ва ностационар иш режимларида аниқлашга имкон беради.

5 ва 6-расмларда кичик қувватли ГАЭСда қувват ва напорнинг сув сарфига характерли боғлиқлиги кўрсатилган.



5-расм. Стационар режимда ТР қуввати ва напорининг сув сарфига боғлиқлиги



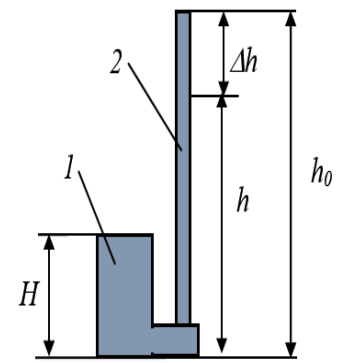
6-расм. Стационар режимда НР қуввати ва напорининг сув сарфига боғлиқлиги

5-расмдан кўриниб турибдики, ГАЭҚнинг стационар иш режимида берилган геометрик напор 5,0 м ва ҳар хил сув сарфларида максимал қувват мавжуд. Ушбу муносабатлар насос режимида қувват ва напор эгриликларига ҳам таъсир қилади (6-расм).

Маълумки, кичик қувватли автоном ГАЭСларида ҳаракатланаётган сувни маълум баландликка кўтариш гидротаран (ГТН) ёрдамида “гидравлик зарба” ҳисобига амалга оширилади. ГТНга бўлган қизиқиш, уни кичик сув оқимларида ва кичик қувватли ГАЭСларида сув кўтариш учун ишлатиш имконияти билан боғлиқ.

Шу муносабат билан, ГТНнинг чегаравий гидравлик самарадорлигини ва ФИКни аниқлаш вазифаси кўриб чиқилди.

7-расмда ГТНнинг принципиал схемаси келтирилган, бунда 1–баландлиги H бўлган вертикал озиқлантирувчи қувур ва 2 – баландлиги h_0 ва сув массаси m ($m=m_1+m_2$, бунда m_1 –баландлиги Δh бўлган сув устуни массаси ва m_2 – баландлиги h бўлган сув устуни массаси) бўлган максимал сув устунига эга сув ҳайдаш қувури.



7-расм. ГТНнинг принципиал схемаси

Йўқотилишлар бўлмаслигининг чекланган ҳолати учун энергия баланси тенгламасини таҳлил қилиш асосида, ГТНнинг чегаравий гидравлик самарадорлиги η_m учун ифода ҳосил қилинди:

$$\eta_m = H \cdot x / (3h(1+x)^2) \quad (10)$$

бунда, параметр $x = \Delta h/h$.

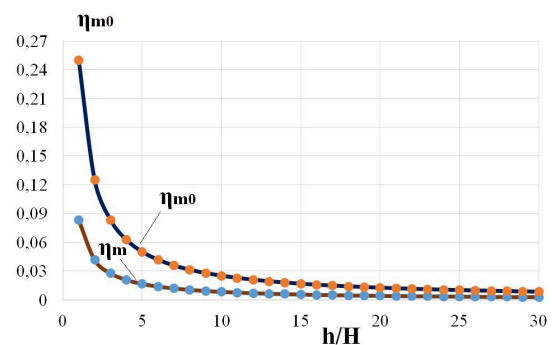
(10) дан келиб чиқадики, $x=1$ да η_m тамомила максимумга эга бўлади

$$\eta_m = m_1/m = 1/(12(h/H)) \quad (11)$$

Эътибор берамизки, (11) даги m озиқлантирувчи қувурда ҳаракатланаётган сув массаси бўлиб, у ҳаракатланаётганда (тушганда) қувур ҳажмининг тахминан 30% ни тўлдиради, яъни $m=m_0/3$, бу ерда m_0 - тўла тўлдирилган озиқлантирувчи қувурдаги сув массаси. Юқоридагиларни ҳисобга олган ҳолда, қуйидагини ҳосил қиламиз

$$\eta_{m0} = m_1/(m_0/3) \approx 1/(4(h/H)) \quad (12)$$

8-расмда h/H га боғлиқ ҳолдаги ГТНнинг гидравлик самарадорликлари η_m ва η_{m0} келтирилган. Амалда ГТНни баҳолаш учун η_{m0} дан фойдаланиш авфзалроқдир, чунки m_0 нинг қиймати одатда маълум ва m_1 ни ГТНнинг бир неча давридаги ўртача қиймати деб олинса, натижада ўртача гидравлик самарадорликни оламиз.



8-расм. ГТНнинг нисбий сув кўтариш баландлиги h/H га боғлиқ чегаравий гидравлик самарадорлиги

ГТНнинг ФИК η m_1 массали сувни h баландликка кўтариш учун сарфланган энергияни озиқлантирувчи қувуридаги сувнинг тўлиқ кинетик энергиясига нисбати орқали аниқланади ёки

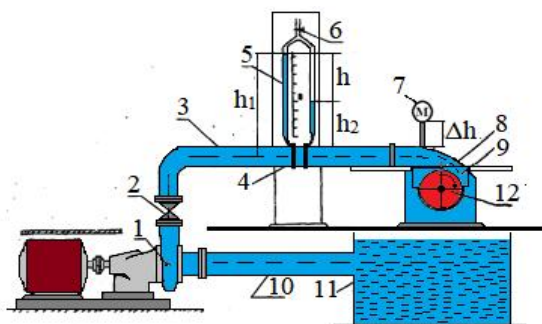
$$\eta = m_1 \cdot g \cdot h (x+2) / (m \cdot g \cdot H/3). \quad (13)$$

(13) дан кўринадики, $x=1$ ёки $\Delta h=h$ параметрнинг оптимал қиймати учун ГТНнинг чегаравий ФИК h/H нисбатга боғлиқ эмаслиги ва у $\eta=0.75$ га тенг.

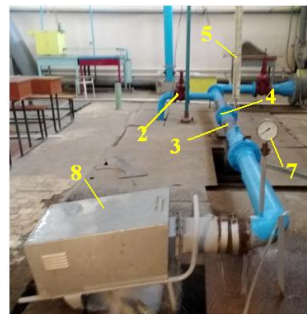
Диссертациянинг «Гидроаккумуляцион электр станция режимида Банки турбинаси ва марказдан қочма насосдан фойдаланиш бўйича экспериментал тадқиқотлар» деб номланган учинчи бобида, ГАЭСнинг

турбина режимда Банки турбинасидан ва марказдан қочма насосдан икки режимда (турбина ва насос) фойдаланиш имкониятларини ўрганиш бўйича экспериментал тадқиқотларнинг методикаси ва натижалари келирилган.

Банки турбинасидан ТРда фойдаланиш имкониятини ўрганиш мақсадида экспериментал тадқиқотлар ўтказилди. Банки турбинасини ТРда тадқиқ қилиш учун экспериментал стенд схемаси 9-расмда келтирилган.



а)

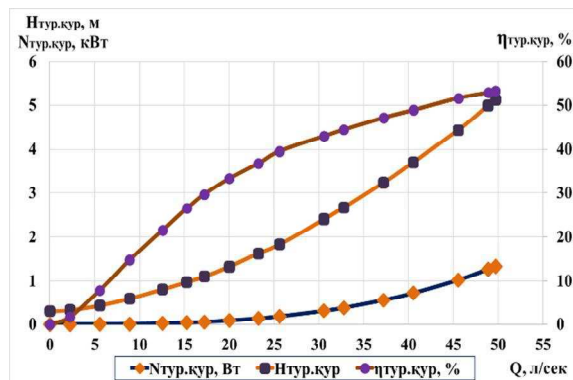


б)

9-расм. Банки турбинасининг ТРдаги характеристикаларини тадқиқ қилиш учун экспериментал стенд схемаси (а) ва кўриниши (б)

1–насос; 2–задвижка; 3–босимли қувур; 4–диафрагма; 5–дифманометр;
6–дифманометр жўмраги; 7–манометр; 8–Банки гидротурбинали гидроагрегат;
9–гидроагрегат қопқоғи; 10–насоснинг сўриш қузури; 11–бак; 12–вал.

Босим қувурида (3) сув сарфини аниқлаш учун «ULTRASONIC FLOWMETER TDS-100H» сарф ўлчагичи ёрдамида калибровка қилинган дифманометрдан (5) фойдаланилган.



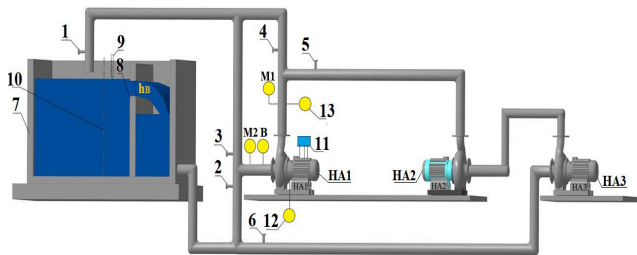
10-расм. Банки турбинали қурилма напори, қуввати ва ФИКни сув сарфига боғлиқлиги

Синов натижалари асосида, Банки турбинасининг ТРдаги энергетик ва гидравлик характеристикалари олинди (10-расм). Банки турбинаси сув сарфи 45-50 л/сек гача ва напори тахминан 5 м бўлганда $50 \pm 5\%$ ФИК билан 1,3 кВтгача қувват бериши мумкинлиги аниқланди.

Тадқиқот натижаларидан келиб чиқадики, Банки турбиналаридан паст напорли ГАЭҚларнинг тўрт машинали схемаларида (турбина ва насос агрегатлари алоҳида) фойдаланиш мумкин. Шу билан бирга, Банк

турбинасининг бир мунча содда конструкцияси ва унинг яхши эксплуатацион характеристикаларини ҳисобга олган ҳолда, ГАЭҚ техник-иқтисодий кўрсаткичларини яхшилаш мумкин бўлади.

1,5К-6 марказдан қочма насосининг турбина ва насос режимларида ишлаш хусусиятларини ўрганиш учун, насоснинг ГАЭС режимида ишлашини акс эттирувчи экспериментал стенд яратилди. 11-расмда ГАЭС экспериментал стенди схемаси келтирилган.



а)



б)

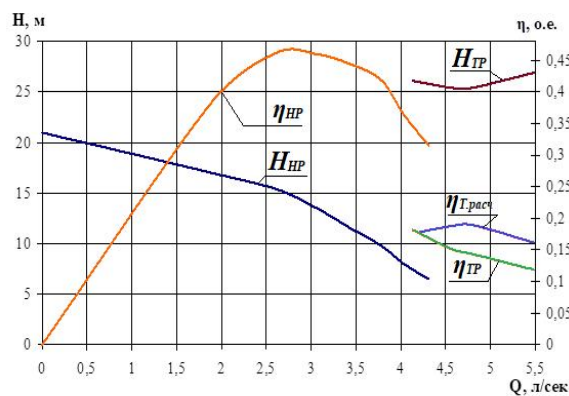
11-расм. ГАЭС экспериментал стени схемаси (а) ва кўриниши (б)

HA1 – КАМ-30 асинхрон электр двигателли 1,5К-6 русумли марказдан қочма насос;
HA2 и HA3 – К20/30-У2 русумли марказдан қочма насослар; 1, 2, 3, 4, 5, 6 – задвижкилар;
7 – бак; 8 – юпка деворли учбурчак оқова нов; 9 – ўлчаш игнаси; 10 – тинчлантирувчи
панжара; 11 – К 505 русумли ўлчов комплекти; 12 – Д-ИММ русумли тахогенератор;
13 – ИД-8 русумли босим датчиги.

ТРда электр двигател асинхрон генератор сифатида ишлатилади ва тармоққа фазаларни алмаштириш билан уланади. Натижаларга кўра, у асинхрон генератор сифатида ишлаганда унинг ФИК тахминан 0,7 га тенг.

1,5К-6 насос ТРда ишлашида напор К20/30-У2 русумли кетма-кет ишлайдиган иккита HA-2 ва HA-3 насослар ёрдамида ҳосил қилинади.

Ўтказилган тадқиқотлар натижасида 1,5К-6 насоснинг НР ва ТРдаги ишчи характеристикалари олинди (12-расм). 12-расмдан ТРдаги напор ва сув сарф қийматлари НРдагига қараганда юқори, НРдаги ФИК эса ТРга қараганда юқори эканлиги кўринади. Бу эса В.Н. Дедков, Фам Ши Хуан, М.А.Хусанов ва бошқа олимларнинг тадқиқотлари натижаларига мос келади.



12-расм. 1,5К-6 насосининг НР ва ТРдаги ишчи характеристикалари

Диссертациянинг “Гидроаккумуляцион электр станциялар ресурс кўрсаткичларини аниқлаш методлари” номли тўртинчи бобида турли қувватлардаги ГАЭСлар иқтисодий, экологик ва ресурс кўрсаткичларининг тадқиқоти натижалари, шунингдек, Ўзбекистон Республикаси ЭЭТда ГАЭСлардан фойдаланиш бўйича ўтказилган SWOT ва PEST таҳлиллари келтирилган.

Экологик муаммоларнинг долзарблиги ошиб бориши муносабати билан энергетик қурилмаларининг иқтисодий самарадорлигини аниқлашда экологик муаммоларни ҳисобга олиш имкон берадиган методларни янада ривожлантириш лозим. Хусусан, Б.Уришевнинг тадқиқотлари шуни кўрсатадики, ГАЭС самарадорлигини баҳолашда унинг асосий вазифаси - манёврли қувватидан ташқари, мавжуд энергетика объектлари ва сув хўжалиги тизимларининг ишончлилиги ва ФИК ошириш ҳамда ёқилғи тежаш имкониятларини ҳисобга олиш керак, бу эса парник газлари тарқалишларини камайтиришга ёрдам беради, сувнинг экологик ҳолатини

яхшилайди - кислород билан тўйинганлигини оширади. Шу муносабат билан ушбу бобда айнан шу вазифалар кўриб чиқилган.

Умумий олганда ГАЭСнинг йиллик иқтисодий самарадорлиги

$$\mathcal{E}_{\text{ГАЭС}} = S_{\text{ТР}} + \mathcal{E}_{\text{ёқилғи}} + \mathcal{E}_{\text{к}} - I_{\text{ГАЭС}} - S_{\text{НР}} - 0,15 \cdot K_{\text{ГАЭС}}. \quad (14)$$

бунда, $K_{\text{ГАЭС}}$ —ГАЭС капитал сарфи; $S_{\text{ТР}}$ —пик даврда ГАЭС томонидан ишлаб чиқарилган электр энергияси нархи; $S_{\text{НР}}$ —ГАЭС НРда истеъмол қилинган электр энергияси нархи; $\mathcal{E}_{\text{ёқилғи}}$ —йиллик тежалган ёқилғи нархи; $I_{\text{ГАЭС}}$ —ГАЭС йиллик харажатлари; $\mathcal{E}_{\text{к}}$ —билвосита иқтисодий самарадорлик бўлиб, у парник газлари тарқалишларини камайтиришдаги $\mathcal{E}_{\text{ПГ}}$, мавжуд энергетик объектлар иш режимларини яхшилашдаги (ишончлилиги ва ФИК ошириш) $\mathcal{E}_{\text{ЭО}}$ ва ЭЭТ ишончлилигини оширишдаги $\mathcal{E}_{\text{ЭТ}}$ самарадорликларни ўз ичига олади, ёки

$$\mathcal{E}_{\text{к}} = \mathcal{E}_{\text{ПГ}} + \mathcal{E}_{\text{ЭО}} + \mathcal{E}_{\text{ЭТ}} \quad (15)$$

Иқтисодий самарадорликнинг билвосита ташкил этувчилари $\mathcal{E}_{\text{ЭО}}$ ва $\mathcal{E}_{\text{ЭТ}}$ мавжуд энергетик объектлар ва энерготизимлар ишлаш хусусиятлари — самадорлиги, ишончлилиги ва барқарорлиги асосидаги маълумотлар бўйича ҳисобланиши мумкин.

Олинган формулалар умумий характерга эга, бироқ қуввати 100 кВт дан кичик бўлган ГАЭСлар учун иқтисодий самарадорликни баҳолашда ўзига хос хусусиятлар мавжуд. Яъни, иқтисодий самарадорликни ташкил этувчилар $0,15 \cdot K_{\text{ГАЭС}}$ (бошқа харажатлар — инфратузилма, экология ва бошқалар учун харажатлар), $\mathcal{E}_{\text{ЭО}}$ ва $\mathcal{E}_{\text{ЭТ}}$ (билвосита самарадорлик омиллари) ҳисобга олинмайди.

Таклиф этилган услубият ва дастур (DGU 07363) асосида, Туямўйн гидроузели, Арнасой, Талимарджон ва Ходжикент сув омборлари учун ишлаб чиқилган ГЭКларнинг вариантлари бўйича ГАЭСнинг техник-иқтисодий кўрсаткичлари тадқиқ қилинди:

1-жадвал

Гидроэнергокомплексларнинг ишлаб чиқилган вариантлари бўйича ГАЭСнинг техник-иқтисодий параметрлари

№	ГАЭС кўрсаткичлари	Ўлчов бирлиги	Туямўйн гидроузели	Арнасой сув омбори	Талимарджон сув омбори	Ходжикент сув омбори
1.	ГАЭСнинг ТР ўрнатилган қуввати	МВт	39,4	159,8	18,47	200,0
2.	ТРда йиллик ишлаб чиқарилган электр энергияси	ГВт·соат	86,5	350,0	40,45	452,6
3.	Йиллик тежалган ёқилғи ресурслари	минг т.ш.ё.	12,95	52,500	6,060	67,900
		минг т.н.э.	9,065	36,755	4,248	47,530
4.	Йиллик CO ₂ чиқиндиларини камайиши	минг тонна CO ₂	19,8	80,1	9,3	103,6
5.	Йиллик иқтисодий самарадорлик	млрд. сўм	24,3	109,5	5,44	564,55

Олиб борилган SWOT ва PEST таҳлилларидан келиб чиққан ҳолда кўриш мумкинки, Ўзбекистон Республикаси ЭЭТда ГАЭСлардан фойдаланишда имкониятлар ҳам, таҳдидлар ҳам мавжуд, ижобий ва кучли томонлари – кўшни мамлакатлар билан халқаро энергетика сиёсатини ривожлантириш, 2020-2030 йилларда Ўзбекистонни электр энергияси билан таъминлаш концепциясида белгиланган вазифаларни бажариш, Ўзбекистон ЭЭТ манёврчанлик имкониятини ошириш, ишлаб чиқариш харажатларини камайитириш, электр энергиясини тақсимлаш вақтида йўқолишларни камайитириш, CO₂ эмиссиясини камайитириш, “яшил энергетика”ни ривожлантириш, диспетчерлик бошқаруви сифатини ошириш, ЭЭТда электр энергияси йўқолишларини минималлаштириш, жуда арзон электр энергияси, ёқилғи ресурсларини тежаш ва бошқалар ҳисобланади.

Салбий ва заиф томонларидан энг муҳимлари - хорижий банкларнинг кредит ресурсларидан фойдаланиш, узоқ инвестиция даври ва инвестиция лойиҳаларининг юқори сармоядорлик, ГАЭСларни лойиҳалаш ва қуриш бўйича хорижий мутахассисларни жалб этиш, ГАЭСлар эксплуатацияси бўйича кадрлар етишмаслиги, техноген офатлар хавфи ва бошқалар ҳисобланади.

13-расмда ГАЭҚнинг солиштирма харажатлар характеристикаси (амортизация ташкил этувчилар) ва электрохимёвий аккумуляторларнинг (АБ) ўхшаш кўрсаткичлари келтирилган.

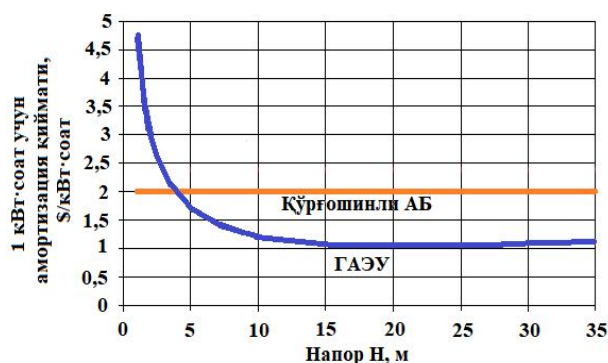
13-расмдан кўриниб турибдики, ГАЭҚда тўпланган энергия нархи кўрғошин-кислотали АБга нисбатан деярли 2 марта кам ҳамда мақбул геометрик баландлик (ёки сув кўтариш баландлиги) тахминан 20 м ташкил этиб, минимуми анча текис ва рухсат этилган сув баландликлари 10 м дан 30 м гача бўлган оралиқда бўлиши мумкин.

Шундай қилиб, ГАЭҚ оғирлик бирлигига кичик солиштирма энергияни тўплашига қарамай, иқтисодий хусусиятларига кўра, ГАЭҚ энг яхши электрохимёвий АБдан кам эмас ва ҚТЭМ асосидаги автоном энергетик қурилмаларда энергия сақлаш қурилмаси сифатида фойдаланилиши мумкин.

Таҳлиллар шуни кўрсатдики, ГАЭҚларда насос режимида турбина режимида ишлаб чиқарилган энергияга қараганда 18-38% кўпроқ энергия истеъмол қилинади. Ушбу сарфларини юқори бассейнга сувни узатишда камайитириш шубҳасиз ГАЭҚнинг ишлаш самарадорлигини оширади.

Ушбу мақсадга эришиш учун гидравлик таранга (ГТН) эга бўлган ГАЭҚ янги конструкцияси (FAP 01018) таклиф қилинди (14-расм).

ГТН нинг салбий томони шундаки, узатилаётган сувнинг ярмидан кўпи зарба клапани тешигидан атмосферага оқиб кетади. ГТНнинг оптимал



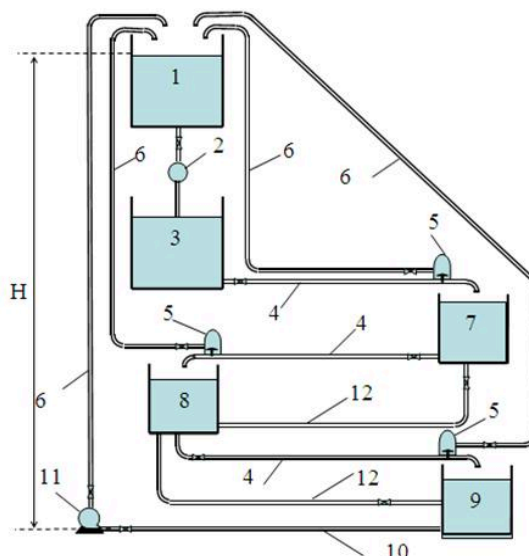
13-расм. ГАЭҚ ва АБдаги энергиянинг амортизация солиштирма қийматлари

конструкцияларида сув манбасидан олинган сувнинг тахминан 40% юқори бакка тушади.

Ушбу конструкция ёрдамида электр энергияси истеъмолиси, ТР ишлатиладиган сув ҳажмини, яъни биттадан тўртагача ГТНдан фойдаланиш орқали 40% дан 87% гача сув ҳажмини юқори бакка узатиб бериш мумкин.

Бироқ, ГТНлар сони кўпайиши билан умумий напор ошиб боради, бу эса конструкциянинг ишончилиги пасайишига, иншоотни қуриш нархининг ошишига ва насос агрегати томонидан истеъмол қилинадиган электр энергияси истеъмолининг ошишига олиб келади.

Кўриб чиқиладиган бир хил қувватдаги ГТНли ГАЭҚнинг иқтисодий кўрсаткичлари анъанавий схемага (4-расм) нисбатан олинганда, ГТНлар сонига боғлиқ ҳолда йилига 44,6 МВт·соат дан 113,73 МВт·соат гача электр энергиясини тежаш ва 1 338 АҚШ.долл. дан 3 142 АҚШ. долл. гача фойда олиш имконини беради.



14-расм. Гидравлик таранли ГАЭС схемаси

1–юқори бак; 2–турбина; 3–пастки бак; 4–судовые кувуры; 5–гидравлические тараны; 6–бесимли кувуры; 7– 2-й таранный бак; 8– 3-й таранный бак; 9–насосный бак; 10–судовые кувуры; 11–насос; 12–аварийные кувуры.

ХУЛОСА

Диссертация ишини бажариш жараёнида олинган тадқиқот натижалари асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилган:

1. Республика ҳудудларида ГАЭСларни яратиш салоҳияти ва техник имониятлари ўрганиб чиқилган. Тўртта энергетика ва сув хўжалиги объектларида – Туямуюнда, Арнасойда, Талимаржонда ва Ходжикентда жами 418 МВтга яқин пик қувват олиш ва қўшимча равишда йилига 930,0 млн.кВт·соатдан ортиқ электр энергиясини ишлаб чиқариш мумкинлиги кўрсатилган, яъни:

– Туямуюн гидроузелидаги ГАЭСлар жами 39,4 МВт қувват ва 86,5 млн.кВт·соат/йил электр энергияси олиш имкониятини беради;

– Арнасой сув омборидаги ГАЭСлар жами 159,8 МВт қувват ва 350,0 млн.кВт·соат/йил электр энергияси олиш имкониятини беради;

– Талимаржон сув омборидаги ГАЭС 18,473 МВт қувват ва 40,456 млн.кВт·соат/йил электр энергияси олиш имкониятини беради;

– Ходжикент сув омборидаги ГАЭС 200,0 МВт қувват ва 452,6 млн.кВт·соат/йил электр энергияси олиш имкониятини беради.

2. Республика иқлимий шароитида тўртта энергетика ва сув хўжалиги объектлари - Туямуюнда, Арнасойда, Талимаржонда ва Ходжикентда

ГАЭСлардан фойдаланишнинг ресурс, техник-иқтисодий ва экологик кўрсаткичлари ўрганиб чиқилган ва қуйидагилар аниқланган:

- сармояни қоплаш муддати – 5÷6 йил;
- ЭЭТнинг мавсумий талабларига боғлиқ ҳолдаги иш режими:
 - турбина режимида – 4÷6 соат;
 - насос режимида – 6÷8 соат;
- ёқилғи ресурсларини тежалиши – 139,4 минг. т.ш.ё./йил (97,58 минг. т.н.э./йил);
- CO₂ эмиссиясини йиллик камайиши – 213 минг. т/йил;
- экологик самарадорлик – 3,195 млн.\$/йил (32,11 млрд. сўм/йил);
- иқтисодий самарадорлик – 700 млрд. сўм/йил.

3. Автоном истеъмолчилар учун гидротарандан фойдаланган ҳолда ГАЭСнинг такомиллаштирилган конструкцияси (FAP 01018) ишлаб чиқилган, у гидротаранлар сонига боғлиқ ҳолда аккумулятор бакини зарядлаш вақти ва харажатларини 15-30% га камайитириш имконини бериши аниқланган. Шунингдек энергия баланси асосида гидротараннинг чегаравий гидравлик самарадорлигини ва Ф.И.К. ни аниқлаш учун ифода таклиф этилган. Натижада, гидротараннинг чегаравий Ф.И.К. сув кўтариш баландлигига боғлиқ бўлмаган ҳолда 75% ни ташкил этиши ва гидротараннинг чегаравий гидравлик самарадорлиги 25% дан ошмаслиги кўрсатилган.

4. ГАЭСнинг асосий элементлари – паст напорли гидротурбинани ва насосни экспериментал тадқиқ қилиш учун стенд ишлаб чиқилган ва яратилган. ГАЭС турбина режими учун Банки турбинасидан ва иккита режимдаги (турбина ва насос) ишида марказдан қочирма насослардан фойдаланиш мумкин эканлиги, бу эса ГАЭС қурилмаси нархини 10-15% га камайишига ва иш самарадорлиги 5-10% га ортишига имкон бериши аниқланган.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ДЖУРАЕВ КУРБОН САЛИХДЖАНОВИЧ

**ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И УСЛОВИЙ ИХ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭНЕРГОВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ
УЗБЕКИСТАНА**

05.05.06 - Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

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

Ташкент – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № B2021.3.PhD/T774.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

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

Научный руководитель:

Мухаммадиев Мурадулла Мухаммадиевич
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Авезова Нилуфар Раббанакуловна
доктор технических наук, ведущий научный сотрудник

Елистратов Виктор Васильевич
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства

Защита диссертации состоится «30» октября 2021 года в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/10.12.2019.T.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано № 220). (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-03-41)

Автореферат диссертации разослан «15» октября 2021 года.

(протокол реестра № 5 от «11» октября 2021 года).



К.Р. Аллаев

Председатель Научного совета
по присуждению ученых степеней,
академик, д.т.н., профессор

О.Х. Ишназаров

Ученый секретарь Научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор

Р.П. Бабаходжаев

Председатель научного семинара при
Научном совете по присуждению
ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется разработке методов и технических решений для повышения надёжности, устойчивости и высокой манёвренности электроэнергетических систем с интегрированием этих систем за счёт гидроаккумулирующих электростанций в вопросах диверсификации энергии с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. В настоящее время в развитых странах «... растёт количество исследований по использованию ГАЭС на заброшенных шахтах, подземных пещерах, неэнергетических плотинах и обычных гидроэлектростанциях, отражающих огромный неиспользованный потенциал ГАЭС.»¹. В связи с этим особое внимание уделяется усовершенствованию режимов работы гидроаккумулирующих систем, а также повышению эффективности электроэнергетических систем и энергоустановок на базе возобновляемых источников энергии.

В мире проводятся научные исследования по усовершенствованию методов повышения энергетической, экономической и экологической эффективности гидроаккумулирующих систем путем разработки методов улучшения режимов работы гидроаккумулирующих электростанций, направленные на снижение затрат электроэнергии и ресурсов. В этом направлении, в том числе за счет разработки эффективных технологических схем гидроаккумулирующих систем, приоритетными считаются исследования по определению и оценке маневренности, надежности и устойчивости систем электроэнергетики и на основе возобновляемых источников энергии. При этом одной из актуальных задач является определение и оценка энерго-гидравлических и режимных параметров, а также технико-экономических показателей гидроаккумулирующих систем.

В республике проводятся масштабные мероприятия по усовершенствованию и внедрению методов и инновационных разработок по созданию новых технических и технологических решений для эффективного использования возобновляемых источников энергии. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены задачи, в том числе «...сокращение энергоёмкости и ресурсоёмкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, расширение использования возобновляемых источников энергии...»². При выполнении этих задач особое значение имеет необходимость проведения научно-исследовательских работ по повышению манёвренности, надёжности и стабильности работы электроэнергетических систем с помощью гидроаккумулирующих электростанций, в частности направленных на решение задач определения и обоснования энергогидравлических и режимных параметров и технико-экономических

¹ Отчет о состоянии гидроэнергетики за 2020 года, International Hydropower Association. https://hydropower-assets.s3.eu-west-2.amazonaws.com/publications-docs/2020_hydropower_status_report.pdf

² Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 "О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан" от 7 февраля 2017 г. <https://lex.uz/docs/3107042>

показателей гидроаккумулирующих электростанций на основе повышения их энергетических, экономических и экологической эффективности с учётом особенностей их использования в энерговодохозяйственной системе Узбекистана.

Данная диссертационная работа в определенной степени служит выполнению задач, указанных в Указе Президента Республики Узбекистан за №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлении Президента Республики Узбекистан за № ПП-3012 от 26 мая 2017 года «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017 – 2021 годы», Постановлении Президента Республики Узбекистан за № ПП-2947 от 2 мая 2017 года «О Программе мер по дальнейшему развитию гидроэнергетики на 2017-2021 годы», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой области.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением науки и технологий Республики Узбекистан IV-«Развитие методов использования возобновляемых источников энергии, создание технологий и устройств на основе нанотехнологии, фотоники и других передовых технологий».

Степень изученности проблемы. Научные исследования, направленные на определение и обоснование различных параметров гидроаккумулирующих электростанций при проектировании и строительстве, а также по оптимальному использованию их в электроэнергетических системах и энергосистемах на основе возобновляемых источников энергии для повышения надёжности, устойчивости, манёвренности и экономической эффективности, кроме этого возможности определения оптимальных схем гидравлического аккумулирования энергии для возобновляемых источников и их энерго-экологические аспекты, а также вопросы по их использованию в различных климатических условиях проводятся во многих ведущих научно-исследовательских центрах и высших образовательных учреждениях мира, в частности: Energy Storage Association (США), California Energy Storage Alliance (США), China Energy Storage Alliance (Китай), India Energy Storage Alliance (Индия), Energy Storage Canada (Канада), Birmingham Energy Institute (Англия), Технический университет Мадрида (Испания), Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии – NREL (США), Department of Energy's Global Energy Storage Database (США), Energy Research Institute (Китай), Токийский технологический институт (Япония), Московский энергетический институт (Россия), Санкт-Петербургский политехнический университет (Россия) и др.

В решении вопросов разработки общепринятых методов по определению технико-экономических параметров гидроаккумулирующих электростанций, методов расчёта по оптимизации параметров насосной

установки и водоёмов для аккумулирования гидравлической энергии, методов проектирования гидроаккумулирующих электростанций и их значение в различных энергосистемах, большой вклад внесли ряд известных зарубежных учёных, таких как: Blaabjerg F., Consoli A., Ferreira J., Van Wyk J., Connolly D., MacLaughlin S., Leahy M., Young Brown P.D., Pecas Lopes J.A., Matos M.A., Васильев Ю.С., Федоров М.П., Елистратов В.В., Бальзанников М.И., Претро Г.А., Шейнман Л.Б, Кулешов Н.Р., Мирошникова Ю.А., Родионов В.Г., Синюгин В.Ю., Шульгинов Р.Н. и другие.

При решении научных задач по обоснованию надёжности и манёвренности электроэнергетических систем Узбекистана с использованием различных видов электростанций, в том числе гидроэнергетических установок, математического моделирования использования гидроаккумулирующих электростанций на насосных станциях и водохранилищах сезонного регулирования, созданию гидроэнергетических комплексов с гидроаккумулирующими электростанциями в республике и их режимы работы, проведены многочисленные исследования отечественными учеными, такими как Аллаев К.Р., Гловацкий О.Я., Захидов А.З., Захидов Р.А., Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У., Клычев Ш.И. и др. и были получены важные результаты.

Несмотря на значительные успехи, до сегодняшнего дня, в целях диверсификации электроэнергетических систем республики, не были достаточно изучены и рассмотрены на практике возможности использования гидроаккумулирующих электростанций в общем энергобалансе страны в качестве манёвренных источников для электроэнергетических систем и как аккумулятор возобновляемых источников энергии для получения дополнительных источников энергии с учётом их использования в водохозяйственных системах, которые имеют низкие напоры. В данной диссертационной работе предложена возможность использования гидроаккумулирующих электростанций в составе гидроэнергокомплексов на базе существующих энерговодохозяйственных систем Узбекистана и рассмотрены их энергогидравлические, режимные, технико-экономические и ресурсные показатели для эффективного использования в качестве манёвренного источника для электроэнергетических систем и систем на основе возобновляемых источников энергии.

Связь темы диссертации с планом научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено согласно плану научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета в рамках прикладного проекта А-4-24 «Разработка и развитие эффективных технологий использования возобновляемой гидравлической энергии с применением гидроаккумулирующей электростанции малой мощности» (2014-2017) и фундаментальных проектов ОТ-ФЗ-15 «Развитие теоретических положений и научных подходов повышения эффективности использования возобновляемой водной энергии с применением гидроаккумулирующей электростанции» (2017-2020) и F-ОТ-2021-235 «Теоретические

основы развития гидроэнергетики с использованием гидроэнергетических комплексов» (2021-2025).

Целью исследования является выбор и обоснование параметров гидроаккумулирующих электростанций с учетом особенностей их использования в качестве манёвренного источника для систем электроэнергетики и на основе возобновляемых источников энергии.

Задачи исследования:

анализ электроэнергетической и водохозяйственной систем Узбекистана для эффективного использования и создания гидроаккумулирующих электростанций;

разработка методов определения показателей энергетических и гидравлических характеристик и режимных параметров гидроаккумулирующих электростанций в энерговодохозяйственной системе;

усовершенствование методики оценки прогнозных технико-экономических показателей, планируемых гидроаккумулирующих электростанций в энерговодохозяйственной системе Узбекистана;

разработка научно-обоснованных исходных данных для разработки и проектирования гидроаккумулирующих электростанций на энерговодохозяйственных объектах в качестве манёвренного источника электроэнергетической системы Узбекистана;

определение возможности использования турбины Банки в турбинном режиме и центробежного насоса в двух режимах (турбинном и насосном) гидроаккумулирующих электростанций.

Объектом исследования являются гидроаккумулирующие электростанции в энерговодохозяйственной системе в качестве манёвренного источника для систем электроэнергетики и систем на основе возобновляемых источников энергии.

Предметом исследования является определение показателей энергетических и гидравлических характеристик и режимных параметров гидроаккумулирующих электростанций.

Методы исследования. В диссертационной работе использовались методы математического моделирования по выбору и обоснованию параметров гидроаккумулирующих электростанций, аналитические и графоаналитические методы определения показателей энергетических и гидравлических характеристик, а также режимных параметров гидроаккумулирующих электростанций; методы обработки результатов эксперимента; методы технико-экономической оценки проекта.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана технологическая схема гидроаккумулирующей электростанции с учетом суточного и сезонного режимов работы;

усовершенствована методика расчета основных параметров и режимов работы гидроаккумулирующей электростанции для условий низкого напора;

усовершенствована конструкция гидроаккумулирующей электростанции на основе гидротарана и установлено, что предельный коэффициент

полезного действия гидротарана равен 75% независимо от высоты подъема воды;

доказана эффективность использования турбины Банки в низконапорных гидроаккумулирующих энергоустановках при турбинном режиме на основе экспериментальных исследований.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

усовершенствована методика расчета технико-экономических показателей гидроаккумулирующих электростанций с учетом изменчивости потенциала водных ресурсов в системах электроэнергетики и на основе возобновляемых источников энергии;

разработана методика расчета энергогидравлических параметров гидроаккумулирующих электростанций в зависимости от изменения их основных режимных параметров;

разработана схема гидроаккумулирующей энергоустановки с гидротаранной установкой, позволяющая повышать эффективность работы гидроаккумулирующей электростанции в насосном режиме.

разработаны метод и программа для определения изменений энергогидравлических параметров во времени гидроаккумулирующих электростанций малой мощности.

Достоверность результатов исследований подтверждается использованием теоретических и практических методов определения гидравлических и энергетических параметров гидроаккумулирующих систем и показателей их режимов работы, а также современных подходов и методов их технико-экономического обоснования, соответствием по сути полученных результатов экспериментальных исследований с достигнутыми результатами других учёных.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в усовершенствовании методики расчёта по выбору и обоснованию параметров гидроаккумулирующих электростанций для эффективного использования в качестве манёвренного источника для электроэнергетической системы и систем на основе возобновляемых источников энергии.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что исходные данные могут быть непосредственно использованы при проектировании гидроаккумулирующих электростанций в республике с учетом энерговодохозяйственного назначения водных ресурсов и дает возможность разработки и создания усовершенствованных схем и конструкций гидроаккумулирующих электростанций.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов исследований по выбору и обоснованию параметров гидроаккумулирующих электростанций с учетом особенности их использования в энерговодохозяйственной системе Узбекистана:

усовершенствован способ использования гидроаккумулирующей электростанции с применением гидротаранов (патент на полезную модель Агентства интеллектуальной собственности, №FAP 01018, 15.06.2015 г.). В

результате разработанный способ позволил снизить потребление электроэнергии до 30% в насосном режиме гидроаккумулирующих электростанций;

методика определения энергогидравлических параметров гидроаккумулирующих электростанций внедрена в АО «Гидропроект» (справка АО «Узбекгидроэнерго» №02-14/3851 от 30 декабря 2020 г.). В результате она использована в расчётных работах по созданию гидроаккумулирующих электростанций на Туямуюнском гидроузле, Арнасайском, Талимарджанском и Ходжикентском водохранилищах и позволила дополнительно выработать 930,0 млн. кВт·час электроэнергии в год;

программа определения энерго-экономических показателей гидроаккумулирующих электростанций внедрена в АО «Гидропроект» (справка АО «Узбекгидроэнерго» №02-14/3851 от 30 декабря 2020 г.). В результате, на основе результатов расчета по созданию гидроаккумулирующих электростанций на четырех энерговодохозяйственных объектах Республики Узбекистана позволила сэкономить 139 тыс. т.у.т. топливных ресурсов в год.

Апробация результатов исследования. Основные результаты исследования были обсуждены на 5 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 29 научных работ, из них 5 в зарубежных журналах и 5 в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Кабинете Министров Республики Узбекистан, а также 1 учебник; получен 1 патент на полезную модель и 4 авторских свидетельства на программный продукт.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка опубликованных работ, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертации составляет 123 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, отмечено соответствие исследования основным приоритетным направлениям развития науки и технологий в республике, приведены обзор международных научных исследований по теме диссертации и степень изученности проблемы, сформулированы цель и задачи, указаны объекты, предмет и методы исследования, изложена научная новизна исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведены краткие сведения о внедрении результатов и апробации работы, а также об объеме и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **“Состояние и перспективы использования гидроаккумулирующих электростанций”** были изучены состояние и перспективы развития электроэнергетики и тенденция развития использования возобновляемых источников энергии в мире и Узбекистане, а также современное состояние использования ГАЭС в мире, перспективы развития использования ГАЭС в Узбекистане в качестве маневренного источника.

Рассматривались электроэнергетические системы (ЭЭС) Узбекистана, вопросы покрытия минимальных и максимальных суточных нагрузок и необходимость увеличения маневренных мощностей, которые, как следует из мирового опыта, должны составлять около 25% общей мощности энергосистемы. Обобщая опыта эксплуатационных показателей очевидно, что маневренными мощностями обладает ГЭС. Однако их доля в ЭЭС Узбекистана на сегодняшний день составляет около 13,3%.

Решение этой важнейшей задачи в Узбекистане связано с разработкой и созданием ГАЭС, как маневренных мощностей, что позволит также решать проблемы пиков и провалов нагрузки, а также будет способствовать снижению межстанционных перетоков энергии. Роль ГАЭС будет возрастать особенно с развитием энергосистем на основе ВИЭ, отличающихся существенной неравномерностью выработки энергии. На основе, проведённого обзора состояния вопроса были сформулированы цели и задачи по выбору и обоснованию параметров ГАЭС для эффективного использования в качестве маневренного источника для ЭЭС и систем на основе ВИЭ.

Вторая глава **«Исследование основных энергетических и гидравлических параметров и показателей характеристик гидроаккумулирующих электростанций»** посвящена анализу основных энергетических и гидравлических показателей ГАЭС, основным критериям по выбору параметров ГАЭС, задачам создания ГАЭС на существующих водохозяйственных объектах Республики Узбекистан, усовершенствованию методов расчёта по определению параметров и режимов работы ГАЭС, а также разработке и исследованию энергогидравлических параметров ГАЭС малой мощности и определению предельных характеристик гидротарана.

При проектно-изыскательских работах для проектирования и строительства ГАЭС по выбору и обоснованию её параметров в составе гидроэнергокомплексов (ГЭК), наряду с критерием минимальности капиталовложений (срока окупаемости), также необходимо учитывать переменность годовых издержек, а также в будущем и экологические факторы:

$$K_{ГЭК} = \sum_{i=1}^n K_{Э,i}; \quad (1) \quad I_{ГЭК} = I_{ВХЭК} + \sum_{i=1}^n I_{Э,i}; \quad (2)$$

где $I_{ВХЭК}$ – ежегодные издержки по водохозяйственным объектам, экологических факторов; $K_{Э}$, $I_{Э}$ – капитальные вложения и ежегодные издержки по гидроэнергетическим объектам.

Величины капиталовложения, ежегодных издержек и экологические факторы по объектам ГАЭС на прямую связаны с их основными параметрами (напор, расход, мощность и др.), то есть увеличение значений расхода приводит к увеличению объёмов бассейнов ГАЭС, что связано с затоплением больших территорий, приводящих к увеличению капиталовложений и ухудшению экологического состояния местности. Однако, увеличение напора приводит к возведению высоких плотин и дополнительных экономических расходов для обеспечения надёжности ГАЭС в сравнении с низконапорной схемой.

Искомая задача по определению основных параметров ГАЭС будет заключаться в распределении капиталовложений между объектами $i = 1...n$ и выборе соответствующего варианта решения $j = 1...m$, а также учитываются критерии техногенной безопасности.

Как известно, критерием для подобных расчётов является³

$$Z_{ГЭК, ij} = I_{ГЭК, ij} + \lambda K_{ГЭК, ij} + \sum U_{ij} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $\sum U$ – суммарный ущерб при вводе в эксплуатацию гидроэнергетических объектов (например, увеличение потери воды); λ – норматив эффективности для рассматриваемой совокупности варианта.

На основе выше указанных критериев было получено, что ГАЭС в республике целесообразно создавать в виде гидроэнергетических комплексов (ГЭК) на базе гидроузлов и водохранилищ.

Исходя из этого, рассмотрены задачи создания ГЭК с ГАЭС на Туямуюнском гидроузле, Арнасайском, Талимарджанском и Ходжикентском водохранилищах (рис.1). В результате:

- создание Туямуюнского ГЭК с 3-м ГАЭС и 5 ГЭС малой и средней мощности позволит увеличить выработку электроэнергии на 350 ГВт·час/год (рис. 1а);
- создание Талимарджанского ГЭК с 1-ой ГАЭС и 1-ой ГЭС даёт возможность выработать электроэнергию около 50,0 ГВт·час/год (рис. 1б);
- создание Арнасайского ГЭК с 4-м ГАЭС даёт возможность выработать электроэнергию не менее 350,0 ГВт·час/год (рис. 1в);
- строительство Ходжикентской ГАЭС мощностью 200 МВт даёт возможность выработать электроэнергию более 450 ГВт·час/год (рис. 1г).

Для низконапорных ГАЭС в настоящее время отсутствуют закономерности или зависимости между расходами в турбинном (ТР) и насосном режимах (НР). Анализ задачи показал, что в этом случае можно использовать наиболее близкие по расходам в ТР и НР аналоги. При этом получаем следующее условие:

$$Q_{НР} = (0,75...0,80) \cdot Q_{ТР}. \quad (4)$$

³ Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У. Гидроаккумулирующие электрические станции. – Ташкент: Изд-во «Фан ва технология», 2018. 212 с.

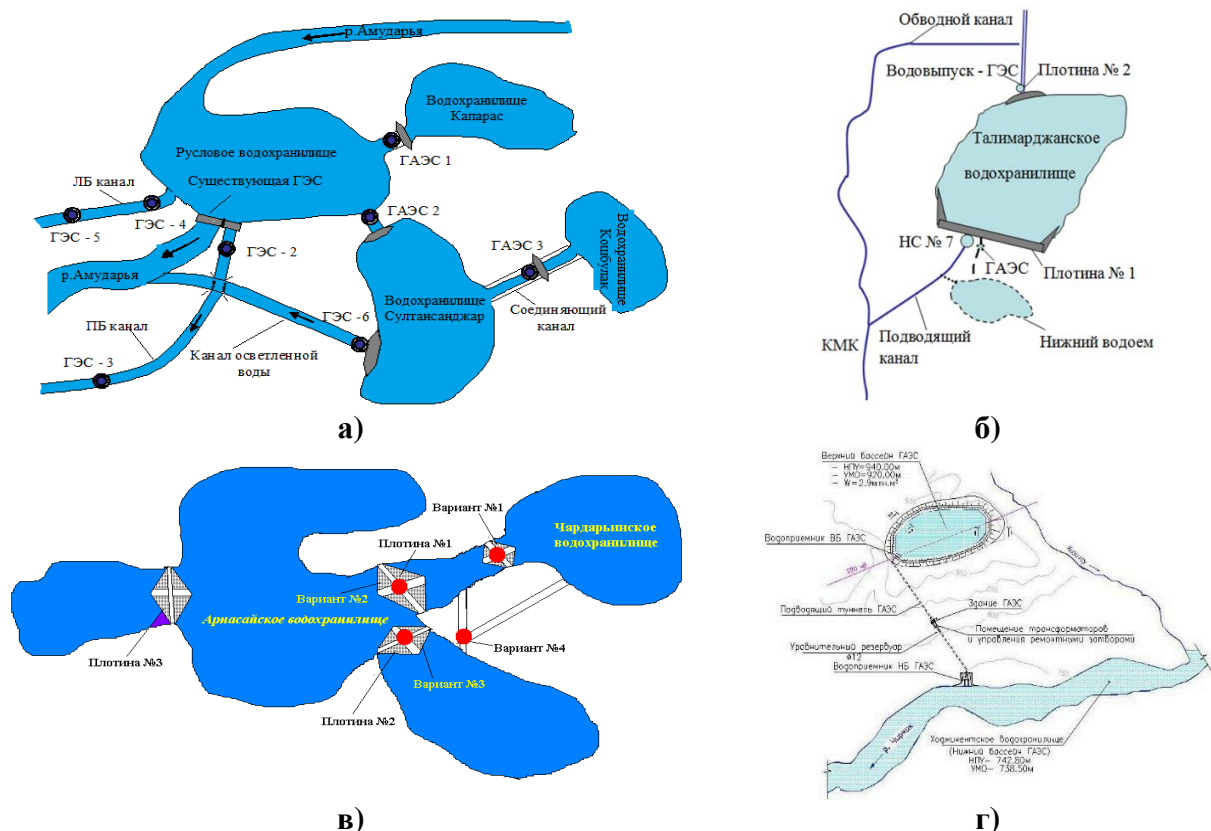


Рис. 1. Схемы создания ГЭК на энерговодохозяйственных объектах с использованием ГАЭС:

а) схема Туямуюнского ГЭК; б) схема Талимарджанского ГЭК;
в) схема Арнасайского ГЭК; г) схема размещения Ходжикентской ГАЭС.

КПД ГАЭС в целом зависит от нескольких факторов, в основном, от КПД ТР и НР ($\eta_{ТР}$ и $\eta_{НР}$), а также от КПД трубопровода ($\eta_{ТР}^{m-\partial}$ и $\eta_{НР}^{m-\partial}$) которые зависят от режимов работы ГАЭС. Исходя из этого, КПД ГАЭС можно определить:

$$\eta_{ГАЭС} = \eta_{ТР} \cdot \eta_{НР} \cdot \eta_{ТР}^{m-\partial} \cdot \eta_{НР}^{m-\partial}. \quad (5)$$

Исследования показывают, что КПД ГАЭС находится в диапазоне $\eta_{ГАЭС} = 0,7 \div 0,78$.

На основе полученных зависимостей была разработана программа определения режимных параметров ГАЭС (DGU 05155) при различных соотношениях между диаметром напорного водовода (D) и расхода в ТР ($Q_{ТР}$).

Характерные режимные параметры и показатели работы ГАЭС в ТР и НР приведены на рис. 2 и 3.

Данные рис. 2 и 3 позволяют определить характерные режимные параметры и рабочие показатели низконапорных ГАЭС по зависимости значений расхода воды, напора, мощности, КПД и электроэнергии ГАЭС в ТР и НР от диаметра напорного трубопровода и расхода воды в ТР.

Формулы (6) и (7) могут быть использованы для работы в ТР ($Q_{HP}=0$) или НР ($Q_{TP}=0$). При этом расход в ТР Q_{TP} ($Q_{HP}=0$) и зная его величину, можно определить время разрядки t_{TP} ГАЭУ:

$$Q_{TP} = \frac{S_1 \cdot S_2 \cdot (A + h_{2H} - h_{1H} - H_{TP} - h_W^{TP})}{t \cdot (S_1 + S_2)}; \quad t_{TP} = \frac{S_1 \cdot S_2 \cdot (A + h_{2H} - h_{1H} - H_{TP} - h_W^{TP})}{Q_{TP} \cdot (S_1 + S_2)}. \quad (8)$$

Аналогично, для работы ГАЭУ в НР расход Q_{HP} и время зарядки t_{HP} ГАЭУ будут равными:

$$Q_{HP} = \frac{S_1 \cdot S_2 \cdot (H_{HP} - A - h_{2H} + h_{1H} - h_W^{HP})}{t \cdot (S_1 + S_2)}; \quad t_{HP} = \frac{S_1 \cdot S_2 \cdot (H_{HP} - A - h_{2H} + h_{1H} - h_W^{HP})}{Q_{HP} \cdot (S_1 + S_2)}. \quad (9)$$

Полученные зависимости и созданная на её основе программа (DGU 05156) позволяют определять основные параметры ГАЭУ (напор, расход, мощность, время зарядки и разрядки), а также вырабатываемую турбиной и потребляемую насосом энергию, как в стационарном, так и нестационарном режимах работы ГАЭУ.

На рис. 5 и 6 показаны характерные зависимости мощности и напора в ГАЭС малой мощности от расхода.

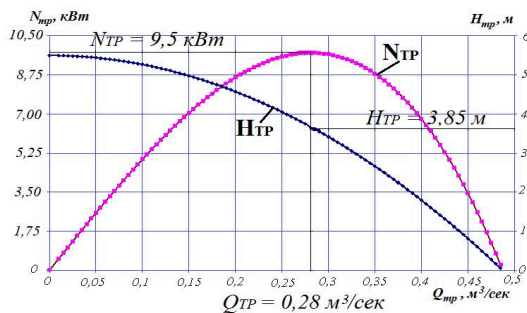


Рис. 5. Зависимость мощности и напора от расхода в ТР при стационарном режиме

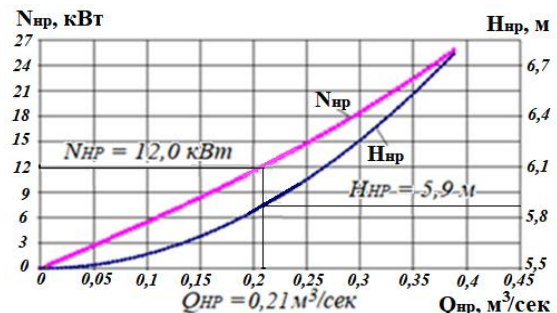


Рис. 6. Зависимость мощности и напора ГАЭС от расхода в НР при стационарном режиме

Как видно из рис. 5, в стационарном режиме работы ГАЭУ при заданном геометрическом напоре 5,0 м и различных расходах имеет место максимум мощности. Такая зависимость также влияет на кривые мощности и напора в насосном режиме (рис. 6).

Как известно, в автономных ГАЭС малой мощности один из способов подъёма движущейся воды на некоторую высоту возможен за счёт «гидроудара», то есть с помощью гидротарана (ГТН). Интерес к ГТНу обусловлен возможностью его использования для подъема воды на малых водотоках и ГАЭС малой мощности.

В связи с этим была рассмотрена задача определения предельной гидравлической эффективности и КПД ГТН.

На рис. 7 приведена принципиальная схема ГТН, где 1—вертикальная питательная труба высотой H и 2—нагнетательная труба с максимальным столбом воды высотой h_0 и массой m ($m = m_1 + m_2$, где m_1 — масса столба воды высотой Δh и m_2 — масса столба воды высотой h).

На основе анализа уравнения баланса энергии для предельного случая отсутствия потерь было получено выражение для предельной гидравлической эффективности η_m ГТН:

$$\eta_m = H \cdot x / (3h(1+x)^2) \quad (10)$$

где параметр $x = \Delta h/h$.

Из (10) следует, что η_m имеет максимум при $x=1$ или окончательно

$$\eta_m = m_1/m = 1/(12(h/H)) \quad (11)$$

Отметим, что в (11) m масса воды, движущейся в питательной трубе, которая при движении (падении) заполняет примерно 30% объема трубы, т.е. $m=m_0/3$, где m_0 – масса воды в полностью заполненной питательной трубе. Учитывая указанное, получим, что

$$\eta_{m0} = m_1/(m_0/3) \approx 1/(4(h/H)) \quad (12)$$

На рис. 8 приведена гидравлическая эффективность ГТН η_m и η_{m0} в зависимости от h/H . На практике более предпочтительно применение для оценок η_{m0} , т.к. величина m_0 обычно известна, при этом, если под m_1 понимать её среднее значение за несколько циклов работы ГТН, то получаем среднюю гидравлическую эффективность.

КПД ГТН η определяется как отношение энергии, затраченной на подъём воды массой m_1 на высоту h к полной кинетической энергии воды в питательной трубе, или

$$\eta = m_1 \cdot g \cdot h(x+2)/(m \cdot g \cdot H/3) \quad (13)$$

Для случая оптимального значения параметра $x=1$, или $\Delta h=h$ из (13) получаем, что предельное КПД гидравлического тарана не зависит от отношения h/H и равно $\eta=0.75$.

В третьей главе диссертации “Экспериментальные исследования по использованию турбины банки и центробежного насоса в режиме гидроаккумулирующей электростанции” приведены методика и результаты экспериментальных исследований по изучению возможности использования турбины Банки в турбинном режиме и центробежного насоса в двух режимах (турбинном и насосном) ГАЭС.

Экспериментальные исследования проведены с целью изучения возможности использования турбины Банки в ТР. Схема экспериментального стенда для исследования турбины Банки в ТР приведена на рис. 9.

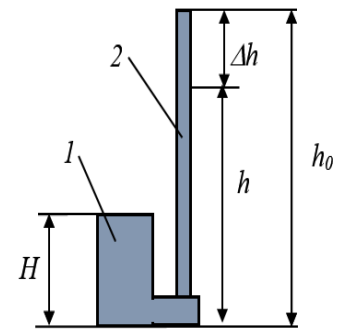


Рис. 7. Принципиальная схема ГТН

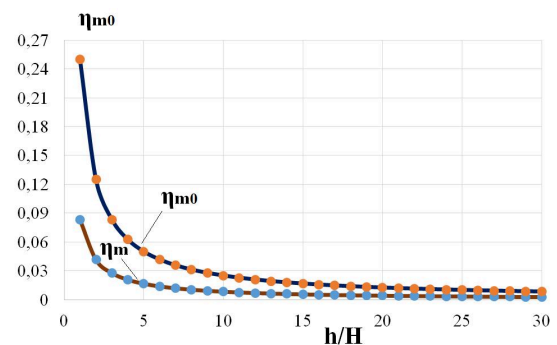


Рис. 8. Предельная гидравлическая эффективность ГТН в зависимости от относительной высоты подъема воды h/H .

Для определения расхода воды в напорном трубопроводе (3) использовался дифманометр (5), который калибровался с помощью расходомера «ULTRASONIC FLOWMETER TDS-100H».

По результатам испытаний были получены энергогидравлические характеристики турбины Банки в ТР (рис. 10). Выявлено, что при расходах до 45-50 л/с и напоре около 5 м турбина Банки вырабатывает мощность до 1,3 кВт с КПД 50 ± 5 %.

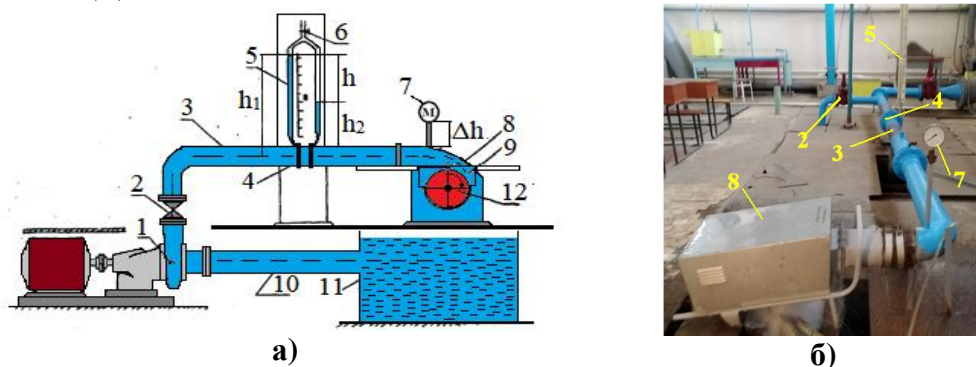


Рис. 9. Схема (а) и вид (б) экспериментального стенда для исследования характеристик турбины Банки в ТР

1 – насос; 2 – задвижка; 3 – напорный трубопровод; 4 - диафрагма; 5 – дифманометр; 6 – вентиль дифманометра; 7 – манометр; 8 – гидроагрегат с гидротурбиной Банки; 9 – кожух гидроагрегата; 10 – всасывающий трубопровод насоса; 11 – бак; 12 – вал.

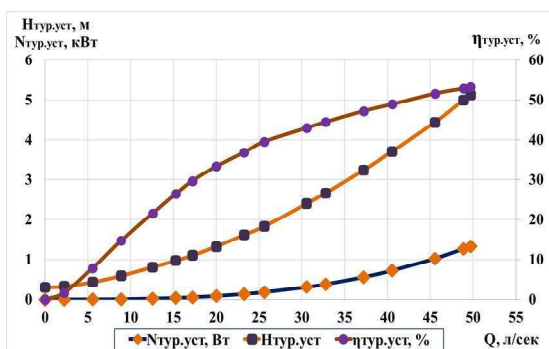


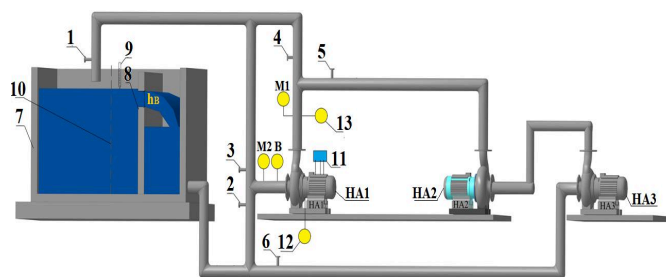
Рис. 10. Зависимости напора, мощности и КПД установки турбиной Банки от расхода

Из результатов исследований следует, что турбины Банки можно использовать в низконапорных ГАЭУ в четырех машинных схемах (отдельно турбинный и насосный агрегаты). При этом, учитывая более простую конструкцию турбины Банки и её хорошие эксплуатационные характеристики, можно будет улучшить технико-экономические показатели ГАЭУ.

Для исследования характеристик центробежного насоса 1,5К-6 в турбинном и насосном режимах был создан экспериментальный стенд, имитирующий работу насоса в режиме ГАЭС. На рис. 11 показана схема экспериментального стенда ГАЭС.

В ТР электродвигатель используется как асинхронный генератор, и он включается в сеть с переключением двух фаз. На основании результатов исследования было получено, что при его работе как асинхронного генератора КПД равно около 0,7.

Напор при работе насоса 1,5К-6 в ТР создается с помощью двух последовательно работающих насосов НА-2 и НА-3 типа К20/30-У2.



а)



б)

Рис. 11. Схема (а) и вид (б) экспериментального стенда ГАЭС

HA1 – центробежный насос типа 1,5К-6 с асинхронным электродвигателем КАМ-30; HA2 и HA3 – центробежные насосы типа К20/30-У2; 1, 2, 3, 4, 5, 6 – задвижка; 7 – бак; 8 – треугольный водослив с тонкой стенкой; 9 – мерная игла; 10 – успокаивающая решетка; 11 – измерительный комплект типа К 505; 12 – тахогенератор типа Д-ИММ; 13 – датчик давления типа ИД-8.

В результате проведенных исследований получены рабочие характеристики насоса 1,5К-6 в НР и ТР (рис. 12). Из рис. 12 видно, что значения напора и расхода в ТР больше, чем в НР, а КПД в НР больше, чем в ТР. Это согласуется с результатами исследований других авторов, как В.Н. Дедков, Фам Ши Хуан, М.А. Хусанов.

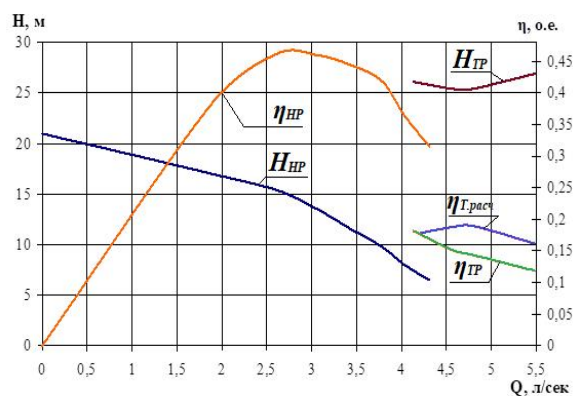


Рис. 12. Рабочие характеристики насоса 1,5К-6 в НР и ТР

В четвертой главе диссертации “Методы определения ресурсных показателей гидроаккумулирующих электростанций” приведены результаты исследования экономических, экологических и ресурсных показателей ГАЭС с различными мощностями, а также проведены SWOT и PEST анализы по использованию ГАЭС в ЭЭС Республике Узбекистан.

В связи со все большей актуальностью экологических проблем идет дальнейшее развитие методов определения экономической эффективности энергетических установок, позволяющих учитывать вопросы экологии. В частности, в исследованиях Б. Уришева показано, что при оценке эффективности ГАЭС, кроме её основной функции – маневренной мощности, также необходимо учитывать возможности повышения надежности и КПД существующих энергетических объектов и водохозяйственных систем, экономию топлива, что способствует также уменьшению выброса парниковых газов, улучшению экологического состояния воды – повышению насыщенности кислородом. В связи с этим в данной главе и были рассмотрены указанные задачи.

В общем случае годовая экономическая эффективность ГАЭС равна

$$\mathcal{E}_{\text{ГАЭС}} = S_{\text{ТР}} + \mathcal{E}_{\text{топливо}} + \mathcal{E}_{\text{к}} - I_{\text{ГАЭС}} - S_{\text{НР}} - 0,15 \cdot K_{\text{ГАЭС}}, \quad (14)$$

где $K_{ГАЭС}$ – капиталовложения в ГАЭС; $S_{ТР}$ – стоимость вырабатываемой электроэнергии ГАЭС в пиковый период; $S_{НР}$ – стоимость потребляемой электроэнергии ГАЭС в НР; $\mathcal{E}_{топлив}$ – стоимость годового сэкономленного топлива; $I_{ГАЭС}$ – годовые издержки ГАЭС; $\mathcal{E}_к$ – косвенные экономические эффекты, включающие эффекты от сокращения выбросов парниковых газов $\mathcal{E}_{ПГ}$, улучшения режимов работы существующих энергетических объектов (повышение надёжности и КПД) $\mathcal{E}_{ЭО}$ и повышения надёжности ЭЭС $\mathcal{E}_{ЭС}$, или

$$\mathcal{E}_к = \mathcal{E}_{ПГ} + \mathcal{E}_{ЭО} + \mathcal{E}_{ЭС} \quad (15)$$

Косвенные составляющие экономического эффекта $\mathcal{E}_{ЭО}$ и $\mathcal{E}_{ЭС}$ могут быть рассчитаны на основе данных по характеристикам работы существующих энергетических объектов и энергосистем – эффективность, надёжность, стабильность.

Полученные формулы носят общий характер, однако при оценке экономических эффектов для ГАЭС мощностью менее 100 кВт имеются особенности, т.е. не учитывается составляющая $0,15 \cdot K_{ГАЭС}$ (прочие расходы – затраты на инфраструктуру, экологию и т.д.) и $\mathcal{E}_{ЭО}$ и $\mathcal{E}_{ЭС}$ (косвенные эффекты).

На основе предложенной методики и программы (DGU 07363) были исследованы технико-экономические параметры ГАЭС по разработанным вариантам ГЭК на Туямуюнском гидроузле, Арнасайском, Талимарджанском и Ходжикентском водохранилищах:

Таблица 1

Технико-экономические параметры ГАЭС по разработанным вариантам гидроэнергокомплексов

№	Показатели ГАЭС	Единица измерения	Туямуюнский гидроузел	Арнасайское водохранилище	Талимарджанское водохранилище	Ходжикентское водохранилище
1.	Установленная мощность ГАЭС в ТР	МВт	39,4	159,8	18,47	200,0
2.	Годовая выработка электроэнергии в ТР	ГВт·час	86,5	350,0	40,45	452,6
3.	Годовая экономия топливных ресурсов	тыс. т.у.т.	12,95	52,500	6,060	67,900
		тыс. т.н.э.	9,065	36,755	4,248	47,530
4.	Сокращения годового выброса эмиссии CO ₂	тыс. тонн CO ₂	19,8	80,1	9,3	103,6
5.	Годовая экономическая эффективность	млрд.сум	24,3	109,5	5,44	564,55

Исходя из проведенных SWOT и PEST анализов видно, что есть как возможности, так и угрозы, причём положительными и сильными сторонами использования ГАЭС в ЭЭС Республики Узбекистан являются: развитие международной энергетической политики с соседними странами, выполнение намеченных задач в Концепции обеспечения Узбекистана электрической энергией на 2020–2030 годы, повышение манёвренной способности ЭЭС Узбекистана, уменьшение производственных издержек, уменьшение потерь электроэнергии при распределении, уменьшение выбросов CO₂, развитие «зелёной энергетики», повышение качества диспетчерского управления, минимизации потерь электроэнергии в ЭЭС, очень дешёвая электроэнергия, экономия топливных ресурсов и т.д.

Из отрицательных и слабых сторон наиболее существенными являются: использование кредитных ресурсов иностранных банков, длительный инвестиционный цикл и высокая капиталоемкость инвестиционных проектов, привлечение зарубежных специалистов по проектированию и строительству ГАЭС, нехватка кадров по эксплуатации ГАЭС, угроза техногенных катастроф и т.д.

На рис. 13 приведены удельные стоимостные характеристики ГАЭУ (амортизационная составляющая) и аналогичные показатели электрохимических аккумуляторов (АБ).

Как видно из рис. 13, стоимость аккумулированной энергии в ГАЭУ почти в 2 раза меньше, чем в свинцово-кислотных АБ. Также можно видеть, что приемлемая геометрическая высота (или высота подъема воды) составляет около 20 м, причем минимум достаточно пологий и допустимые высоты воды могут находиться в диапазоне от 10 м до 30 м.

Таким образом, несмотря на малые удельные накапливаемые энергии на единицу веса по экономическим характеристикам ГАЭУ не уступают лучшим электрохимическим АБ и могут быть использованы как накопители энергии в автономных энергоустановках на базе ВИЭ.

Анализ показал, что ГАЭУ в НР потребляет на 18-38% больше энергии чем вырабатываемой в ТР. Уменьшение этих затрат на подачу воды в верхний бассейн бесспорно повышает эффективность функционирования ГАЭУ.

Для достижения этой цели предложена новая конструкция ГАЭУ (FAR 01018) с гидравлическим тараном (ГТН) (рис.14).

Отрицательной стороной ГТН является то, что более половины подаваемой воды вытекает из отверстия ударного клапана в атмосферу. При оптимальных конструкциях ГТН около 40% воды, забираемой из видеоисточника, поступает в верхний бак

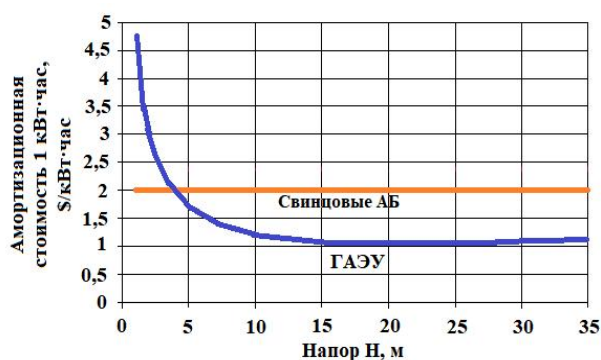


Рис. 13. Амортизационные удельные стоимости энергии в ГАЭУ и АБ.

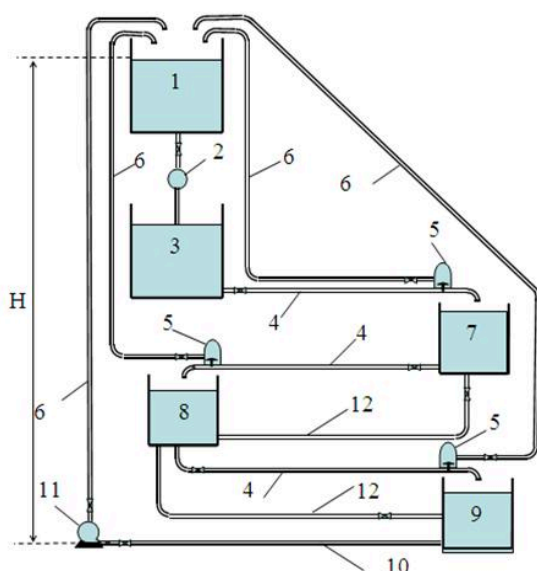


Рис. 14. Схема ГАЭУ с гидравлическими таранами

1–верхний бак; 2–турбина; 3–нижний бак; 4–водопроводящая труба; 5–гидравлические тараны; 6–напорные трубы; 7–питающий бак 2-го тарана; 8–питающий бак 3-го тарана; 9–питающий бак насоса; 10–всасывающая труба; 11–насос; 12–аварийные трубы.

С помощью этой конструкции без потребления электроэнергии можно перекачать объем воды, используемый в ТР в верхнем баке, то есть при применении от одного до четырех ГТН – от 40% до 87% объема воды.

Однако при увеличении числа ГТН увеличивается общий напор, что приводит к снижению надежности конструкций, повышению затрат на возведение сооружения и расхода на электроэнергию, потребляемую насосным агрегатом.

Экономические показатели рассмотренной ГАЭУ с ГТН при одинаковых мощностях по сравнению с традиционной схемой (рис. 4) в зависимости от числа ГТН за год дают возможность сэкономить от 44,6 до 113,73 МВт·час электроэнергии и получить прибыль от 1 338 до 3 142 долл. США.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучены потенциальные и технические возможности создания ГАЭС в регионах республики. Показано, что на четырех энерговодохозяйственных объектах – Туямуюнском, Арнасайском, Талимарджанском и Ходжикентском можно получить суммарную пиковую мощность около 418 МВт и дополнительно выработать более 930,0 млн. кВт·час/год электроэнергии, то есть:

- ГАЭС на Туямуюнском гидроузле даёт возможность получения суммарной мощности 39,4 МВт и выработки 86,5 млн. кВт·час/год электроэнергии;

- ГАЭС на Арнасайском водохранилище даёт возможность получения суммарной мощности 159,8 МВт и выработки 350,0 млн. кВт·час/год электроэнергии;

- ГАЭС на Талимарджанском водохранилище даёт возможность получения 18,473 МВт мощности и выработки 40,456 млн. кВт·час/год электроэнергии;

- ГАЭС на Ходжикентском водохранилище даёт возможность получения 200,0 МВт мощности и выработки 452,6 млн. кВт·час/год электроэнергии.

2. Изучены ресурсные, технико-экономические и экологические показатели использования ГАЭС на четырех энерговодохозяйственных

объектах – Туямуюнском, Арнасайском, Талимарджанском и Ходжикентском, в климатических условиях республики выявлено, что:

- срок окупаемости – 5÷6 лет;
- режим работы в зависимости от сезонной потребности ЭЭС:
 - § в турбинном режиме – 4÷6 часов;
 - § в насосном режиме – 6÷8 часов;
- экономия топливных ресурсов – 139,4 тыс. т.у.т./год (97,58 тыс. т.н.э./год);
- сокращение годового выброса эмиссии CO₂ – 213 тыс. т/год;
- экологическая эффективность – 3,195 млн.\$/год (32,11 млрд. сум/год);
- экономическая эффективность – 700 млрд. сум/год.

3. Разработана усовершенствованная конструкция ГАЭС для автономных потребителей с использованием гидротаранов (FAP 01018), которая позволяет уменьшить время и затраты на зарядку бака-аккумулятора на 15-30% в зависимости от числа гидротаранов и предложены выражения для определения предельной гидравлической эффективности и КПД гидротарана на основе баланса энергии. Показано, что предельный КПД гидротарана составляет 75 %, и не зависит от высоты подъема воды, а предельная гидравлическая эффективность гидротарана не может превышать 25 %.

4. Разработан и создан стенд для экспериментального исследования основных элементов ГАЭС – гидротурбины и насоса при низких напорах. Показано, что в таких ГАЭС могут применяться турбины Банки для турбинного режима и центробежные насосы в двух режимах (турбинные и насосные) работы, что позволяет снизить стоимость установки на 10-15% и повысить эффективность работы ГАЭС на 5-10%.

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

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

DZHURAEV KURBON SALIKHDJANOVICH

**SELECTION AND JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF
PUMPED STORAGE POWER PLANTS AND THE CONDITIONS FOR
THEIR USE IN THE ENERGY AND WATER MANAGEMENT SYSTEM
OF UZBEKISTAN**

05.05.06 - Power installations on the basis of renewable energy

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

The topic of dissertation of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekista with number B2021.3.PhD/T774.

Dissertation has been prepared at the Tashkent State Technical University.

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

Scientific consultant:

Mukhammadiev Muradulla Mukhammadievich
Doctor of Technical Sciences, professor

Official opponents:

Avezova Nilufar Rabbanakulovna
Doctor of Technical Sciences, leading researcher

Elistratov Viktor Vasilevich
Doctor of Technical Sciences, professor

Leading organization:

Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers

The defense of dissertation will be take place «30» october 2021 at 10⁰⁰ hours at meeting of Scientific Council DSc.03/10.12.2019.T.03.03 Tashkent State Technical University. (Address: 2, University str., Tashkent 100095. Phone: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

The doctoral (PhD) dissertation can be reviwed at the Information-resource Center of the Tashkent State Technical University (Registered number - 220). Address: 2, University str., Tashkent 100095. Phone: (99871) 246-03-41)

Abstract of dissertation was distributed on «15» october 2021 year.

(mailing report No 5 on «11» october 2021 year).



K.R. Allaev

Chairman of Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor Academician

O.Kh. Ishnazarov

Scientific secretary of the Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

R.P. Babahodzhaev

Chairman of the scientific seminar under
Scientific Council on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research is to select and justify the parameters of pumped storage power plants, taking into account the peculiarities of their use as a maneuverable source for electric power systems and systems based on renewable energy sources.

The tasks of the research:

analysis of the electric power and water management systems of Uzbekistan for the effective use and creation of pumped storage power plants;

development of methods for determining indicators of energy and hydraulic characteristics and operating parameters of pumped storage power plants in the energy and water management system;

improvement of the methodology for assessing the forecast technical and economic indicators of the planned pumped storage power plants in the energy and water system of Uzbekistan;

development of scientifically-substantiate initial data for the development and projecting of pumped storage power plants at energy and water management objects as a maneuverable source of the electric power system of Uzbekistan;

determination of the possibility of using the turbine Banki in turbine mode and a centrifugal pump in two modes (turbine and pumping) of pumped storage power plants.

The object of the research is pumped storage power plants in the energy and water management system as a maneuverable source for electric power systems and systems based on renewable energy sources.

The scientific novelty of the research consists of following:

developed the technological scheme of the pumped storage power plant the taking into account the daily and seasonal operating modes;

improved the method of calculating the main parameters and operating modes of a pumped storage power plant for low head conditions;

improved the construction of the pumped storage power plant based on the hydraulic ram and established that the limiting efficiency of a hydraulic ram is equal to 75% regardless of the height of the water rise;

proven the efficiency of using the Banki turbine in low-head pumped storage power installations in turbine mode on the basis of experimental research.

The practical results of the study are as follows:

improved the methodology for calculating the technical and economic indicators of pumped storage power plants, taking into account the variability of the potential of water resources in electric power systems and systems on the basis of renewable energy sources;

developed a method for calculating the energy-hydraulic parameters of pumped storage power plants, depending on changes in their main operating parameters;

developed a scheme of a pumped storage power installations with a hydraulic ram installation, which makes it possible to increase the efficiency of the pumped storage power plant in pumping mode;

a method and a program have been developed to determine changes in energy-hydraulic parameters over time in pumped storage power plants of low power.

Implementation of research results. Based on the results of research on the selection and justification of the parameters of pumped storage power plants, taking into account the peculiarities of their use in the energy and water management system of Uzbekistan:

the method of using a pumped storage power plant with the use of hydraulic rams has been improved (patent for a utility model of the Intellectual Property Agency, №FAP 01018, 15.06.2015). As a result, the developed method made it possible to reduce electricity consumption by up to 30% in the pumping mode of pumped storage power plants;

the method for determining the energy-hydraulic parameters of pumped storage power plants has been introduced at JSC "Hydroproject" (reference of JSC "Uzbekhydroenergo" No. 02-14/3851 dated December 30, 2020). As a result, it was used in the calculated work on the creation of pumped storage power plants at the Tuyamuyun hydrocomplex, Arnasay, Talimarjan and Khodjикent reservoirs and allowed to additionally generate 930.0 million kWh of electricity per year;

the program for determining the energy and economic indicators of pumped storage power plants has been implemented in JSC "Hydroproject" (reference of JSC "Uzbekhydroenergo" No. 02-14/3851 dated December 30, 2020). As a result, based on the calculation results for the creation of pumped storage power plants at at four energy and water management objects of the Republic of Uzbekistan, it allowed saving 139 thousand t.f.e. fuel resources per year.

The structure and volume of the thesis. The content of the dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, list of publications, a list of references and applications. The volume of the dissertation is 123 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Mukhammadiev M.M., Dzhuraev K.S., Klychev I.Sh. Capabilities of Hydroelectric Pumped-Storage Stand-Alone Power Plants// Applied Solar Energy, 49(4), New York (USA), 2013. -pp.267-271. (05.00.00; №4).
2. Klychev I. Sh., Mukhammadiev M. M., Nizamov O.Kh., Mamadierov E.K., Dzhuraev K.S., Saifiev A.U. Method for calculating the power of combined autonomous electric power plants// Applied Solar Energy, 50(3), New York (USA), 2014. -pp.196-201. (05.00.00; №4).
3. Mukhammadiev M.M., Dzhuraev K.S. Justification of the energy and economic parameters of pumped storage power plants in Uzbekistan// Applied Solar Energy, 56(3), New York (USA), 2020. – pp.227-232. (05.00.00; №4).
4. Джураев К.С. Использование гидропотенциала Арнасайского и Чардаринского водохранилища с применением гидроаккумулирующих электростанций// Журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения» Спецвыпуск, № 1-2, 2014. -с.85-90. (05.00.00; №21).
5. Джураев К.С., Бобокулов У.Э. Разработка гидроаккумулирующих электростанций с оптимальной компоновкой горизонтальных агрегатов// Журнал «Вестник ТашГТУ», №3, Ташкент, 2014. -с.78-84. (05.00.00; №16).
6. Мухаммадиев М.М., Гловацкий О.Я., Джураев К.С., Печейкина Е.А. Исследование элементов компоновки проточного тракта блока ГАЭС// Журнал “Фан ва технологиялар тараққиёти”, №1, Бухара, 2018. -с.95-99. (05.00.00; №24)
7. Джураев К.С., Шадибекова Ф.Т., Усмонов Х.Т. Расчет параметров и режимов работы гидроаккумулирующей установки малой мощности// Журнал «Вестник ТашГТУ», №2, Ташкент, 2018. -с.79-86. (05.00.00; №16)
8. Джураев К.С., Шадибекова Ф.Т., Усмонов Х.Т. Перспективы строительства ГАЭС в Узбекистане// Журнал «Вестник ТашГТУ», №1, Ташкент, 2019. -с. 83-90. (05.00.00; №16)
9. Мухаммадиев М.М., Джураев К.С., Абдурауф Абдуазиз уулу. Комбинированные режимы работы гидравлической, солнечной и ветровой энергетических установок// Международная рецензируемая научная конференция “Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы”, Часть I, Ташкент, 28 мая 2020. - с.179-184. (Постановление ВАК №118 от 13.05.2020г.)
10. Мухаммадиев М., Джураев К.С., Муродов Х.Н. Перспективы использования гидроаккумулирующей электростанции// Международная рецензируемая научная конференция “Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы”, Часть IV, Ташкент, 28 мая 2020. -с.166-172. (Постановление ВАК №118 от 13.05.2020г.)

II бўлим (II часть; II part)

11. Muxammadiyev M.M., Urishev B.U., Djurayev K.S. Hidroenergetik qurilmalar. Darslik. – T.: “Fan va texnologiya” nashiryoti. 2015. – 320 b.

12. Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У., Джураев К.С., Жураев С.Р., Хидиров А.А., Бейтуллаева Р.Х., Темиров Э.Г. Гидроаккумулирующая электрическая станция// Патент на полезную модель №FAP 01018, 15.06.2015.

13. Мухаммадиев М.М., Джураев К.С., Уришев Б.У., Клычев Ш.И., Рахимов С.М., Абдуазиз уулу Абдурауф. Программа по определению экономической эффективности комбинированных энергоустановок на базе возобновляемых источников энергии// Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №DGU 03180, 01.06.2015

14. Мухаммадиев М.М., Джураев К.С., Уришев Б.У., Гадаев С.К., Собиров А.Т., Хамдамов У.Б. Программа определения режимных параметров ГАЭС// Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №DGU 05155, 23.03.2018.

15. Мухаммадиев М.М., Джураев К.С., Уришев Б.У., Дусмуродов Ж.М., Нуриддинов О.Б. Программа определения энергогидравлических параметров ГАЭС малой мощности// Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №DGU 05156, 23.03.2018.

16. Мухаммадиев М.М., Джураев К.С., Жураев С.Р., Куланов Ж.Б., Маматкулов Д.А. Программа по определению энерго-экономических параметров гидроаккумулирующих электростанций// Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №DGU 07363, 19.12.2019.

17. Dzhuraev K., Nasrulin A., Shadibekova F., Kurbonov Sh. Geoinformation systems at the selection of engineering infrastructure of pumped storage hydropower for the Tuyamuyun complex. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 869, Number 4, Engineering Infrastructure, IOP Publishing, Hanoi (Vietnam), 2020. – pp.1-10. (www.scopus.com)

18. Мухаммадиев М.М., Джураев К.С., Жураев С.Р. Техно-экономическое обоснование строительства ГАЭС в Узбекистане// Журнал “Экология плюс”, №3, Россия-Украина, 2011. -с.12-18

19. Джураев К.С., Мукольянц А.А. Перспективы и особенности строительства ГАЭС в Узбекистане// Международный научный журнал «Молодой ученый», Технические науки, часть I, № 27 (131), Казань (Россия), 2016. -с.64-68.

20. Джураев К.С., Абдуалиев А.Й., Палуанов Д.Т. Определение коэффициента полезного действия центробежного насоса в турбинном режиме по каталожным данным и параметрам рабочего колеса// Журнал “Вестник Прикаспия”, №2(17), Астраханская область, Россия, 2017. -с.40-44.

21. Джураев К.С., Саидов Ф.С., Шадибекова Ф.Т. Проектирование и строительство гидроаккумулирующих электростанций в условиях Узбекистана// Международный научно-исследовательский журнал «Евразийский союз ученых», №5 (62), 2- часть, Москва (Россия), 2019. -с.70-74. DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.2.62.

22. Джураев К.С., Шадибекова Ф., Есемуратова Ш., Джуманиязова Н. Рекомендация по строительству ГАЭС на Талимарджанском водохранилище и её технико-экономическое обоснование// “Ўзбекгидроэнергетика” илмий-техник журнали, №2, Тошкент, 2020. – Б.46-49.

23. Mukhammadiev M.M., Dzhuraev K.S. Explanation energy and economic parameters of the medium powered of a pumped storage power plants in Uzbekistan// International Conference “Solar energy: Trends of researchs and developments” Academy of Sciences of Republic of Uzbekistan, Physical-Technical Institute, Tashkent, 20-21 December 2019. – pp.69-70

24. Мухаммадиев М.М., Ташматов Х.К., Джураев К.С. Анализ основных режимов работы и конструкции ГАЭС// «Энергия ресурсларини тежашда альтернатив энергия манбаларидан фойдаланиш: муаммолар ва ечимлар» мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани материаллари. – Қарши: ҚарДУ, 24-25 декабрь 2008. -с.37-39.

25. Уришев Б.У, Мухаммадиев М.М, Джураев К.С., Мухаммадиев С.М. Об аккумулировании гидравлической энергии воды// САНИИРИ на пути к интегрированному управлению водными ресурсами // Сб. научн. Трудов. - Ташкент: НИЦ МКВК, 2010. -с.109-115.

26. Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У., Джураев К.С., Мамадиёров Э.К. Гидроаккумуляцион электр станцияси// Международная научно-практическая конференция «Инновация-2013». Сборник научных статей, ТашГТУ, Ташкент, 2013. -с.164-165.

27. Мухаммадиев М.М., Джураев К.С., Мамадиёров Э.К. Управление гибридными энергоустановками малой мощности на базе ВИЭ// Сборник научных трудов 7-ой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: управление, качество и энергоэффективность» с международным участием, г. Благовещенск (Россия), 2013. -с.270-273.

28. Мухаммадиев М.М., Джураев К.С., Мукольянц А.А., Сотникова И.В. Использование гидроаккумулирующих электростанций малой мощности как решение проблемы обеспечения электроэнергией фермерских и индивидуальных хозяйств// Прогрессивные технологии и процессы: Сборник научных статей Международной молодежной научно-практической конференции (25-26 сентября 2014 года), Том 2, ЮЗГУ, Курск, Россия, 2014. -с.92-96.

29. Мухаммадиев М.М., Джураев К.С. Методика определения технико-экономических показателей гидроаккумулирующей электростанции в условиях эксплуатации Туямуюнского гидроузла// Международная научно-практическая конференция “Повышение эффективности, надежности и безопасности гидротехнических сооружений”, Сборник научных трудов, 2-том, ТИИИМСХ, Ташкент, 22-23 мая 2018 г. -с.423-429.

Автореферат «ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ВА ИННОВАЦИЯ» илмий журнали
таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз (резюме)
тилларидаги матнлари мослиги текширилди (7.09.2021 й.).

Босишга рухсат этилди: 07.10.2021 йил.
Бичими 60x84 ¹/₁₆, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулда босилади.
Шартли босма табоғи: 3,0625 (49 бет). Адади 100. Буюртма № 50.
Тел.: (71) 207 97 98 (3013); (97) 712 86 66

Нашриёт гувоҳномаси № 10-4445.30.08.2019.
“Таълим сифатини баҳолаш бўйича халқаро тадқиқотларни амалга
ошириш миллий марказининг матбаа бўлими” босмахонасида чоп этилган.
Тошкент шаҳри, Чилонзор тумани, Нурхон кўчаси, 21- уй.

