

АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН
Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экология

ВАЗОРАТИ ЭНЕРГЕТИКА ВА ЗАХИРАҲОИ ОБИ
ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
Донишкадаи энергетикӣи Тоҷикистон

ВБД 621.311.3:62-4

Ба ҳуқуқи дастнавис



ХОЛМИРЗОЗОДА Дустмуҳаммад Нуруло

БАЛАНД БАРДОШТАНИ САМАРАНОКИИ ЭНЕРГЕТИКИИ
НЕРУГОҲҲОИ БАҶҲОИ ОБИИ ХУРД
(дар мисоли неругоҳи Октябр)

АВТОРЕФЕРАТИ

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмӣ номзади илмҳои
техникӣ аз рӯи ихтисоси 05.14.00 – Энергетика
(05.14.02 – Неругоҳҳои барқӣ ва системаҳои электроэнергетикӣ)

Кӯшонӣ – 2025

Рисола дар лабораторияи «Энергетика, захира- ва энергиясарфанамоӣ»-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ва дар кафедраи «Автоматонии ҳаракатоварҳои барқӣ»-и Донишкадаи энергетикаи Тоҷикистон иҷро шудааст.

Роҳбари илмӣ:

Абдурахмонов Абдукарим Якубович,
доктори илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи «Ҳаракатоварҳои автоматикунонидашудаи электрикӣ ва мошинаҳои электрикӣ» - и ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ.

Муқарризони расмӣ:

Азизов Рустам Очилдиевич,
доктори илмҳои техникӣ, профессор, академики Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Ғаниев Зокирҷон Султонович,
номзади илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи «Электроэнергетика» - и филиали Донишгоҳи миллии тадқиқоти «ДЭМ» дар ш. Душанбе

Муассисаи пешбар:

Донишкадаи кӯхию металлургии Тоҷикистон,
ш. Бӯстон

Ҳимояи диссертатсия санаи «17» октябри соли 2025, соати 14:00 дар ҷаласаи шурои диссертатсионии 6D.КOA-083 оид ба ҳимояи рисолаҳои номзадӣ дар заминаи Донишкадаи энергетикаи Тоҷикистон бо суроғай: 735162, Ҷумҳурии Тоҷикистон, вилояти Хатлон, ноҳияи Кӯшонӣён, шаҳраки Бохтариён, кӯчаи Н. Хусрав, 73 баргузор мегардад. E-mail: messi.ilhom@yandex.ru

Бо рисола метавон дар китобхонаи Донишкадаи энергетикаи Тоҷикистон ва дар сомонаи расмӣ он: <https://tpei.tj/shuroi-dissertatsioni/> шинос шуд.

Автореферат « ____ » _____ с. 2025 фиростода шудааст.

Котиби илмӣ
Шурои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои техникӣ, дотсент



Махсумов И.Б.

МУҚАДДИМА

Мубрамии мавзуи таҳқиқот. Аҳамияти мавзӯи таҳқиқот дар заминаи вазъи кунунии устувории низоми энергетикаи Ҷумҳурии Тоҷикистон боз ҳам равшантар мегардад. Дар чанд соли охир, норасоии мунтазами нерӯи барқ яке аз мушкилоти ҷидди рушди иқтисодиву иҷтимоии кишвар боқӣ мондааст. Гарчанде ки ҳаҷми истеҳсоли солонаи нерӯи барқ дар соли 2024 ба зиёда аз 21 миллиард кВт-соат расид, талаботи умумии кишвар аз ин нишондиҳанда каме бештар тақрибан 17,4 миллиард кВт-соат буд. Бо вучуди ин, тибқи маълумоти расмӣ Ширкати саҳомии холдингии кушодаи «Барқи Тоҷик», норасоии умумии энергетикӣ дар ин сол ба 152 891 кВт-соат баробар гардид. Ин вазъ нишон медиҳад, ки захираҳои мавҷуда ба таври самаранок истифода намешаванд ва зарурати таҳияи тадбирҳои муассир барои коҳиши норасоӣ ва баланд бардоштани самаранокии истифодаи энергия ба миён меояд.

Бо вучуди ин, фаъолияти самараноки НБОХ бо як қатор мушкилоти техникӣ ва ташкилии ҷиддӣ рӯбарӯ аст. Аз ҷумла, масъалаҳои марбут ба таъмини эътимоднокии кори онҳо, сатҳи пасти автоматикунонии равандҳои идоракунии ва набудани системаҳои муосири танзими қор дар ҳолати тағйирёбии сарборӣ, то ҳол пурра ҳал нашудаанд. Маҳз аз ҳамин ҷиҳат, таҳияи қарорҳои илмӣ дар самти баланд бардоштани самаранокии ва эътимоднокии генератори барқ дар ҳайати НБОХ ва таҷҳизоти автоматикунонидашуда, дорои аҳамияти баланди амалӣ, иқтисодӣ ва илмӣ мебошад.

Дарачаи коркарди илмӣ проблемаи мавриди омӯзиш: мубрамияти мавзӯи кори диссертатсионӣ боис ба ҷалби таваҷҷуҳи назаррас ва сафарбаршавии васеи қувваҳои илмӣ-тадқиқотӣ гардидааст. Дар ин самт корҳои зиёди назаррас анҷом дода шудаанд.

Бо дарназардошти дурнамои рушди неругоҳҳои барқи обии хурд дар Ҷумҳурии Тоҷикистон, дар муассисаҳои таҳсилоти олии кишвар, аз ҷумла Донишкадаи энергетикаи Тоҷикистон ва Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, иттилооти илмӣ ва таҷрибавии фаровон ҷамъоварӣ ва таҳия шудааст.

Махсусан, саҳми олимони Донишкадаи энергетикаи Тоҷикистон Аминов Д.С., Давлатов А.М. ва Гулов Д.Ю. дар самти таҳияи конструксия ва лоиҳакашии генераторҳои асинхронӣ ва синхронӣ барои неругоҳҳои барқи обии хурд, инчунин дар тақмили мошинҳои вентиلى бо системаи ангишии электромагнитӣ қобили зикр аст. Дар Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ бошад, олимони Абдурахмонов А.Я., Киргизов А.К., Диёрзода Р.Ш. ва Қасобов Л.С. тӯли чанд соли охир ба таҳқиқ ва таҳияи маводҳо ва технологияҳо барои истифодаи самараноки захираҳои гидроэнергетикӣ машғуланд.

Тадқиқоти илмӣ анҷомёфта дар Донишгоҳи давлатии Урали Ҷанубӣ низ дар самти коркард ва татбиқи манбаъҳои алтернативии энергия қобили таваҷҷуҳ мебошанд. Хусусан корҳои илмӣ муҳаққиқон Ганджа С.А.,

Воронин С.Г., Усынин Ю.С. ва Григорьев М.А., ки дар пойгоҳҳои байналмилалӣ Scopus ва Web of Science ҷой дода шудаанд, аҳамияти илмӣ баланд доранд.

Дар ҷараёни ин таҳқиқот, навъҳои гуногуни нерӯгоҳҳои барқи обии хурд, намудҳои сершумори генераторҳо ва низомҳои муосири идоракунии онҳо мавриди омӯзиши амиқ ва таҳлили низомнок қарор гирифтанд. Аз ҷумла, моделҳои генераторҳое, ки дар асоси принсипи индуктсияи магнитии баланд ва ҳамкорӣ бо вентиляторҳо фаъолият мекунанд, аз ҷиҳати кори ҳамзамон бо дигар элементҳои системаҳои электромеханикӣ муҳокима ва арзёбӣ шуданд. Бо истифода аз равишҳои замонавии моделсозии динамикӣ ва таҳлили низомҳои мураккаби электромеханикӣ, ки бо василаи платформаҳои муҳандисии рақамӣ амалӣ мегардад, натиҷаҳои муассир ба даст оварда шуданд.

Гарчанде ки дар самти баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ нерӯгоҳҳои барқи обии хурд як қатор дастовардҳои арзишманд аз ҷониби муҳаққиқони дохилӣ хориҷӣ ба даст оварда шудаанд, дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон, новобаста аз таваҷҷуҳи рӯзафзуни Ҳукумати ҷумҳурӣ ба рушди гидроэнергетикаи хурд, то ҳол як зумра мушкилоти муҳими илмию техникӣ ҳалли комил наёфтаанд.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо) ва мавзӯҳои илмӣ. Мавзӯи таҳқиқот бо ҳадафҳо ва вазифаҳои «Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030», «Барномаи таъмини амнияти энергетикӣ ва истифодаи самараноки нерӯи барқ» ва «Консепсияи рушди иқтисоди рақамӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон» иртиботи мустақим дошта, татбиқи амалии онҳоро дастгирӣ мекунад.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот дар таҳияи усулҳои илмӣ асоснокшудаи автоматикунории кори нерӯгоҳҳои барқи обии хурд ифода меёбад, ки бо дарназардошти хусусиятҳои речаи кори турбинаҳои обӣ ва генераторҳои электрикӣ ба баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ ва устувории кори онҳо равона шудаанд.

Вазифаҳои асосии тадқиқот:

1. Таҳлили сохтор ва принсипи фаъолияти нерӯгоҳи барқи обии хурди «Октябрь» ва низоми обгузари «Болға Басған» бо дарназардошти хусусиятҳои техникӣ таҷҳизот ва режими кори онҳо;

2. Асосноксозии сохтори функционалии НБОХ бо истифода аз маҷмӯи таҷҳизоти боэътимод, ки фаъолияти устувори низоми энергетикӣ маҳаллиро таъмин менамояд;

3. Интиҳоб ва асосноксозии модели оптималии генератор барои таъмини сатҳи баланди эътимодноӣ, мутобиқ ба шароити мушаххаси қор;

4. Таҳия ва тақмили алгоритмҳои идоракунии ва ҳамроҳангсозии марҳилаҳои таҳия, тарҳрезӣ ва татбиқи лоиҳаҳои нерӯгоҳҳои хурди барқи обӣ;

5. Интихоби шакли оптималии насосҳо ва муайянсозии параметрҳои асосии онҳо барои истифода дар таркиби турбинаҳои обӣ.

Объекти таҳқиқот: неругоҳҳои барқи обии хурди «Октябр» дар вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон.

Мавзӯи (предмет) таҳқиқот: дар қори диссертатсионӣ хусусиятҳои техникую технологӣ ва самаранокии қори неругоҳи барқи обии хурд, воқеъ дар канали «Болға Басған»–и ноҳияи Кӯшонӣни вилояти Хатлон, ҳамчун объекти воқеии таҳқиқот мавриди омӯзиш ва таҳлил қарор дода шудаанд.

Методи таҳқиқот. Дар раванди иҷрои таҳқиқот методикаи таҳлили зина ба зинаи ҳар як элементи таркибии неругоҳи барқи обии хурд бо назардошти таъсири мутақобилаи онҳо ба системаи умумӣ истифода шудааст. Барои таҳлили қори неругоҳ моделҳои математикӣ таҳия ва татбиқ гардиданд, ки хусусиятҳои динамикӣ ва статикии системаҳои электромеханикиро инъикос менамоянд. Натиҷаҳои асосӣ дар шакли моделҳои математикӣ пешниҳод шуда, бо MATLAB/Simulink ва ANSYS амалӣ ва таҳлил гардиданд.

Навгони илмӣ таҳқиқот: дар натиҷаи таҳқиқоти гузаронидашуда, як қатор натиҷаҳои нав ҳамчун дастовардҳои илмӣ ин қор пешниҳод мегарданд, ки дорои аҳамияти назаррас барои рушди технологияи неругоҳҳои барқи обии хурд мебошанд:

1. Пешниҳоди сохтори оптималии неругоҳи барқи обии хурди «Октябр», ки бо қорӣ намудани зерсохторҳои автономӣ ва низоми автоматонии идорақунӣ мутобиқ ба хусусиятҳои техникий канали обгузари «Болға Басған» амалӣ мегардад. Ин сохтор ба баланд бардоштани эътимоднокӣ ва мутобиқшавӣ ба шароити мушаххас мусоидат мекунад.

2. Таҳия ва пешниҳоди модели рақамии генератори барқӣ, ки имконият медиҳад нишондиҳандаҳои самаранокӣ ва устувории қори неругоҳҳои хурди обӣ дар шароити тағйирёбандаи сарборӣ беҳтар қарда шаванд.

3. Қорқарди модели математикӣ барои таҳлили речаҳои қори НБОХ, ки асос барои оптимизатсияи иқтидори энергетикӣ ва баланд бардоштани самаранокии умумии неругоҳ фароҳам месозад.

4. Татбиқи таҷрибавии лоиҳаи намунавии НБОХ бо дарназардошти параметрҳои воқеии шароити гидрологӣ ва асосноккунии техникий тарҳ дар асоси моделсозии рақамӣ, ки имкони санҷиши саҳеҳ ва танзими режимҳои қориро таъмин менамояд.

Аҳамияти назариявӣ ва илмию амалии таҳқиқот:

1. Дар натиҷаи таҳқиқоти илмӣ дар ин қор, самтҳои рушди минбаъдаи системаҳои энергетикӣ муттаҳид, махсусан дар баҳши таҷдид ва такмили насоси марказгурез ва генераторҳои истифодашаванда дар неругоҳҳои барқи обии хурд, пешниҳод гардидаанд.

2. Натиҷаи асосии амалӣ таҳияи модели комплекси рақамии ҳамгирошудаи генератор бо турбина ва низоми қубурҳои обгузар мебошад, ки барои баланд бардоштани сатҳи эътимоднокӣ ва самаранокии қори неругоҳи барқи обии хурди «Октябр» мусоидат мекунад.

3. Дар асоси таҳлили техникий муфассал ва моделсозии системаи обтаъминкунӣ, тарҳи нав ва оптимизатсияшудаи ҷойгиркунии турбина ҳамчунин лоиҳаи такмилёфтаи речаи кори нерӯгоҳ пешниҳод гардидаанд, ки имконият медиҳанд иқтидори истеҳсолии нерӯгоҳи барқиро дар шароити воқеии гидроэнергетикии маҳаллӣ ба таври назаррас афзоиш диҳанд.

Нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

1. Пешниҳоди сохтори нави техникий НБОХ «Октябрь» бо истифода аз таҷҳизоти пурра автоматоникардасуда, ки бе ниёзи ҳайати доимии хизматрасонӣ кор мекунад ва сатҳи баландии эътимодноқӣ ва самаранокии энергетикиро таъмин менамояд.

2. Таҳияи моделҳои математикӣ ва симулятсияи режими кори нерӯгоҳ (аз ҷумла ҳисоб ва таҳлили иқтидор, фишори об, кори генератор ва турбина) дар муҳити MATLAB/SIMULINK, бо мақсади таҳқиқ ва оптимизатсияи нишондиҳандаҳои техникӣ.

3. Коркард ва татбиқи усулҳои беҳтарини идора ва танзими режими устувор барои фаъолияти автономии нерӯгоҳ, бо асосноккунии интиҳоби таҷҳизоти оптималӣ, аз ҷумла турбинаҳои марказгурез ва генераторҳои синхронӣ бо магнитҳои доимӣ, ки иқтидори истеҳсолиро зиёд ва хароҷоти нигоҳдориро коҳиш медиҳанд.

4. Натиҷаҳои амалии таҷдид ва пешниҳоди шакли инноватсионии НБОХ, ки дар бар мегирад таҷдиди кубурҳои обгузар, ҷойгиркунии таҷҳизоти нави идоракунӣ ва такмилёбии системаҳои автоматикӣ, ки боиси афзоиши нерӯи истеҳсолшаванда гардида, ҳамчун асос барои рушди нерӯгоҳҳои хурд дар минтақаҳои дурдаст хизмат карда метавонад.

Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳо бо моделсозии математикӣ дар муҳити MATLAB/Simulink таъмин гардид, ки хусусиятҳои динамикии кори НБОХ «Октябрь»-ро бо дақиқии баланд инъикос намуд. Мутобиқати ҳисобҳо бо маълумоти таҷрибавӣ ва саҳроӣ самаранокӣ ва бозэтимодии модели пешниҳодшударо собит карда, асос барои арзёбии иқтидор ва устувории система фароҳам овард.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ. Натиҷаҳои кори диссертатсионӣ ба самтҳои тадқиқотии пешбинишуда дар шиносномаи ихтисоси илмӣ 05.14.00 – Энергетика (05.14.02 – Нерӯгоҳҳои барқӣ ва системаҳои электроэнергетикӣ) мутобиқат мекунад:

банди 1. Муносибсозии сохтор, параметрҳо, нақшаи пайвасткуниҳои электрикӣ ва таҳияи усулҳои таҳлил оиди параметрҳои речавии таҷҳизоти асосии нерӯгоҳҳои барқӣ;

банди 3. Таҳиясозии усулҳои ҳисоб, пешбиниҳо, оптимизатсия ва мутобиқсозии сатҳҳои ҷараёнҳои расиши кӯтоҳ дар нерӯгоҳҳои барқӣ ва шабақаҳои барқии системаҳои энергетикӣ;

банди 4. Таҳиясозӣ, тадқиқот ва тақмили технологияҳои мавҷуда ва азхудкунии технологияҳо ва таҷҳизоти нав барои истеҳсоли нерӯи барқ ва гармӣ, истифодаи сӯзишворихоии органикӣ ва алтернативӣ ва намудҳои энергияи барқароршаванда, обтайёркунӣ ва речаҳои обию химиявӣ, усулҳои коҳиш додани таъсири манфӣ ба муҳити зист, тақвияти эътимодноқӣ ва

дарозмуддат кардани муҳлати хизмати элементҳои системаҳои энергетикӣ, маҷмӯаҳо ва дастгоҳҳои барқии ба онҳо шомилшаванда.

Саҳми шахсии довталаби дараҷаи илмӣ дар таҳқиқот дар мустақилона навиштани диссертатсия, иштирок дар масъалагузории мавзӯи тадқиқот, анҷом додани таҳқиқоти назариявӣ ва таҷрибавӣ, таҳияи пешниҳодҳо ва хулосаҳо, иҷрои таҳлил ва ҷамъбасти натиҷаҳо, инчунин татбиқ ва нашри онҳо дар маҷаллаҳои тақризшаванда инъикос ёфтааст.

Тасвиб ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия. Натиҷаҳои асосии рисолаи илмӣ дар ҷорабиниҳои илмии зерин мавриди муҳокима қарор гирифтаанд: конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалии «Рушди гидроэнергетика рушди Тоҷикистон» (20 декабри соли 2018, ноҳияи Кушонӣ), конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ-амалии «Рушди иқтисодии энергетика дар Ҷумҳурии Тоҷикистон» (22 майи соли 2016, ш. Қўрғонтеппа), конференсияи ҷумҳуриявӣ илмию амалии «Рушди энергетикаи устувор дар соҳаи истиқлолият» 22-23 декабри соли 2016 бахшида ба таҷлили Рӯзи энергетик ва 10-солагии Донишқадаи энергетикӣ Тоҷикистон, конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ (25 сентябри соли 2023 Алмаато, Қазоқистон), конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ «Саноатикунони рақамӣ ва рушди энергетикӣ аз нигоҳи олимону муҳаққиқон» (25 апрели соли 2024, н. Кўшонӣ), конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ: «Энергетика соҳаи калидии рушди иқтисодии миллӣ» (19 декабри соли 2024, н. Кўшонӣ).

Интишорот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия. Бо таъя ба натиҷаҳои таҳқиқоти илмии анҷомёфта, маҷмӯи 11 маводи ҷопии илмӣ омода ва ба таъя расонида шудаанд. Аз шумораи умумӣ, 2 мақола дар маҷаллаҳои илмии тақризшаванда, ки ба талаботи Комиссияи олии аттестатсионӣ назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон мутобиқат доранд, нашр гардидаанд. 8 мақолаи дигар дар маҷмӯаҳои маводи конференсияҳои илмӣ-амалӣ ва илмӣ-назариявӣ ба таъя расидаанд. Илова бар ин, як патенти ихтироъи Ҷумҳурии Тоҷикистон низ ба даст оварда шудааст.

Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия. Рисола илмӣ аз муқаддима, ҷаҳор боб, хулосаҳои асосӣ, рӯйхати адабиёт (135 номгӯ) ва 3 замима иборат мебошад. Миқдори саҳифаҳои рисола 144 саҳифаи матни мошинавириро дар бар гирифта, 31 расм ва 9 ҷадвалро фаро гирифтааст.

Қисмҳои асосии таҳқиқот

Дар муқаддима асосноккунии мубрамияти рисолаи илмӣ оварда шуда, дараҷаи таҳқиқи мавзӯи илмӣ, робитаи таҳқиқот бо барномаҳои (лоиҳаҳо) ва мавзӯҳои илмӣ, мақсад ва ҳадафҳои таҳқиқот ин неругоҳи барқии оби хурд мебошад.

Дар боби якум «Таҳлили захираҳои гидроэнергетикӣ ва нақшаҳои анъанавӣ неругоҳи барқии оби хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ва хусусиятҳои истифодабарии онҳо» мавриди таҳлил ва омӯзиш қарор дода мешаванд. Дарёҳо ва обанборҳо манбаъҳои асосии гидроэнергетикӣ ба шумор рафта, дар баландии зиёди сатҳи баҳр ҷойгиранд ва ба гурӯҳи

манбаъҳои табиӣ тавлиди нерӯӣ барқ дохил мешаванд. Энергияи об яке аз манбаъҳои барқароршавандаи энергия мебошад ва самаранокии он аз ҳаҷм ва суръати ҷараёни об дар дарёҳо вобастагӣ дорад.

Бо дарназардошти шароити топографӣ ва иқлимӣ худ, Ҷумҳурии Тоҷикистон дорои захираҳои хеле калони гидроэнергетикӣ мебошад. Тибқи арзёбиҳои коршиносон, иқтидори умумии назариявии гидроэнергетикӣ кишвар тақрибан 40000 МВт-ро ташкил медиҳад, аммо дар амал то имрӯз танҳо тақрибан 5% ин захираҳо мавриди истифода қарор гирифтаанд.

Қобили зикр аст, ки қисми зиёди захираҳои обии баҳри Арал аз ҳудуди Ҷумҳурии Тоҷикистон ташаккул меёбанд. Дарёҳои асосии кишвар иборатанд аз Панҷ, Вахш, Сирдарё, Зарафшон, Кофарниҳон ва Бартанг. Дар ҳудуди ҷумҳурӣ дар маҷмӯъ 947 дарёҳои калон ва хурд мавҷуданд, ки дарозии ҳар кадоми онҳо зиёда аз 10 км буда, дар маҷмӯъ дарозии умумии шабакаи дарёҳо ба 28 500 км мерасад. Тавоноии захиравии энергетикӣ дарёҳо ва кӯлҳои кишвар тақрибан 64 миллион киловатт (64000 МВт) арзёбӣ мегардад.

Сирдарё яке аз дарёҳои асосӣ ва стратегӣ дар минтақаи Осиёи Марказӣ маҳсуб мешавад. Масоҳати ҳавзаи обҷамъкунии он 443 ҳазор км²-ро ташкил дода, дар байни арзҳои шимолии 39°23' то 46°00' ва тулҳои шарқии 61°00' то 68°24' воқеъ аст. Ҷараёни умумии он аз ҷануб ба шимол 800 км ва аз шарқ ба ғарб 1600 км-ро ташкил медиҳад. Ҳаҷми миёнаи солонаи сарфи оби Сирдарё ба 14 км³ баробар аст. Манбаъҳои асосии ташаккули оби ин дарё дар қаторкӯҳҳои ғарбии Тянь-Шан, шоҳаҳои Олой ва доманакӯҳҳои шимолии қаторкӯҳҳои Туркистон ҷойгиранд.

Масоҳати ҳавзаи дарёи Вахш 39100 км²-ро ташкил дода, шохобҳои бузургтарини он аз минтақаи Олоӣ Поён (инчунин бо номи Қизилсу шинохта мешавад) ибтидо мегиранд. Баъзе аз шоҳаҳои Қизилсу тавассути водии Олой ҷорӣ гардида, ба дарёи Мугсу пайваست мешаванд. Дарёи Мугсу, ки дар қисмати шимолуғарбии қаторкӯҳҳои Помир ҷойгир аст, инчунин манбаи захираи гидроэнергетикӣ буда, дар ҳудуди он якчанд неругоҳҳои хурди барқи обӣ фаъолият мекунанд.

Бо пайваستшавии дарёҳои Мугсу ва Қизилсу, дарёи Сурхоб ташкил меёбад. Дар наздикии он, дарёи Хингоб ҷорӣ шуда, дар нуқтаи муттаҳидшавӣ бо Сурхоб якҷоя дарёи Вахшро ташкил медиҳанд. Дарёи Вахш аз ҳисоби шоҳаҳои сершумори худ дар минтақаи дорои шароити гуногуни гидрологӣ ва релефи мураккаб ҷорӣ мегардад. Ҷараёни об дар он вобаста ба мавсим тағйир ёфта, моҳҳои июн ва июл ҳамчун давраи пуробтарин ҳисоб мешаванд.

Дарёи Вахш дар якҷоягӣ бо дарёи Панҷ зиёда аз 75% иқтидори захираҳои гидроэнергетикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистонро ташкил медиҳанд. Ин имконият фароҳам меорад, ки дар як километри тӯли дарё, то 13000 кВт нерӯӣ барқ дар як сол истеҳсол гардад.

Тибқи маълумоти оморӣ, дар солҳои охир истеҳсол ва истеъмоли нерӯӣ барқ дар кишвар 21 маротиба афзоиш ёфта, соли 2024 ҳаҷми истеҳсоли он ба 21 миллиард кВт-соат расидааст. Аз ин миқдор, 93%-и истеҳсолот ба ҳиссаи неругоҳҳои барқи обӣ рост меояд, ки бозгӯи нақши калидии гидроэнергетика дар иқтисоди миллии кишвар мебошад.

Мувофиқи натиҷаҳои тадқиқотӣ, потенциали умумии энергетикӣ Тоҷикистон бо тавоноии миёнаи 51,8 миллион кВт баҳогузори шудааст. Аз он ҷумла, 511 дарёе, ки мавриди омӯзиши илмӣ қарор гирифтаанд, дорои иқтидори умумии 32,6 миллион кВт мебошанд. Ҳамзамон, дарёҳое бо дарозии камтар аз 10 км, ки то ҳол камтар мавриди истифода қарор доранд, дорои тавоноии тахминан 19,5 миллион кВт мебошанд.

Ҷадвали 1 – Потенциали энергетикӣ дарёҳои асосии Ҷумҳурии Тоҷикистон

Номи дарёҳо	Масоҳати хавзаҳо		Захираҳои потенциалии гидроэнергетикӣ		Сершавии қиёсӣ кВт/км²
	км²	%	кВт	%	
Сирдарё	13182	9,3	250	0,8	18,9
Зарафшон	12381	8,7	2622	8,2	211,7
Кафарниҳон	14519	10,1	3662	10,5	231,5
Вахш	30873	21,6	14067	43,5	455,7
Панҷ	71907	50,6	12027	37,0	167,2
Ҳамагӣ	142862	100	32628	100	236,3

Тавре ки аз ҷадвали 1 бармеояд, обанборҳои дарёҳои Панҷ ва Вахш мавқеи махсусро ишғол менамоянд, зеро ба ҳиссаи онҳо тақрибан 80,5% захираҳои умумии оби кишвар рост меояд. Тақсими потенциали захираҳои оби Ҷумҳурии Тоҷикистон аз рӯи тавоноии обанборҳо дар ҷадвали 2 муфассал нишон дода шудааст.

Натоқи таҳлилҳо нишон медиҳанд, ки Ҷумҳурии Тоҷикистон аз рӯи ҳаҷми захираҳои гидроэнергетикӣ дар байни кишварҳои наздики хориҷӣ пас аз Федератсияи Россия дар ҷойи дуюм қарор дорад.

Зичии захираҳои гидроэнергетикӣ Тоҷикистон ба ҳисоби миёна 2100 ҳазор кВт·соат ба як км²-ро ташкил медиҳад.

Ҷадвали 2 – Тақсими потенциали захираҳои оби Ҷумҳурии Тоҷикистон аз рӯи тавоноии об

Тавоноии дарёҳо, ҳазор кВт	Миқдори дарёҳо	Ҳосили кВт тавоноии	
		Ҳазор кВт	%
Зиёда аз 500	7	20087	62,13
100-500	28	6045	18,7
50-100	44	3002	9,26
25-50	135	2139	6,62
5-10	137	626	1,97
Камтар аз 5	190	439	1,94
Ҳамагӣ	512	32638	100,0

Аз рӯи иқтидор (тавонӣ), ки ба ҳар 1 км дарозии дарё рост меояд, дарёҳои Оби-Хингоб, Вахш ва Панҷ мавқеи асосиро ишғол менамоянд.

Дар ҷадвали 3 маълумот оид ба тақсими захираҳои потенциалии энергетикӣ ва техникӣ дарёҳои асосии Ҷумҳурии Тоҷикистон ва шохаҳои

онҳо оварда шудааст. Дар баробари ин, дар чадвал нишон дода шудааст, ки чӣ гуна имкониятҳои назариявӣ ва ҳаҷми воқеии истифодаи ин захираҳо фарқ мекунанд.

Таҳлилҳои илмӣ ва натиҷаҳои тадқиқоти ҷустуҷӯӣ нишон медиҳанд, ки дар марҳилаҳои гуногуни рушди иқтисодии Ҷумҳурии Тоҷикистон иқтисодии назарраси захираҳои гидроэнергетикии кишвар мавҷуд аст. Ҳангоми истифодаи потенциали умумии гидроэнергетикӣ тавоноӣ ба 19,3 миллион кВт баробар буда, истеҳсоли нерӯи барқ метавонад ба 143,6 миллиард кВт-соат расад. Ин нишондиҳанда имкониятҳои истифодабарии захираҳои барқароршавандаи гидроэнергетикии Тоҷикистонро ба таври возеҳ муаррифӣ менамояд. Бо вучуди доштани иқтисоди калон ва миёнаи обанборҳо, Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳамзамон дорои шумораи зиёди дарёҳои бо тавоноии паст мебошад, ки иқтисоди онҳо на бештар аз 2 ҳазор кВт ҳисобида мешавад. Ин захираҳои гидроэнергетикӣ асосан ба обанборҳои хурд ва маҳаллӣ тааллуқ доранд. Дар чунин шароитҳо истеҳсоли нерӯи барқ аз ҳисоби неругоҳҳои барқи обии хурд таъмин мегардад. Ин гуна неругоҳҳо одатан бо хусусиятҳои техниकी зерин фарқ мекунанд: тавоноии умумӣ то 30 МВт, тавоноии агрегати ягона то 10 МВт ва диаметри чархи кории турбина то 3 метр мебошад.

Чадвали 3 – Тавоноии қисми дарёҳои калон ва миёнаи Ҷумҳурии Тоҷикистон

Номи дарёҳо	Тавоноии гидроэнергетикӣ ба ҳар як километр дарозии дарё, ҳазор кВт/км
Панҷ	11,40
Вахш	11,30
Оби - Хингоу	10,12
Искандар - Дарё	5,19
Варзоб	4,62
Зарафшон	4,48
Оби - Хумоу	4,15
Бартанг	3,14
Ванҷ	3,72
Язғулом	3,66
Обихумбоу	3,40
Гунг	3,61
Шоҳдара	2,33
Ак - Су	1,29

Тадқиқотҳо нишон медиҳанд, ки неругоҳҳои барқи обии хурд дар Тоҷикистон барои дарёҳои води то 2,0 МВт ва дарёҳои кӯҳӣ то 1,7 МВт иқтисоддоранд. Ин нишондиҳандаҳо ба шароити гидрологӣ ва релефии кишвар мутобиқанд.

Суръати баланди чараён ва яхбандии тӯлонӣ дар дарёҳо имкони истифодаи неругоҳҳои бесарбандро дар минтақаҳои душвордастрас фароҳам меорад.

Ҳукумат истифодаи захираҳои гидроэнергетикиро барои рушди иқтисодӣ ва содироти неруи барқ афзалият медиҳад.

Иқтидори дарёҳои хурди Осиёи Марказӣ 3,1 млн кВт ё 27,2 млрд кВт·соатро ташкил медиҳад. Тақсимот чунин аст:

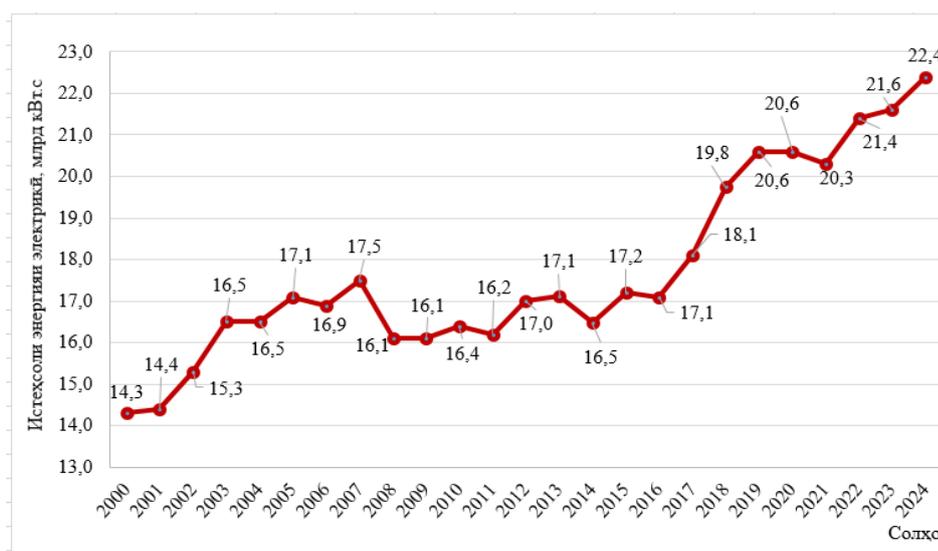
- Тоҷикистон – 1,6 млн кВт / 14 млрд кВт·соат;
- Ўзбекистон – 0,5 млн кВт / 4,4 млрд кВт·соат;
- Қирғизистон – 0,8 млн кВт / 7,0 млрд кВт·соат;
- Туркменистон – 0,2 млн кВт / 1,8 млрд кВт·соат.

Дар расми 1 графикаи истеҳсоли энергияи электрикӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон дар давраи солҳои 2000 то 2024 оварда шудааст.

Графикаи мазкур раванд ва динамикаи истеҳсоли нерӯи барқро дар ин давра инъикос менамояд. Дар марҳилаи аввали таҳлил (солҳои 2000–2016) ҳаҷми истеҳсолот дар сатҳи нисбатан устувор қарор дошта, тағйироти он аз 14,3 то 17,5 млрд кВт·соат фарқ мекунанд. Ин давра ҳамчун марҳилаи суботи энергетикӣ арзёбӣ мегардад, ки дар он тағйироти ҷиддӣ дар иқтидорҳои истеҳсоли ва талаботи дохилӣ ба нерӯи барқ мушоҳида намешуд.

Аз соли 2017 сар карда, истеҳсоли солонаи нерӯи барқ дар кишвар тамоюли рӯ ба афзоиш гирифт. Аз ҷумла, дар солҳои 2017–2024 ҳаҷми истеҳсолот аз 17,1 млрд кВт·соат ба 22,4 млрд кВт·соат расида, дар маҷмӯъ тақрибан 31% афзоиш ёфтааст. Ин динамика шаҳодати ворид намудани иқтидорҳои нав, истифодаи самараноки захираҳои гидроэнергетикӣ ва татбиқи сиёсати мутамаркази давлатӣ дар соҳаи энергетика мебошад.

Ин раванд бо афзоиши талаботи дохилӣ, тавсеаи шабакаҳои интиқоли барқ, рушди иқтисоди миллӣ ва инчунин бо талошҳо ҷиҳати табдил додани Тоҷикистон ба кишвари содиркунандаи нерӯи барқ вобаста аст. Мақсаднок ва стратегӣ будани сиёсати энергетикӣ имкон дод, ки кишвар дар як муддати нисбатан кӯтоҳ афзоиши устувори истеҳсоли барқро таъмин намояд.

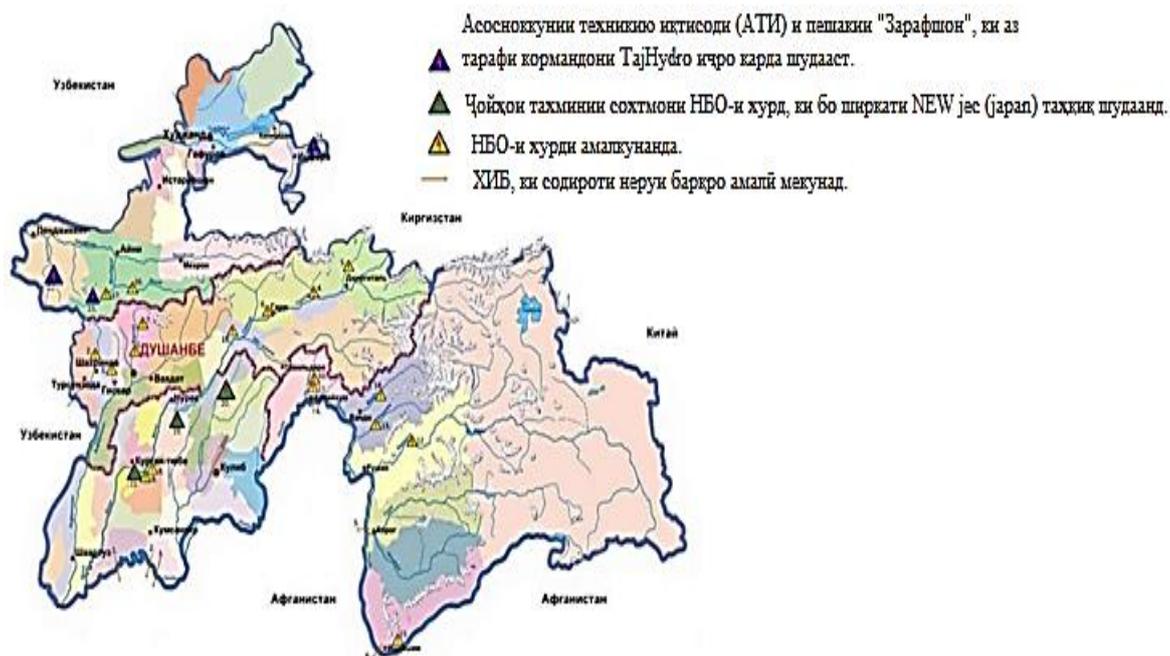


Расми 1 – Графикаи истеҳсоли энергияи электрикӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон дар давраи аз соли 2000 то соли 2024

Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ҷиҳати рушди гидроэнергетикаи хурд, аз ҷумла сохтмони неругоҳҳои барқи обии хурд, як қатор ҳуҷҷатҳои меъёрию ҳуқуқӣ қабул гардидаанд. Аз ҷумла, Қарори Ҷукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 2 феввали соли 2009, № 73, таҳти унвони «Барномаи дарозмуддати сохтмони неругоҳҳои барқи обии хурд дар давраи солҳои 2009-2020» ҳамчун санади стратегӣ барои ин самт амал мекунад. Илова бар ин, дар як қатор шаҳрҳо ва минтақаҳои кишвар декларатсияҳо бо мавқеи муайяни лоиҳаҳо таҳия ва қабул шудаанд, ки ба рушди инфрасохтори энергетикаи маҳаллӣ мусоидат мекунад.

Таърихи рушди гидроэнергетикаи хурд дар кишвар ба оғози асри ХХ рост меояд. Барои таъмини маркази ҷумҳурӣ бо нури электрикӣ, соли 1927 сохтмони неругоҳҳои барқи обӣ дар дарёи Варзоб ба нақша гирифта шуда, 25 феввали соли 1931 сохтмони неругоҳи барқи обии Варзоб бо иқтидори 7200 кВт оғоз ёфт. Корҳои сохтмонӣ шаш сол идома ёфта, 31 декабри соли 1936 ин неругоҳ ба истифода дода шуд.

Дар солҳои минбаъда дар қаламрави кишвар як қатор неругоҳҳои барқи обии хурд, аз ҷумла дар шаҳру навоҳии Шаҳритус, Исфара, Конибодом ва дигар минтақаҳо сохта шуданд. Иқтидори умумии ин неругоҳҳо зиёда аз 17,3 МВт-ро ташкил медиҳад.



Расми 2 – Харитаи дарёҳо ва обанборҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон ва мавқеъҳои потенциалии неругоҳҳои хурди он

Дар ҷадвали 4 минтақаҳои аҳолинишини кӯҳии Ҷумҳурии Тоҷикистон бо масофаи маҳаллаи аҳолинишин аз маркази ноҳияҳо оварда шудаанд. Аз рӯйи ин маълумотҳо метавон дарёфт, ки дар ҳар минтақа имконияти татбиқи неругоҳҳои барқи обии хурд бо иқтидорҳои гуногун вучуд дорад. Ин неругоҳҳо метавонанд ба таври муассир ин минтақаҳои аҳолинишини кӯҳӣ

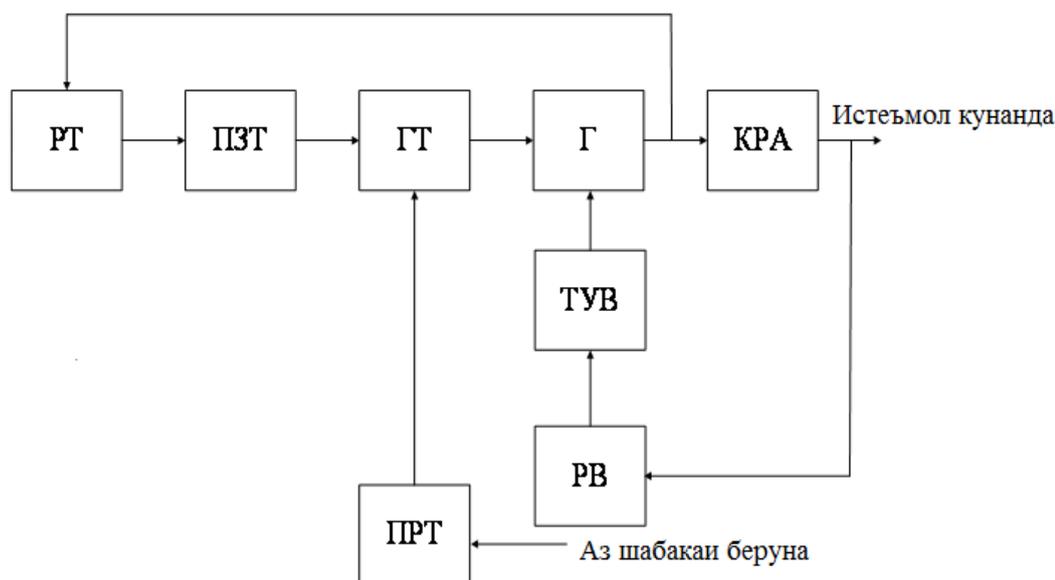
бо барқ таъмин намоянд ва сатҳи дастрасии аҳолиро ба энергия беҳтар созанд.

Ҷадвали 4 – Мавзёҳои мушкилдастрас дар ноҳияҳои қумхурии Тоҷикистон

<u>Маҳалаи аҳолинишин</u>	<u>Масофаи маҳалаи аҳолинишин аз маркази ноҳия</u>	<u>Истифода баранда</u>	<u>Тавонони неругоҳи электрии обӣ</u>
Булункул	90	32	25
Пасир	125	27	20
Ҳиндукуш 1	105	23	20
Ҳиндукуш 2	116	33	32
Хавдҷ	130	18	20

Таҳлили сохти неругоҳи барқи обии анъанавӣ

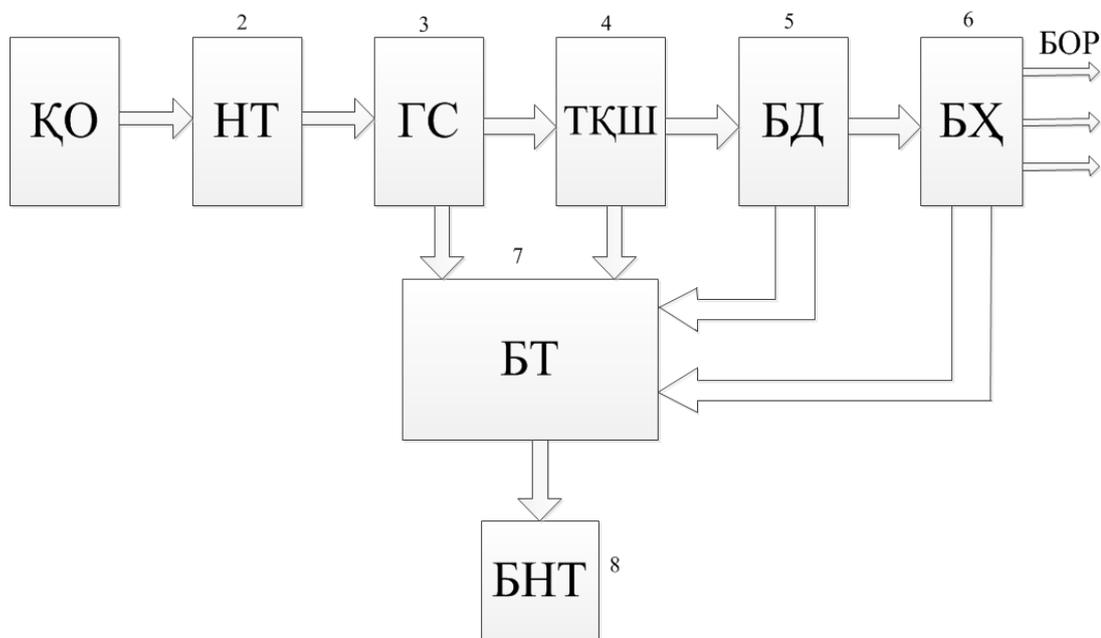
Неругоҳи барқи обии хурди «Панҷруд», воқеъ дар ноҳияи Панҷакент, сохти анъанавии неругоҳҳои барқи обии хурдро дорост (расми 3). Он аз сарбанд (П) ва қубурҳои оварандашуда (ПТ) ташкил ёфта, инчунин ба унсурҳои зерин иборат аст: гидротурбина (ГТ); генератор (Г); бастукушо-муҳофизати ва таҷҳизоти тақсимои (КРА); дастгоҳи ангиизи тиристорӣ (ТУВ); ҳаракатоварандаи затвори турбина (ПЗТ); ҳаракатоварандаи суръати гирифтани турбина (ПРТ); танзимкунандаи турбина (РТ); танзимкунандаи ангиизиш (РЗ).



Расми 3 – Асоси сохтани неругоҳи барқии обии хурди автономии ва автоматоникардасуда

Дар неругоҳи барқи обии хурд одатан генераторҳои синхронӣ бо ангиизиш электромагнитӣ истифода мешаванд, ки ҷараёни ангиизиш тавассути тамосҳои ҳалқагӣ ба ротори генератор ворид мешавад.

Ин тамосҳо эътимоднокиро кам карда, хизматрасонии мунтазамро талаб мекунад. Барои беҳтар намудани эътимодноки, генератор метавонад ангезандаи мустақил бо магнитҳои доимӣ дошта бошад. Истифодаи тағйирдиҳандаи электронии шиддат бо ин системаи ангезиш устувории амплитуда ва зудии мутобиқшавии шиддати баромадро таъмин менамояд, ки кори самаранок ва боэътимодро фароҳам меорад.



Расми 4 – Нақшаи функционалии автоматикардасудайи неруғоҳи барқи обии хурд

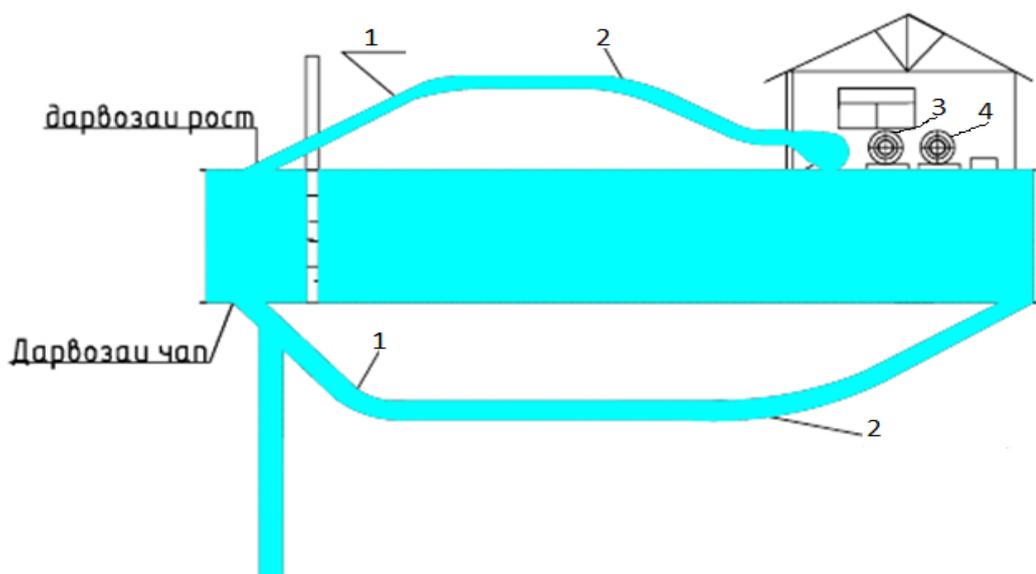
Таркиби асосии неруғоҳи барқи обии хурд ва таҷҳизоти он:

1. Қубури об (ҚО) – интиқоли об ба турбина.
2. Насоси марказгurez (МТ) – ба сифати гидротурбина насоси марказгurez силсилави истифода мешавад.
3. Генератори синхронии сефазаи (ГС) – муҳаррики синхронии сефаза бо ангезиш аз магнитҳои доимии силсилави.
4. Тағйирдиҳандаи қуввагии шиддат (ТҚШ) – таҷҳизот, ки тағйирдиҳандаи чараёни тағйирёбандаро ба доимӣ, тағйирдиҳандаи чараёни доимиро ба тағйирёбандайи амплитуда ва зудӣ ва симметрикуандаи шиддати сефазаро дар бар мегирад.
5. Блоки датчикҳои параметрҳои баромади неруғоҳ (БД) – бақайдгирии қорӣ, шиддат, тавоноӣ ва энергия.
6. Блоки бастукушо-муҳофизатӣ (БҲ) – стандарти бастукушо-муҳофизатӣ барои муҳофизати дастгоҳҳо.
7. Блоки назорати ташхисӣ (БТ) – ташхис ва баҳодиҳии ҳолати элементҳо ва кори неруғоҳ.
8. Блоки алоқа (БНТ) – интиқоли маълумот ва алоқа бо маркази идоракунӣ.

Дар боби дуҷум «Иқтидори нуругоҳҳои барқи обии хурд ва омилҳои асосии муайянкунандаи он» таҳқиқ ва муҳокима карда мешавад.

Фишор ва маҷрои об нақши асосӣ дар истеҳсоли нуруи электрикӣ доранд, зеро иқтидор ба ҳамзамон ба онҳо вобаста аст. Ҳатто сарфи каме об дар ҳолати фишори баланд метавонад самаранок бошад. Яке аз роҳҳои самаранок барои афзоиши истеҳсолот тармим ва барқарорсозии нуругоҳи барқи обии хурди мавҷуд мебошад.

Тармиму азнавсозии нуругоҳи барқи обии хурди «Октябр» имкон фароҳам меорад, ки бо зиёд кардани ҳаҷми об ва баланд бардоштани баландии резиши об то 7 м истеҳсоли нуруи электрикӣ то 75 кВт расонида шавад. Ин раванд инчунин бо содда гардонидани нақшаи корӣ ва истифодаи нуругоҳ бе ҳайати коргарон таъмин мегардад.



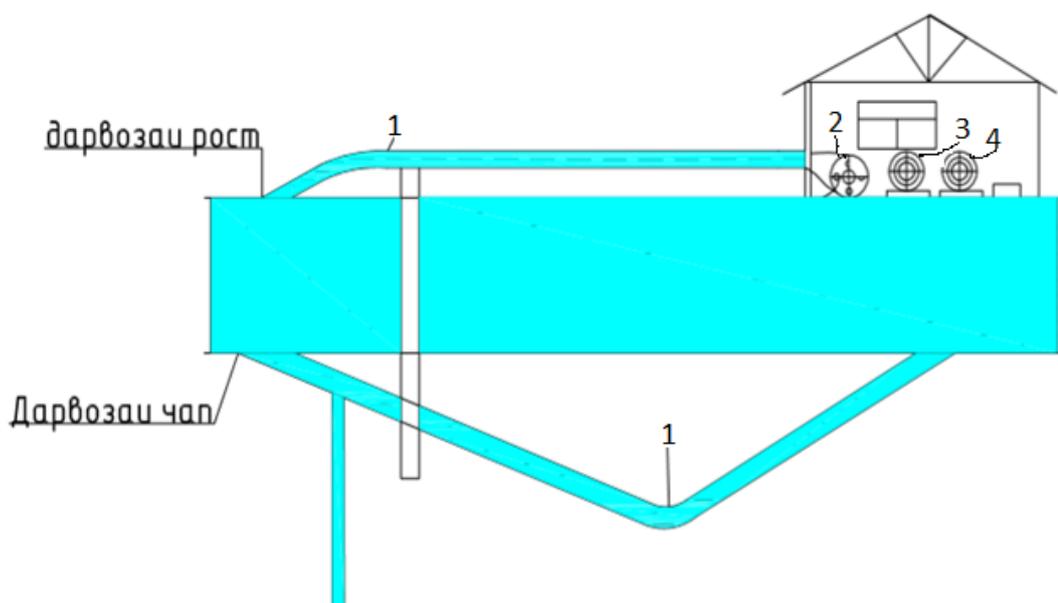
Расми 5 – Нақшаи нуругоҳи барқи обии хурди Октябр пеш аз тармим:
1. Дарвозаи рост; 2. Бандиши 1 рост; 3. Бандиши 2 рост; 4. Генератори 1; 5. Генератори 2; 6. Дарвозаи чап; 7. Бандиши 1 чап; 8. Бандиши 2 чап.

Энергия метавонад ба шабакаи алоҳида интиқол дода шавад, ҳангоми васеъ намудани иқтидор ва суръати генератор танзими шабонарӯзии нуругоҳ имконпазир мешавад. Бо зиёд кардани фишори резиши об то 16,6% ва рост намудани равиши об иқтидори нуругоҳ метавонад то 50% афзоиш ёбад.

Нақши ҳалкунанда дар ин раванд қобилияти обғунҷоишии канали «Болга-басган» мебошад, ки соли 1950 барои обёрии заминҳои хоҷагии собиқ ба номи Карл Маркс сохта шудааст. Иқтидори лоиҳавии нуругоҳи «Октябр» 75 кВт буд, аммо амалан бо тавоноии 22 кВт кор мекард. Пас аз таҷдид бошад, нуругоҳ бо иқтидори 68 кВт фаъолият менамояд.

Чунон ки аз нақша бармеояд, канали об ба нуругоҳи барқи обӣ бо ду хатти ҳамгашт пайваस्त шудааст, ва ҳуди нуругоҳ дар охири канал, дар нуктаи ҳамӣ ҷойгир мебошад. Фишори об дар нуругоҳ тақрибан 6 метр аст, ки барои истеҳсоли тақрибан 22 кВт/соат нуруи электрикӣ кофист. Ин иқтидор

махдудиятҳои таҷҳизот ва дастгоҳҳои кӯҳна ва паст шудани ҳаҷми фишори об дар каналро дар назар дорад.



Расми 6 – Нақшаи нуругоҳи барқи обии хурди Октябр баъд аз тармим:
 1. Дарвозаи рост; 2. Бандиши 1 рост; 3. Чархи нуругоҳи барқи обии хурд; 4. Генератори 1; 5. Генератори 2; 6. Дарвозаи чап; 7. Бандиши 1 чап.

Тармими системаи обравӣ ва насби нуругоҳи барқи обии хурд имкон медиҳад, ки бо фишори об то 7 метр ва суръати об то 0,7 м/с иқтидори нуругоҳ ба 180 кВт расонида шавад. Ин тағйирот метавонад истеҳсоли нуруи электрикӣ дар нуругоҳи «Октябр»-ро дар як соат ба 180,26 кВт·с ва дар як сол то 4,326 МВт·с афзоиш диҳад.

Мувофиқи маълумоти омӯрӣ, истеҳсол ва истеъмоли нуруи электрикӣ дар кишвар аз даврони гузаштаи тадқиқотӣ 21 маротиба афзоиш ёфта, соли 2024 ба 21 млрд. кВт·соат расидааст, ки 93%-и он аз нуругоҳҳои обӣ истеҳсол мешавад. Потенсиали умумии энергетикӣ обҳои чумхурӣ тақрибан 51,8 млн. кВт арзёбӣ шудааст, ки аз ин 511 дарёҳои тадқиқшуда бо иқтидори умумии 32,6 млн. кВт ва дарёҳои бо дарозии аз 10 км кам бо иқтидори 19,5 млн. кВт мебошанд.

Иқтидори электрикӣ (P) барои нуругоҳи барқи обии хурд аз рӯйи вобастагиҳои механикӣ ва гидравликӣ чунин ҳисоб карда мешавад:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (1)$$

ки дар инҷо:

P – иқтидори электрикӣ, Вт (ватт);

η – самаранокии умумии нуругоҳ (бидуни андозаи безараргардонӣ);

ρ – зичии об, кг/м³ (тақрибан 1000 кг/м³);

g – суръати ҷазби заминӣ, м/с² (9,81 м/с²);

Q – ҳаҷми ҷараёни об, м³/с;

H – фишори об (баландии гидравликӣ), м.

Барои мисоли неругоҳи барқи обии хурд бо параметрҳои зерин:

- ҳаҷми ҷараёни об $Q=5$ м³/с;
- баландии резиши об $H=4,5$ м;
- коэффиенти самаранокии турбина $\eta=0,85$.

Иқтидори электрикиро бо истифода аз формулаи (1) ҳисоб мекунем:

$$P = 0,85 \times 1000 \times 9,81 \times 5 \times 4,5 = 187,3 \text{ кВт.}$$

Ҳамин тариқ, иқтидори электрикии неругоҳи барқи обии хурд тақрибан 187,3 кВт мебошад.

Моделсозии математикии қисмҳои гуногуни неругоҳи барқи обии хурд дар барномаи matlab/simulink.

Барои дарёфти ҳалли масоили гуногун, моделҳои тарҳрезӣшуда бо истифода аз маҷмӯи параметрҳои воридотӣ ва шартҳои ибтидоӣ метавонанд ба дарёфти роҳҳои ҳал мусоидат намоянд. Ҳисобкунии ҳаҷми об дар обанбор мувофиқи формулаҳои муайяншуда анҷом дода мешавад.

$$V(t) = V_n \pm \int Q_o dt \quad (2)$$

Дар ин ҷо:

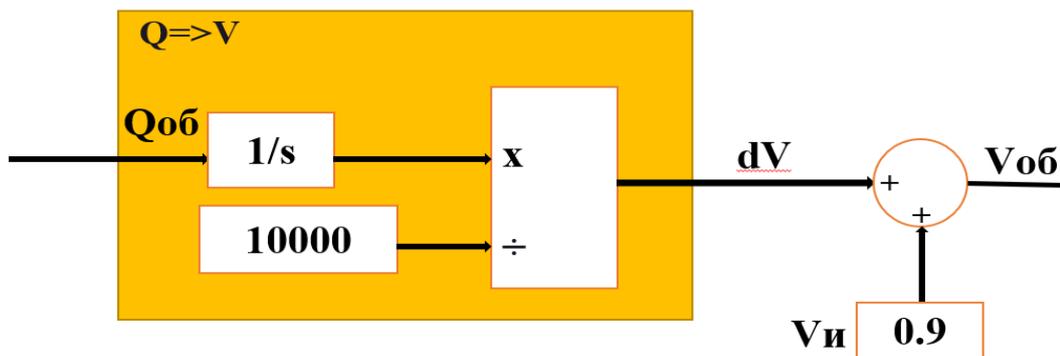
$V(t)$ – ҳаҷми ибтидоии обанбор, м³;

V_u – суръати ҷараёни об ба обанбор ё аз он, м³/с, ки дар ҳолати пуршавии обанбор қимати мусбат ва дар ҳолати холишавии он қимати манфӣ мегирад. Алгоритми умумии ҳисобкунии иқтидори неругоҳи барқи обӣ дар расми 7 дар шакли сохтор, структурӣ оварда шудааст. Аввалан, маълумоти ибтидоӣ, ки аз ҷумлаи баландии резиши об, ҳаҷми ҷараён ва самаранокии таҷҳизот иборат аст, ҷамъоварӣ карда мешавад. Дар қадами минбаъда қувваи гидравликӣ, яъне қувваи механикӣ, ки об барои гардиши турбина таъмин менамояд, ҳисоб карда мешавад.

Сохтори умумии модели тавлиди нури барқи обӣ моделҳои математикии обанбори неругоҳи барқи обӣ, муодилаҳои иқтидори агрегатҳои обӣ, мувозинати ҷараёни об ва фишори агрегатҳои электрикиро дар бар мегирад.

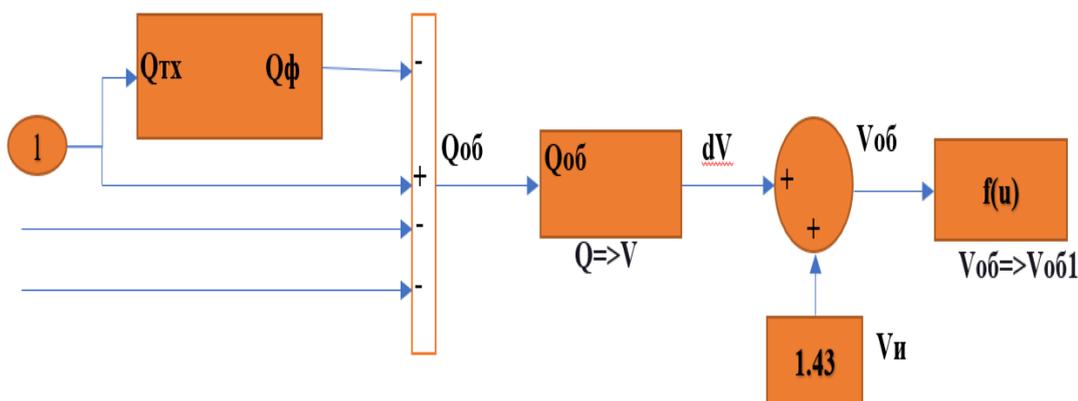
Муайян кардани иқтидори неругоҳи электрикии обии хурд як амалияи муҳими муҳандисӣ аст, ки барои дуруст тарҳрезӣ кардани неругоҳ ва ҳисоб кардани қобилияти истеҳсоли нури электрикӣ, барои расидан ба ҳадафҳои захиракунии ва истифодаи маводҳо кӯмак мекунад. Ҳамин тавр, мо метавонем иқтидори як неругоҳи электрикии обии хурдро бо истифода аз якчанд параметрҳои асосӣ ҳисоб кунем. Барои муайян кардани иқтидори неругоҳи электрикии обии хурд, бояд ба маълумоти зерин назар андозем:

Ҳисобкунии иқтидори неругоҳи барқи обӣ тавассути формулаи классикии гидроэнергетикӣ анҷом дода мешавад, ки дар он омилҳои асосӣ баландии афтодани об (напор), ҳаҷми сарфи об, самаранокии умумии таҷҳизот, инчунин зичии об ва суръати ҷозибавӣ замин ба инобат гирифта мешаванд.

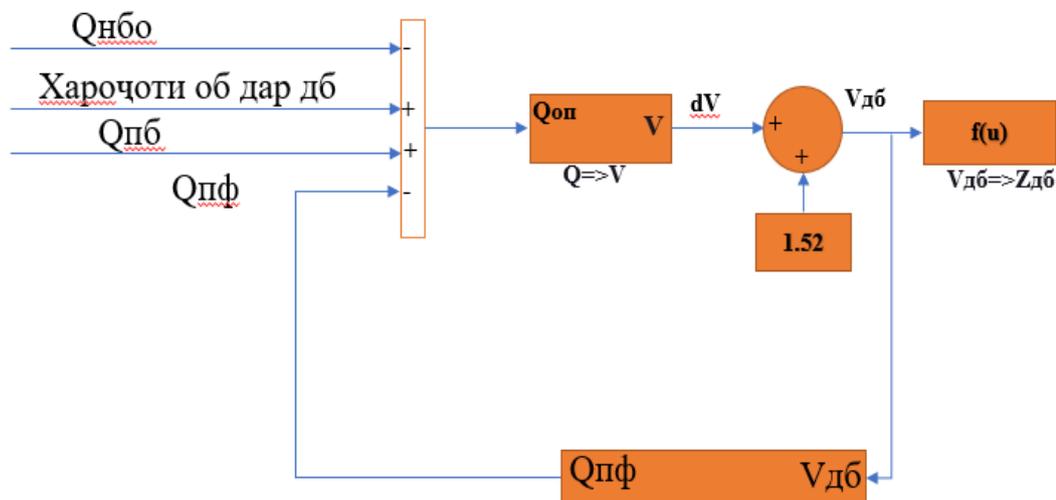


Расми 8 – Модели ҳавзи болоии неругоҳи барқи обии хурд

Ҳангоми моделсозии ҳавзи болоии неругоҳи барқи обӣ, талафоти чараёни об пеш аз қитъа ба назар гирифта мешавад. Бар асоси ин, модели мувозинати чараёнҳо дар ҳавзи болоии неругоҳи барқи обии хурд таҳия мегардад. Ҳамзамон, дар асоси хусусиятҳои морфометрии обанбор аломати ҳавзи болоӣ ҳисоб карда мешавад. Модели болоии неругоҳи барқи обӣ бо макети обанбор дар расми 9 нишон дода шудааст.



Расми 9 – Модели ҳавзи болоии неругоҳи барқи обӣ якҷоя бо макети обанбор



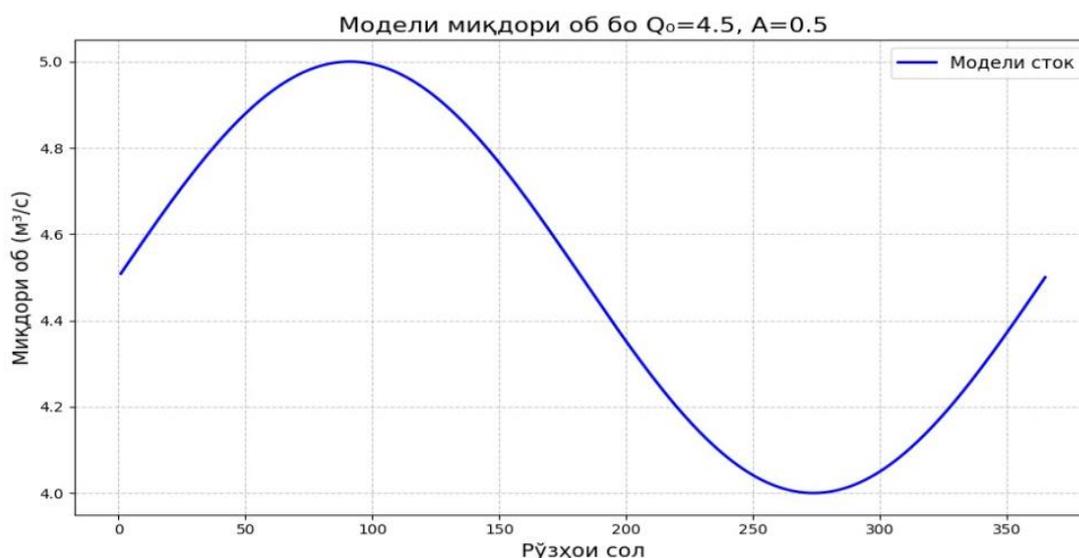
Расми 10 – Модели поёноб барои неругоҳи барқи обии танзимкунандаи ҳаррӯза

Модели синусоидалии миқдори обро метавон бо истифода аз формулаи зер ифода кард:

$$Q(t) = Q_{cp} + A \sin(\omega t + \varphi), \quad (3)$$

дар ин ҷо: $Q(t)$ – миқдори об дар вақти t ,
 $Q_{mi\ddot{e}}$ – миқдори миёнаи об (маҷмӯи доимӣ),
 A – амплитудайи тағйирёбии миқдори об,
 ω – давраи кунҷии тағйирёбии миқдори об,
 φ – марҳалаи ибтидоии синусоида,
 t – вақти таҳлил.

Чунон ки аз маълумоти неругоҳи барқи обии зикршуда бармеояд, миқдори миёнаи солони об $Q_0 = 4,5 \text{ м}^3/\text{с}$, амплитудайи ҷараёни об $A = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, давомнокии давра $T = 365$ рӯз ва фазаи суръат $\varphi = 0$ мебошад (максимум дар миёна баҳор). Бо истифода аз формулаи модели синусоидалии, миқдори обро барои ҳар рӯз ҳисоб кардан мумкин аст, ки натиҷаҳои он дар шакли графикӣ дар расми 11 нишон дода шудаанд.



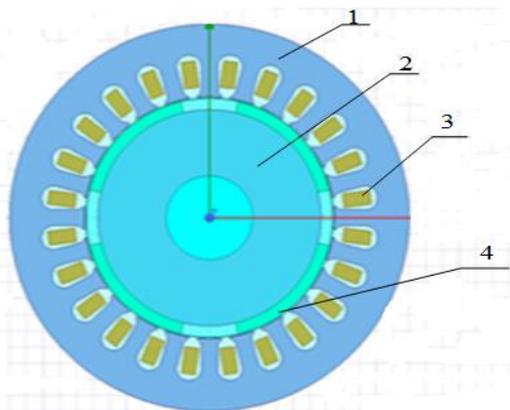
Расми 11 – Графики модели математикии давраҳои миқдори об

Дар боби сеюм «Таҳлили техникӣ ва интихоби оптималии генератору турбина барои неругоҳи барқи обии хурди (Октябр)» ба таври илмӣ асоснок ва таҳлил мегардад. Таҳлили вариантҳои интихоби генератор барои неругоҳи барқи обии хурди автоматикунонидашуда аз ҷиҳати самаранокӣ энергетикӣ қисми муҳими таҳқиқоти рисола мебошад. Дар солҳои охир бо рушди маводҳои магнитии доимӣ ва пешрафти технологияҳои генераторҳои синхронӣ бо магнитҳои доимӣ, истифодаи онҳо дар соҳаи электромеханика васеъ гаштааст. Ин генераторҳо, ки манбаи шиддати доимӣ ё тағйирёбанда бо басомади истеҳсолот доранд, дар сохтмони системаҳои барқии муосир хеле маъмуланд.

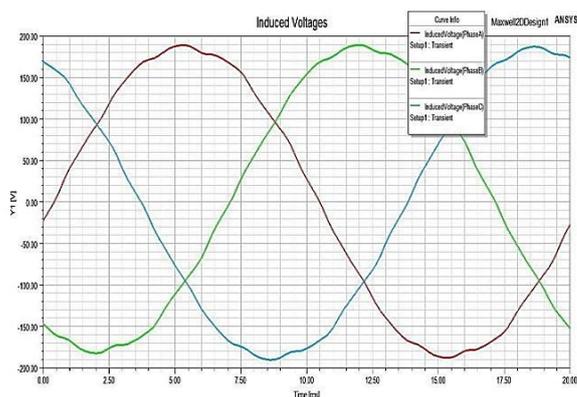
Ҳамчунин, генераторҳои синхронӣ бо магнитҳои доимӣ дар неругоҳҳои шамолий ва барқи обӣ ба сифати манбаи шиддат истифода

мешаванд. Ин технологияи нав, махсусан дар нуругоҳҳои барқи обии хурду миёна, афзалиятҳои возеҳ дорад, аз ҷумла эътимодноки, каммасрафӣ ва осонии нигоҳдорӣ, ки онҳоро барои истифодаи васеъ мувофиқ месозад.

Дар асоси ҳисоботҳои пешакӣ бо истифодаи системаи автоматикунонидашудаи лоиҳакашӣ САЛ, барои генераторҳои бо магнитҳои доимӣ, андозаҳои геометрии асосӣ чунин интихоб шудаанд: қутри берунаи лангар (якор) $D_{бер.якор} = 123$ мм; қутри даруни теғайи лангар (якор) $D_{дар} = 123$ мм; қутри даруни теғайи лангар (якор) $D_{дар} = 123$ мм; қутри берунаи индуктор $D_{бер.инд} = 123$ мм; ва дарози қисми фаъоли дилаки лангари якор $L_{якор} = 300$ мм.



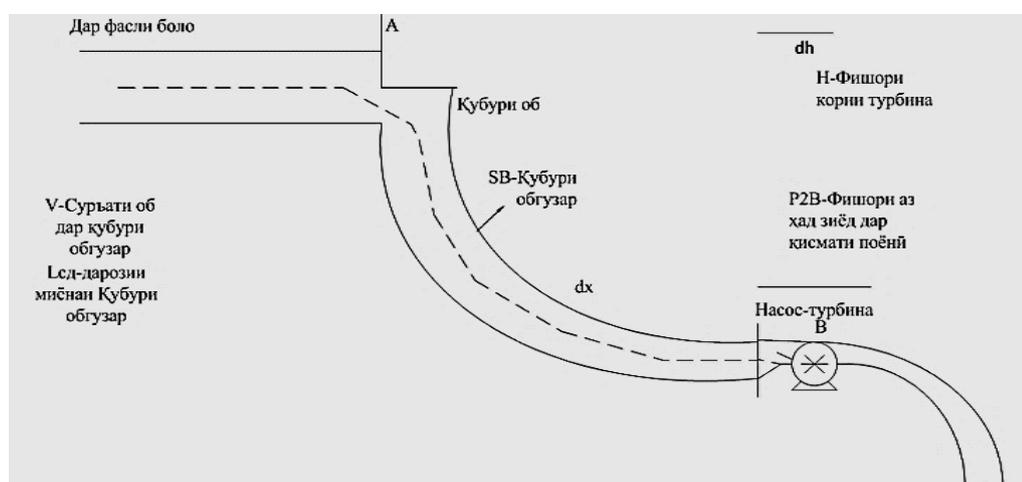
Расми 12 – Конструксияи генератори синхронӣ бо қутбҳои асосӣ ва бо магнити доимӣ



Расми 13 – Качхаттаи ҚЭХ-и генератори сефаза

Дар расмҳои 12 ва 13 сохтори генераторе тасвир ёфтааст, ки барои шумораи муайяни модулҳо тарҳрезӣ шудааст. Ин генератор дар асоси усули ҳисоби ҷузъҳои сониявӣ моделсозӣ гардидааст.

Индуктор (3) низ аз пӯлоди сохтмони тағайи St3210 омода шудааст. Магнитҳои доимӣ (4), ки шакли росткунҷашакл доранд, дар дохили индуктор насб гардидаанд. Шумораи қутбҳои магнитии индуктор $2p = 4$ мебошад.



Расми 14 – Нақшаи шартии нуругоҳи барқи обии хурди Октябр бо обгузари фишорӣ

Дар модули мазкур магнитҳои доимии баландсамараи навъи NdFeB (неодим-феррити-бор) истифода шудаанд, ки дорои хусусиятҳои зеринанд:

- Индуксияи боқимондагӣ: $B_r = 1.23$ Тл;
- Қувваи майдони коэрситивӣ: $H_{sv} \geq 860$ кА/м, ва дар шароити кори магнитшуда $H_{sx} \geq 960$ кА/м;
- Ҳосили заряди энергетикӣ (максимум): $(BH)_{max} = 287-310$ кДж/м³.

Интихоби турбина дар асоси турбинаҳои марказгурез амалӣ гардидааст. Мошинҳои гидравликӣ, одатан, бозгардонанда мебошанд, яъне онҳо метавонанд вобаста ба самти гардиш ҳамчун муҳаррик ё насос истифода шаванд. Дар чунин ҳолатҳо, на танҳо самти гардиш, балки нишонаҳои фишор, момент ва дигар параметрҳои кори низ тағйир меёбанд.

Ба ифодаи мувофиқ гузаштан, бо истифода аз формулаи Остроградский–Гаусс, аз интегралҳои сатҳӣ ба интегралҳои ҳаҷмӣ мегузарем. Бо дарназардошти он, ки

$$Dm = \rho \cdot dA,$$

ки дар он ρ – зичии моеъ дар нуқтаи додасишуда, ва dA – элементҳои хурди ҳаҷм мебошад, ифодаи ниҳонии ҳисобро ба даст меорем.

$$f_{AP} \frac{dv}{dt} dA = f_{AP} g dA - f_A dp dA \quad (4)$$

Тавоноии сели турбинаи неругоҳи барқи обии хурд (P_T) яъне кори механикии об дар як воҳиди вақт, ки аз баландии муайян (H) тавассути турбина мегузарад ва ба фишори кори он мувофиқ аст одатан ба килограмм-метр дар як сония (кг·м/с) ҳисоб карда мешавад. Ин тавоноӣ вобаста аст аз ҳаҷми оби воридшаванда ба турбина, фишори об ва самаранокии табдилдиҳии энергияи механикӣ.

$$P_T = H \cdot Q \cdot \rho \quad (5)$$

Қисми чап ва ростии ифодаи (5) - ро ба g зарб мезанем:

$$P_T \cdot g = g \cdot H \cdot Q \cdot \rho \quad (6)$$

Бо истифода аз ифодаи (6), метавон зарби $g \cdot H$ -ро, ки ба маҳсулоти суръати ҷазби заминӣ ва баландии фишори об баробар аст, барои речаи барқароршавандаи кори турбина муайян кард. Ин арзиш барои арзёбии тавоноии потенциалии ҷараёни об ва татбиқи он дар ҳолати устувори барқароршаванда истифода мешавад.

$$g \cdot H = \frac{L}{H} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot v_{баромад}^2 - \frac{1}{2} \cdot v_D^2 \right) \quad (7)$$

Моделҳои коркардшуда имконият медиҳад, ки суръати гардиши турбина ва тавоноии он вобаста ба сарфи об ҳисоб карда шавад. Ин ҳисобкунӣҳо бо истифода аз маълумоти гидрологии дарё, тавсифҳои техниकीи обгузар (водовод) ва андозаҳои асосии қисми обгузари насос анҷом дода мешаванд.

Модел ба баланд бардоштани кори боэътимод ва самараноки неругоҳи барқи обии хурд мусоидат менамояд.

Дар боби чорум «Хусусиятҳои лоиҳакашӣ ва сохтмони неругоҳҳои барқи обии хурд дар Ҷумҳурии Тоҷикистон» таҳлил ва асосноккунии илмӣ анҷом дода мешавад.

Дар охири солҳои 50-уми асри гузашта, дар ҳудуди Ҷумҳурии Тоҷикистон зиёда аз 100 адад неругоҳи барқи обии хурд фаъолият мекарданд, ки ҳамасола то 40 миллион кВт·соат нури барқӣ истеҳсол менамуданд. Ин неругоҳҳо дар барқарорсозӣ ва рушди соҳаҳои гуногуни хоҷагии халқи ҷумҳурӣ саҳми назаррас доштанд. Бо гузариш ба системаи марказонидашудаи таъминоти барқ, қисми зиёди неругоҳҳои хурд тадриҷан аз истифода бароварда шуданд.

Дар охири асри XX “Барномаи рушди энергетикаи хурд дар Тоҷикистон” таҳия гардида, дар он эҳёи неругоҳҳои мавҷуда ва сохтмони неругоҳҳои нави хурд пешбинӣ шуда буд. Бар асоси “Барномаи рушди гидроэнергетикаи хурд”, сохтмони 27 неругоҳи нави хурд бо иқтидор аз 22 то 69 кВт ва бо истеҳсоли миёнаи солонаи то 350 млн кВт·соат нури барқӣ пешниҳод гардидааст.

Дар неругоҳҳои барқи обии хурд, вобаста ба фишор ва сарфи об, истифодаи навъҳои гуногуни гидрогенераторҳо ба назар гирифта мешавад. Дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон аксари неругоҳҳои хурд бо истифода аз усули дериватсионии анъанавӣ сохта шудаанд. Ин усул аз якҷанд қисм иборат аст: сарбанд ва обанбор, дериватсияи бефишор, қисми обгузар ба турбинаҳо, бинои неругоҳ ва обрави барқиро ташкил медиҳад.

Иқтидори гидроагрегат дар шакли умум бо формулаи муайян ҳисоб карда мешавад, ки дар он параметрҳои асосӣ сарфи об, баландии фишор ва самаранокии таҷҳизот ба назар гирифта мешаванд.

$$P = 9.81 \times Q \times H \times \eta, \text{ кВт} \quad (8)$$

Суръати маҷрои об ва сарфи об алоқаи зеринро дороанд.

$$Q = V \times F, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad (9)$$

ки дар ин ҷой Q = сарфи об - $\text{м}^2/\text{с} \cdot \text{м}^3/\text{с}$.

H = фишори об аз баландӣ, м.

V = суръати ҷараёни об, $\text{м}^2/\text{с} \cdot \text{м}/\text{с}$

η - ККФ-и гидроагрегат.

Фишор ва суръати мавҷро алоқаи зерин дарбар мегирад:

$$H = \frac{v^2}{2 \times g}, \text{ м} \quad (10)$$

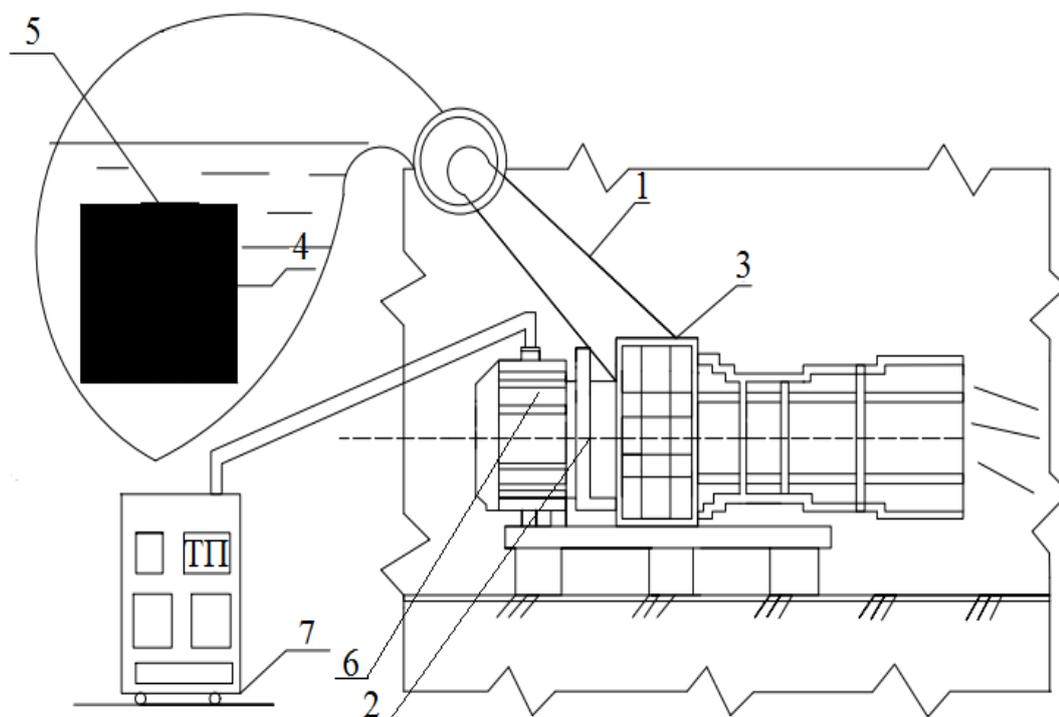
Гидроагрегате, ки дар нақша нишон дода шудааст, бо таҷҳизоти пайваस्ताи (силсилабарории) мукамал муҷаҳҳаз гардонидани шудааст. Ба таркиби он, ғайр аз турбинаи радиалӣ-меҳварӣ, инчунин генератори ҳамзамонӣ, танзимгари худкор, сарчарха, ва ҳалқаи обравии фишордор

шомил мегарданд. Гирдиши (наварди) гидротурбина ва генератор тавассути муфти эластикӣ ва сарчарха ба ҳам пайваст карда мешавад, ки ин имкон медиҳад моменти гардиш ба таври устувор ва бе ларзиш интиқол дода шавад.

Канали «Болга–Босган»-и неругоҳи барқи обии хурди «Октябр», ки манбаи асосии таъминоти оби неругоҳ ва агрегати он мебошад, дар натиҷаи фарсудаҳои сохторӣ танҳо имкони истеҳсоли то 22 кВт иқтидори барқи электрикӣ дошт. Баландии лоиҳавии фишори канал 7 метро ташкил медиҳад. Паҳнои канал 7 метр ва чуқурии он бо диаметри 1200 мм буда, сарфи об дар он то 18 м³/с мерасад.

Ин канал қаблан барои обёрии заминҳои колхозии номи Карл Маркс, совхозии «Туркменистон» ва қисман заминҳои ноҳияи Вахш истифода мешуд.

Дар давраи минбаъда, неругоҳи барқи обии хурди «Октябр» ба соҳибияти як шахси воқеӣ соҳибкор гузашт ва аз ҷониби ӯ корҳо оид ба таҷдид ва барқарорсозии ин иншооти энергетикӣ ба роҳ монда шуданд.



Расми 15 – Сохти неругоҳи барқи обии хурди Октябр

Хусусияти фарқкунандаи лоиҳаи пешниҳодшуда дар тарҳи инноватсионии қисми гидромеханикӣ зоҳир мегардад. Дар ин лоиҳа оббарандаи фишордор ба таври рост (амудӣ) тарҳрезӣ гардида, маҷмуаи турбина ва генератор дар як меҳвари амудӣ ва дар ҷойгиршавии пайваста насб карда шудаанд. Мавқеи онҳо нисбат ба сатҳи қаблии ҷараёни об, як метр поёнтар ҷойгир аст, ки ин имкон медиҳад фишори динамикӣ бештар истифода шавад. Чунин ҷойгиршавӣ ба коҳиши талафоти гидравликӣ, баланд шудани самаранокии умумии неругоҳ ва соддагардонии тарҳи конструктивӣ мусоидат мекунад.

ХУЛОСА

Дар асоси тадқиқоти гузаронидашуда дар доираи диссертатсия хулосаҳои илмӣ ва натиҷаҳои амалии зерин пешниҳод мегарданд:

1. Яке аз роҳҳои асосӣ ва мақсадноки баланд бардоштани эътимоднокии дастгоҳҳои садамавии электрикӣ дар иншоотҳои энергетикӣ, аз ҷумла неругоҳҳо, бунёд ва таҷдиди неругоҳҳои барқии обии хурд мебошад, ки ба ҳалли масъалаҳои муҳим ва мураккаби илмӣ-техникӣ раवона карда шудааст [1-М].

2. Сифати асосии талаботии энергия бо ёрии табдилдиҳандаҳои неругоҳи барқӣ таъмин карда мешавад, ки барои таъминоти басомади арзӣ ва амплитудаҳои шиддати содиротӣ шароит фароҳам меоранд [2-М].

3. Барои тафтишоти ҳолати оиққорӣ ва баҳодиҳии қобилияти кории дастгоҳҳои электрикӣ, ки дар асоси таҳлили робитаҳо бо қисмҳои гидравликии механикӣ, ҳароратӣ ва андозаҳои электрикӣ, бо роҳҳои қиёс кардани қимату андозаҳои онҳо, ки дар натиҷаи модулҳои математикӣ ҳисобӣ шудаанд, асоснок карда шудааст [1-М].

4. Натиҷаҳои баҳодиҳии қобилияти кории дастгоҳҳои электрикӣ бошад, дар речаи онлайн ба бунгоҳи танзимгарон, ки кори истгоҳи электрикиро тафтиш мекунанд, расонида мешавад, хусусан дар ноҳияҳои дурдасти Тоҷикистон [2-М].

5. Воридоти сохти ташхисӣ ва алоқа бо бунгоҳи марказии танзимгаро шароит фароҳам меорад, ки речаи саёравии (масофавӣ) корҳои неругоҳи барқи обии хурдро бе ҷалби коргари хизматрасон ба кор бурд [4-М].

6. Рушди сохтмони неругоҳи барқи обии хурд дар Тоҷикистон бемамоният боло меравад ва дар айни замон неруи электрикии дар онҳо истеҳсолшуда 25,5 МВт - ро (ё 25,5 млрд кВт.соат) ташкил медиҳад. Тармими неругоҳи барқи обии хурди "Октябр" имкон медиҳад, ки дар як сол 595680 кВт.соат ё ≈ 595.7 МВт.соат. истеҳсол карда шавад ва ба он метавонад маҳаллаи аҳолинишини наздикии ин неругоҳ, муассисаи механиконидашудаи сайёри сохтмони №150 ва меҳмонхонаро бо неруи электрикӣ таъмин намояд, инчунин, барои беморхонаи вилоятии ба номи Бурӣ Воҳидов манбаи захиравии барқ бошад [11-М].

7. Ҳангоми насб намудани гидроузели неругоҳи барқи обии хурд дақиқан омӯхтани шароити маҳал зарур мебошад. Ин барои пешгирӣ намудани таъсири ҳодисаҳои табиӣ дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон, монанди фаромадани ярҷ, омадани сел ва фууромадани тарма, мусоидат менамояд [5-М].

8. Барои баланд бардоштани эътимоднокӣ ва самаранокии энергетикии неругоҳи барқи обии хурд, интихоб намудани генератор бо магнити доимӣ кори неругоҳро беҳтар менамояд [6-М].

9. Алгоритми пешниҳодшуда барои муайян намудани коэффитсиенти тезгардии турбина моделсозии дақиқи қисми гидравликии гидроагрегатро таъмин намуда, қиматҳои ҳисобии ба таври санҷишӣ муайянкардаи тавоноиро бо ҳам мувофиқ менамояд [2-М].

ТАВСИЯҲО ОИД БА ИСТИФОДАИ АМАЛИИ НАТИҶАҲОИ ТАҲҚИҚОТ

1. *Татбиқи моделҳои рақамӣ ва алгоритмҳои идоракунии автоматикардашуда дар лоиҳакашии НБОХ.* Бо истифода аз моделҳои таҳияшуда дар муҳити MATLAB/Simulink ва дигар абзорҳои муҳандисӣ, метавон дар неругоҳҳои барқи обии хурд речаҳои оптималии кори турбина ва генераторро муайян ва амалӣ намуд, ки ин ба баланд гардидани самаранокӣ ва коҳиши талафоти энергетикӣ мусоидат мекунад.

2. *Истифодаи генераторҳои синхронӣ бо магнитҳои доимӣ дар тарҳи НБОХ.* Генераторҳои бо магнитҳои доимӣ дар муқоиса бо системаҳои анъанавӣ дорой самаранокии баланд ва эътимоднокии устувор мебошанд. Ин технология, махсусан барои шароити дурдаст ва минтақаҳои қухӣ, тавсия мешавад, зеро нигоҳдории он камтар ва кори он боэътимодтар мебошад.

3. *Татбиқи лоиҳаҳои муосиргардонии НБОХ дар асоси намунаи таҷдиди неругоҳи «Октябр».* Лоиҳаи таҷдиди НБОХ «Октябр», ки бо истифода аз усулҳои лоиҳакашии муосир ва тарҳи гидротехникий беҳсозишуда амалишаванда мебошад, метавонад ҳамчун намуна барои таҷдид ва рушди неругоҳҳои хурди мавҷуда дар минтақаҳои дигари ҷумҳурӣ хидмат намояд.

4. *Интегратсияи таҳқиқоти илмӣ дар раванди таълим ва омодаسازی мутахассисон.* Мавод ва натиҷаҳои илмӣ бадастомада (моделҳо, алгоритмҳо ва таҷрибаҳо) барои омӯзиши фанҳои тахассусии марбут ба энергетика дар муассисаҳои таҳсилоти олий, махсусан дар самти идоракунии автоматикунонидашуда ва лоиҳакашии НБОХ, тавсия карда мешаванд.

ИНТИШОРОТИ АЗ РУЙИ МАВЗУИ ДИССЕРТАТСИЯ:

Мақолаҳои наиришуда дар маҷаллаҳои илмӣ аз ҷониби Коммисияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсияшаванда:

[1-М] **Холмирзоев Д.Н.** Неругоҳи хурди обии «Октябр» дар Ҷумҳурии Тоҷикистон [Матн] / А.Я. Абдурахмонов, Д.Н. Холмирзоев // Паёми Потитехникӣ. Бахши: Тадқиқотҳои муҳандисӣ. № 4 (52) 2020. – С. 17-20.

[2-М] **Холмирзоев Д.Н.** Проектирование и строительство малых ГЭС (МГЭС) в Республике Таджикистан [Матн] / Д.Н. Холмирзоев // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. – 2022. – №. 2/3. – С. 61-64.

Мақолаҳои дар конференсияҳо:

[3-М] **Холмирзоев Д.Н.** Проблема воды и особенности прогнозирования долгосрочных тенденций в центральной азии / А.З. Раҳматуллоев, Х.Х. Назарзода, Д.Н. Холмирзоев // Маводҳои Конференсияи Ҷумҳуриявии илмӣ-амалӣ «Рушди иқтисодии энергетика дар Ҷумҳурии Тоҷикистон» 22-24 майи соли 2016, Кушонӣён – 2016. – С. 45-48.

[4-М] Холмирзоев Д.Н. Ба қайдгирии тавсифномаҳои механики муҳаррики ғайризамонсоз ҳангоми тағйирёбии басомад ва шиддати статор дар як фосилаи вақт / Д.Н. Холмирзоев, А.Р. Рашидов, Ҳ.Қ. Муҳаббатов // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Развитие стабильной энергетики в годы независимости» 22-23 декабря 2016 года, Кушониён – 2016. – С. 51-56.

[5-М] Холмирзоев Д.Н. Исследование динамических процессов в системе частотно-регулируемого электропривода насосного агрегата и магистрального турбопровода / Р.А. Кахоров, А.З. Раҳматуллоев, Ҳ.З. Мирзоев, Д.Н. Холмирзоев // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Развитие стабильной энергетики в годы независимости» 22-23 декабря 2016 года, Кушониён – 2016. – С. 148-154.

[6-М] Холмирзоев Д.Н. Потенциал малых ГЭС ресурсов Таджикистана / А.Я. Абдурахманов, Г.Т. Абдурахманов, Д.Н. Холмирзоев // Материалы международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие водно-энергетического консорциума средней Азии - главный путь достижения энергетической независимости Республики Таджикистан» 15-16 мая 2018 года, Кушониён – 2018. – С. 286-289.

[7-М] Холмирзоев Д.Н. Гидроэнергетикаи хурд дар Тоҷикистон / А.Я. Абдурахманов, Г.Т. Абдурахманов, А. Акрамов Д.Н. Холмирзоев // Материалы международной научно-практической конференции «Развитие гидроэнергетики - развитие Таджикистана» 20 декабря 2018 года, Кушониён – 2018. – С. 139-141.

[8-М] Холмирзоев Д.Н. Яке аз сабабҳои корношоям шудани ноқили алюминий дар соҳаи электротехника / А.Р. Рашидов, Н.Х. Одинаев, Б.Ф. Эмомов, Д.Н. Холмирзоев, Ф.Н. Қувватов // Endless Light in Science. – 2023. – № 2-2. – С. 277-281.

[9-М] Холмирзозода Д.Н. Вклад сажи на изменение плотность системы касторового масла и бензола при атмосферном давлении и комнатной температуре / А.Р. Раджабов, А.Р. Рашидов, Р.А. Кахоров, Д.Н. Холмирзозода // Материалы Международной научно-практической конференции: «Энергетика ключевое направление развития национальной экономики» 19 декабря 2024 года, Институт энергетики Таджикистана, р-н. Кушониён, 2024. – С. 57-63.

[10-М] Холмирзоев Д.Н. Таҳсири руҳ ба сохт ва хосиятҳои алюминий / А.Р. Рашидов, Н.Х. Одинаев, А.Р. Рачабов, Д.Н. Холмирзоев, Ф.Н. Қувватов // Международный научно-практический журнал. №2, 31 октября 2024 года. Туркестан, Казахстан. С. 22-24.

Патент ва шаҳодатномаи ихтироъкорӣ:

[11-М] Холмирзоев Д.Н. Неругоҳи хурди оби барқии бесарбанд [Матн] / Д.Н. Холмирзоев, А.Я. Абдурахмонов, Г.Т. Абдурахмонов, Қ.Ҳ. Пираков, Н.М. Раупов // Нахустпатент. Ҷумҳурии Тоҷикистон, 2025, №ТҶ 1587 (аз 18.03.2025).

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН
Институт энергетики Таджикистана

УДК 621.311.3:62-4

На правах рукописи



ХОЛМИРЗОЗОДА Дустмухамад Нуруло

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
МАЛЫХ ГЭС
(на примере станции Октябрь)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических
наук по специальности 05.14.00 – Энергетика
(05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические
системы)

Кушониён – 2025

Диссертация выполнена в лаборатории «Энергетика, ресурсо- и энергосбережение» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана и на кафедре автоматизированных электроприводов Института энергетики Таджикистана.

Научный руководитель: **Абдурахманов Абдукарим Якубович**
доктор технических наук, доцент
кафедры «Автоматизированные
электроприводы и электрические
машины» ТТУ имени академика М.С.
Осими

Официальные оппоненты: **Азизов Рустам Очилдиевич**
доктор технических наук, профессор,
академик Национальной академии наук
Таджикистана

Ганиев Зокирджон Султонович
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Электроэнергетика» филиала
Национального исследовательского
университета «МЭИ» в городе Душанбе

Ведущая организация: Горно-металлургический институт
Таджикистана, г. Бустон

Защита диссертации состоится «03» октября 2025 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-083 по защите кандидатских диссертаций на базе Института энергетики Таджикистана по адресу: 735162, Республика Таджикистан, Хатлонская область, район Кушониён, Джамоат посёлка городского типа Бохтариён, улица Н. Хусрава, 73. E-mail: messi.ilhom@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института энергетики Таджикистана и на сайте организации <https://tpei.tj/shuroi-dissertatsioni/>

Автореферат разослан «_____» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Махсумов И.Б.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования обусловлена текущими вызовами в сфере энергетики Республики Таджикистан. Несмотря на то что в 2024 году суммарная генерация электроэнергии достигла 21 млрд кВт·ч показатель, превышающий уровень внутреннего спроса, оценённого в 17,4 млрд кВт·ч, дефицит электроэнергии остаётся значительной социально-экономической проблемой. По официальной информации ОАХК «Барки Тоҷик», совокупный энергетический дефицит в указанный период составил 152891 кВт·ч. Это свидетельствует о несбалансированности производства и потребления, а также об ограниченной эффективности существующих энергетических мощностей. В связи с этим возникает необходимость в разработке и внедрении комплексных мер, направленных на повышение надёжности энергоснабжения и устойчивое развитие энергетической отрасли страны. С учётом богатого гидроэнергетического потенциала, одним из ключевых направлений устойчивого развития энергетического сектора Таджикистана остаётся активное внедрение малых гидроэлектростанций (МГЭС). Тем не менее, реальная эксплуатация таких объектов выявляет ряд проблем, включая технические ограничения, низкую степень автоматизации и ограниченную надёжность функционирования. В этой связи особую актуальность приобретает комплексное исследование вопросов повышения энергетической эффективности МГЭС, а также модернизация генераторных установок и автоматизированных систем управления. Эти меры имеют как научную значимость, так и прикладную ценность, способствуя укреплению энергетического суверенитета страны. Таким образом, тематика настоящего исследования отличается высокой степенью актуальности и практической значимости в условиях модернизации национальной энергетики.

Степень научной разработанности изучаемой проблемы: Актуальность диссертационной работы привлекла значительное внимание научного сообщества и вызвала широкий интерес со стороны исследовательских организаций. В данном направлении уже проведён целый ряд существенных научных разработок. С учётом благоприятных перспектив развития малой гидроэнергетики в Республике Таджикистан, в ряде ведущих технических вузов страны таких как Институт энергетики Таджикистана и Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими сформирована значительная научная и прикладная база, отражающая многолетний опыт в данной области. В частности, учёные Институте энергетики Таджикистана Аминов Д.С., Давлатов А.М. и Гулов Д.Ю. внесли весомый вклад в разработку и проектирование асинхронных и синхронных генераторов для малых ГЭС, а также в развитие вентильных машин с электромагнитным возбуждением. В Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими исследованиями по разработке материалов и технологий для эффективного использования гидроэнергетических ресурсов в последние годы активно занимаются такие учёные, как Абдурахмонов А.Я., Киргизов А. К., Диёрзода Р.Ш. и Қасобов Л.С. Научные исследования,

проведённые в Южно-Уральском государственном университете, также заслуживают внимания, особенно работы исследователей Ганджи С.А., Воронина С.Г., Усынина Ю.С. и Григорьева М.А., опубликованные в международных научных базах данных Scopus и Web of Science, отличающиеся высокой научной значимостью.

В рамках исследований всесторонне изучены различные схемы проектирования малых ГЭС, типы генераторов и системы их управления. Проведён сравнительный анализ вентильных индукционных генераторов, генераторов с постоянными магнитами и синхронно-асинхронных генераторов. Современные методы анализа сложных электромеханических систем с использованием новейших инженерных программных комплексов и цифровых технологий позволили получить эффективные результаты, закладывающие прочную основу для дальнейшего развития отрасли.

Несмотря на значительные достижения как отечественных, так и зарубежных учёных в вопросах повышения энергетической эффективности малых ГЭС, в условиях Республики Таджикистан, несмотря на растущее внимание Правительства к развитию малой гидроэнергетики, сохраняются серьёзные научно-технические проблемы. Эти проблемы в первую очередь связаны с разнообразием климатических и гидрологических условий, а также с необходимостью обеспечения высокой эффективности и надёжного электроснабжения отдалённых районов страны.

Связь исследования с программами (проектами), научной тематикой: предлагаемое диссертационное исследование находится в тесной корреляции с ключевыми стратегическими документами и программами, реализуемыми в Республике Таджикистан. В частности, тематика работы соответствует приоритетам, обозначенным в «Национальной стратегии развития до 2030 года», задачам повышения надёжности и рационального использования энергоресурсов, сформулированным в государственной программе «Обеспечение энергетической безопасности и эффективное использование электроэнергии», а также направлениям цифровой трансформации экономики, определённым в «Концепции цифровой экономики Республики Таджикистан». Таким образом, результаты настоящего исследования способны внести вклад в реализацию государственных инициатив по модернизации энергетического сектора страны.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования заключается в разработке научно обоснованных методов автоматизации эксплуатации малых гидроэлектростанций с учётом режимных характеристик работы гидротурбин и электрогенераторов, направленных на повышение энергетической эффективности и устойчивости их функционирования.

Для реализации поставленной цели в рамках диссертационного исследования необходимо решить **следующие задачи:**

1. Провести комплексный анализ архитектуры и принципа функционирования малой гидроэлектростанции «Октябрь», а также системы водоснабжения «Болга Басган» с учётом их технических параметров и эксплуатационных режимов.

2. Сформулировать и обосновать функциональную схему МГЭС, включающую набор высоконадёжных элементов, обеспечивающих устойчивую и эффективную работу вспомогательных и управляющих подсистем.

3. Выполнить выбор и технико-экономическое обоснование конструкции генератора, обладающего повышенным уровнем надёжности и адаптированного к конкретным условиям функционирования.

4. Разработать алгоритмические подходы к оптимизации этапов проектирования, установки и ввода в эксплуатацию малых гидроэлектростанций с учётом современных требований.

5. Определить наилучшую конструктивную схему центробежного насоса, наиболее подходящую для интеграции в состав гидротурбинных агрегатов.

Объект исследования: малая гидроэлектростанция «Октябрь» в Хатлонской области Республики Таджикистан.

Предмет исследования: в диссертационной работе в качестве реального объекта исследования изучены и проанализированы технико-технологические характеристики и эффективность малой гидроэлектростанции, расположенной на канале Болга Басган в районе Кушониён Хатлонской области.

Методы исследования. В ходе выполнения исследования была использована методика поэтапного анализа каждого элемента малой гидроэлектростанции с учётом их взаимного влияния на общую систему. Для анализа работы станции были разработаны и применены математические модели, отражающие динамические и статические характеристики электромеханических систем. Основные результаты представлены в виде математических моделей, реализованных и проанализированных с использованием MATLAB/Simulink и ANSYS.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Разработана усовершенствованная структурная схема малой гидроэлектростанции «Октябрь», включающая автономные модули и автоматизированные системы управления, оптимизированные для условий функционирования на базе водоканала «Болга Басган».

2. Предложена оригинальная цифровая модель генераторной установки, направленная на повышение устойчивости и общей эффективности работы станции в различных эксплуатационных режимах.

3. Построена математическая модель, позволяющая проводить детальный анализ рабочих режимов МГЭС, а также определять резервы увеличения её энергетической производительности и коэффициента полезного действия.

4. Реализован опытный макет проекта малой гидроэлектростанции с учётом комплексного технического моделирования, учёта реальных гидрологических данных и анализа поведения разработанных моделей в условиях, приближенных к эксплуатационным.

Практическая значимость и реализация ее результатов:

1. В результате проведённого научного исследования предложены направления дальнейшего развития интегрированных энергетических систем, в частности в области модернизации и совершенствования центробежных насосов и используемых генераторов на малых гидроэлектростанциях.

2. Основным практическим результатом является разработка комплексной цифровой модели, объединяющей генератор, турбину и систему водопроводящих труб, что способствует повышению надёжности и эффективности работы малой гидроэлектростанции «Октябрь».

3. На основе детального технического анализа и моделирования системы водоснабжения предложены новая оптимизированная схема размещения турбины и усовершенствованный проект режима работы электростанции, позволяющие существенно увеличить производственную мощность станции с учётом реальных гидроэнергетических условий региона.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработка новой технической структуры МГЭС «Октябрь» с использованием полностью автоматизированного оборудования, обеспечивающего работу без постоянного обслуживающего персонала при высоком уровне надёжности и энергетической эффективности.

2. Создание математических моделей и проведение симуляций рабочих режимов станции (включая расчёт и анализ мощности, напора, работы генератора и турбины) в среде MATLAB/Simulink для исследования и оптимизации технических показателей.

3. Разработка и внедрение методов оптимального управления и регулирования устойчивого режима автономной работы станции с обоснованием выбора оборудования, включая центробежные турбины и синхронные генераторы с постоянными магнитами, что позволяет увеличить производительность и снизить эксплуатационные расходы.

4. Реализация практических результатов модернизации и представление инновационного варианта МГЭС, включающего реконструкцию водопроводных труб, установку нового оборудования управления и совершенствование автоматических систем, что обеспечивает рост вырабатываемой мощности и может служить основой для развития малых гидроэлектростанций в отдалённых регионах.

Достоверность научных положений, полученных результатов и выводов обеспечена посредством математического моделирования в среде MATLAB/Simulink, которое с высокой точностью отразило динамические характеристики работы МГЭС «Октябрь». Соответствие расчётных данных с экспериментальными и полевыми измерениями подтвердило эффективность и надёжность предложенной модели, обеспечив основу для оценки мощности и устойчивости системы.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Результаты диссертационной работы соответствуют направлениям исследований, предусмотренным в паспорте научной специальности 05.14.00 – Энергетика (05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы):

Пункт 1. Оптимизация структуры, параметров, схем электрических соединений и разработка методов анализа режимных параметров основного оборудования электростанций.

Пункт 3. Разработка методов расчета, прогнозирования, оптимизации и координации уровней токов короткого замыкания на электростанциях и в электрических сетях энергосистем.

Пункт 4. Разработка, исследование, совершенствование действующих и освоение новых технологий и оборудования для производства электрической и тепловой энергии, использования органического и альтернативных топлив, и возобновляемых видов энергии, водоподготовки и водно-химических режимов, способов снижения негативного воздействия на окружающую среду, повышения надежности и ресурса элементов энергетических систем, комплексов и входящих в них энергетических установок.

Личный вклад автора состоит в самостоятельном написании диссертации, участии в постановке темы исследования, выполнении теоретических и экспериментальных работ, разработке предложений и выводов, анализе и обобщении результатов, а также в их внедрении и публикации в рецензируемых изданиях.

Апробация и реализация результатов диссертации: основные положения и результаты диссертационной работы прошли широкое обсуждение в рамках ряда научных мероприятий различного уровня. В частности, материалы исследования были представлены на следующих конференциях: Международная научно-практическая конференция «Развитие гидроэнергетики развитие Таджикистана» (20 декабря 2018 года, Кушониёнский район).; Республиканская научно-практическая конференция «Экономическое развитие энергетики в Республике Таджикистан» (22 мая 2016 года, г. Бохтар).; Международная научно-практическая конференция (25 сентября 2023 года, г. Алматы, Республика Казахстан).; Международная научно-практическая конференция «Цифровизация промышленности и развитие энергетики с точки зрения учёных и исследователей» (25 апреля 2024 года, Кушониёнский район).; Международная научно-практическая конференция «Энергетика ключевая отрасль развития национальной экономики» (19 декабря 2024 года, Кушониёнский район).

Публикации по теме диссертации. На основе результатов проведённых научных исследований подготовлен и опубликован комплекс из 11 научных печатных работ. Из общего количества 2 статьи опубликованы в рецензируемых научных журналах, соответствующих требованиям Высшей

аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан. Ещё 8 статей опубликованы в сборниках материалов научно-практических и научно-теоретических конференций. Кроме того, получен один патент на изобретение Республики Таджикистан.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, основных выводов, списка литературы, включающего 135 наименований, и трёх приложений. Общий объём диссертации составляет 144 страницу машинописного текста и включает 31 рисунок и 9 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследуемой темы, проведён обзор уровня разработанности научного направления, а также установлена связь настоящего исследования с действующими программами, проектами и научными приоритетами. Кроме того, чётко сформулированы цель и основные задачи работы, посвящённой проблематике малых гидроэлектростанций.

В первой главе «Гидроэнергетические ресурсы, традиционные схемы малых гидроэлектростанций Республики Таджикистан и особенности их использования» рассматриваются в контексте анализа и научного изучения. Реки и водохранилища считаются основными гидроэнергетическими ресурсами, располагающимися на значительной высоте над уровнем моря и относящимися к группе природных источников производства электроэнергии. Водная энергия является одним из возобновляемых источников энергии, эффективность которого зависит от объёма и скорости течения воды в реках.

Учитывая свои топографические и климатические условия, Республика Таджикистан обладает значительными запасами гидроэнергетических ресурсов.

По оценкам экспертов, общий теоретический потенциал гидроэнергетики страны составляет около 40000 МВт, однако на сегодняшний день используется лишь примерно 5 % этих ресурсов.

Следует отметить, что большая часть водных ресурсов Аральского бассейна формируется на территории Республики Таджикистан. Основные реки страны это Пяндж, Вахш, Сирдарья, Зеравшан, Кофарнихон и Бартанг. В республике насчитывается в общей сложности 947 крупных и малых рек длиной более 10 км каждая, при этом общая длина речной сети достигает 28 500 км. Общий энергетический потенциал рек и озёр страны оценивается примерно в 64 млн кВт (64000 МВт).

Река Сирдарья является одной из основных и стратегически важных рек Центральной Азии. Площадь её водосборного бассейна составляет 443 тыс. км² и располагается в пределах широт 39°23'–46°00' с севера и долгот 61°00'–68°24' с востока.

Общая протяжённость течения с юга на север составляет 800 км, а с востока на запад 1600 км. Средний годовой расход воды в Сирдарье составляет около 14 км³. Основные источники формирования водного стока этой реки расположены в Западном Тянь-Шане, отрогах Олой и северных предгорьях гор Туран.

Площадь бассейна реки Вахш составляет 39100 км², крупнейшие её притоки берут начало в районе Нижнего Олоя (также известного как Кызылсу). Некоторые притоки Кызылсу протекают через Олойскую долину и впадают в реку Мугсу. Река Мугсу, расположенная в северо-западной части Памирских гор, также является важным гидроэнергетическим ресурсом, на которой функционируют несколько малых гидроэлектростанций.

Объединение рек Мугсу и Кызылсу формирует реку Сурхоб, рядом с которой впадает река Хингоб. В месте их слияния образуется река Вахш. Вахш протекает через район с разнообразными гидрологическими условиями и сложным рельефом. Расход воды изменяется в зависимости от сезона, при этом июнь и июль считаются периодами максимального водного стока.

Реки Вахш и Пяндж совместно обеспечивают более 75 % гидроэнергетического потенциала Республики Таджикистан. Это создаёт условия для производства до 13000 кВт электроэнергии в год на каждом километре протяжённости реки.

Согласно статистическим данным, в последние годы производство и потребление электроэнергии в стране увеличились в 21 раз, а в 2024 году объём производства достиг 21 млрд кВт·ч. При этом 93 % выработки приходится на гидроэлектростанции, что подчёркивает ключевую роль гидроэнергетики в национальной экономике.

Результаты проведённых исследований свидетельствуют, что общий энергетический потенциал Республики Таджикистан составляет в среднем порядка 51,8 млн кВт. При этом около 511 рек, прошедших детальное научное изучение, характеризуются суммарной установленной мощностью примерно 32,6 млн кВт. Дополнительно малые реки с длиной менее 10 км, которые на данный момент используются в ограниченной степени, обладают потенциальной мощностью порядка 19,5 млн кВт.

Таблица 1 – Энергетический потенциал основных рек Республики Таджикистан

Названия рек	Площадь бассейнов		Потенциальные гидроэнергетические ресурсы		Сравнительная насыщенность кВт/км ²
	км ²	%	кВт	%	
Сырдарья	13182	9,3	250	0,8	18,9
Зеравшан	12381	8,7	2622	8,2	211,7
Кафарнихон	14519	10,1	3662	10,5	231,5
Вахш	30873	21,6	14067	43,5	455,7
Пяндж	71907	50,6	12027	37,0	167,2
Общий	142862	100	32628	100	236,3

Как видно из таблицы 1, водохранилища рек Пяндж и Вахш занимают особое положение, поскольку на их долю приходится около 80,5 % от общих водных ресурсов страны. Распределение потенциала водных ресурсов Республики Таджикистан по мощности водохранилищ представлено в таблице 2. Анализ полученных данных свидетельствует, что по объёму гидроэнергетических ресурсов Таджикистан занимает второе место среди стран региона, уступая только Российской Федерации. Средняя плотность гидроэнергетического потенциала в стране составляет примерно 2 100 тыс. кВт·ч на квадратный километр.

Таблица 2 – Распределение потенциала водных ресурсов Республики Таджикистан по мощности водохранилищ

Мощность реки, тыс. кВт	Количество рек	Мощность кВт	
		тыс. кВт	%
Более аз 500	7	20087	62,13
100-500	28	6045	18,7
50-100	44	3002	9,26
25-50	135	2139	6,62
5-10	137	626	1,97
Меньше 5	190	439	1,94
Общий	512	32638	100,0

По показателю удельной мощности, то есть мощности на километр длины реки, ведущие позиции занимают реки Оби-Хингоб, Вахш и Пяндж. В таблице 3 приведены сведения о распределении потенциальных энергетических и технических ресурсов ключевых рек Республики Таджикистан и их притоков.

Научные исследования и результаты поисковых работ демонстрируют, что на различных этапах экономического развития Республики Таджикистан имеется значительный потенциал гидроэнергетических ресурсов страны.

При полном освоении общего гидроэнергетического потенциала страны мощность электростанций может достигать 19,3 млн кВт, что обеспечит производство электроэнергии на уровне 143,6 млрд кВт·ч. Эти данные наглядно демонстрируют значительные возможности использования возобновляемых гидроэнергетических ресурсов Таджикистана.

Несмотря на развитую сеть крупных и средних водохранилищ, Республика Таджикистан располагает также значительным числом маломощных рек, мощность которых не превышает 2 тыс. кВт.

Данные гидроэнергетические ресурсы относятся преимущественно к малым и локальным водохранилищам. В таких условиях электроэнергия производится в основном за счёт малых гидроэлектростанций (МГЭС), которые характеризуются следующими техническими параметрами: общая установленная мощность до 30 МВт, мощность одного гидроагрегата до 10 МВт, диаметр рабочего колеса турбины до 3 метров.

Таблица 3 – Сравнительная мощность крупных и средних рек Республики Таджикистан

Названия рек	Гидроэнергетическая мощность на каждый километр длины реки, тыс. кВт/км
Пяндж	11,40
Вахш	11,30
Оби - Хингоу	10,12
Искандар - Дарье	5,19
Варзоб	4,62
Зеравшан	4,48
Оби-Хумоу	4,15
Бартанг	3,14
Вандж	3,72
Язгулом	3,66
Обихумбо	3,40
Гунт	3,61
Шахдара	2,33
Ак-Су	1,29

Исследования показывают, что малые гидроэлектростанции в Таджикистане обладают мощностью до 2,0 МВт на равнинных реках и до 1,7 МВт на горных реках. Эти показатели соответствуют гидрологическим и рельефным условиям страны.

Высокая скорость течения и продолжительное ледоставание рек создают благоприятные условия для использования безнапорных гидроэлектростанций в труднодоступных районах.

Правительство придаёт приоритет использованию гидроэнергетических ресурсов для экономического развития и экспорта электроэнергии.

Общая мощность малых рек Центральной Азии достигает примерно 3,1 млн кВт, что обеспечивает годовое производство электроэнергии на уровне около 27,2 млрд кВт·ч. Далее приведено распределение этой мощности по основным водным объектам региона.

- Таджикистан – 1,6 млн кВт / 14 млрд кВт·ч;
- Узбекистан – 0,5 млн кВт / 4,4 млрд кВт·ч;
- Кыргызстан – 0,8 млн кВт / 7,0 млрд кВт·ч;
- Туркменистан – 0,2 млн кВт / 1,8 млрд кВт·ч.

На рисунке 1 представлен график производства электроэнергии в Республике Таджикистан за период с 2000 по 2024 годы.

Данный график отражает динамику и тенденции производства электроэнергии в указанный период. На начальном этапе анализа (2000–2016 годы) объём производства находился на относительно стабильном уровне и варьировался в пределах от 14,3 до 17,5 млрд кВт·ч. Этот период можно

охарактеризовать как этап энергетической стабильности, когда серьёзных изменений в производственных мощностях и внутреннем спросе на электроэнергию не наблюдалось.

Начиная с 2017 года, ежегодное производство электроэнергии в стране демонстрирует тенденцию к росту. В частности, в период с 2017 по 2024 годы объём производства увеличился с 17,1 млрд кВт·ч до 22,4 млрд кВт·ч, что составляет общий прирост порядка 31 %. Такая динамика свидетельствует о вводе новых мощностей, эффективном использовании гидроэнергетических ресурсов и реализации централизованной государственной политики в энергетической сфере.

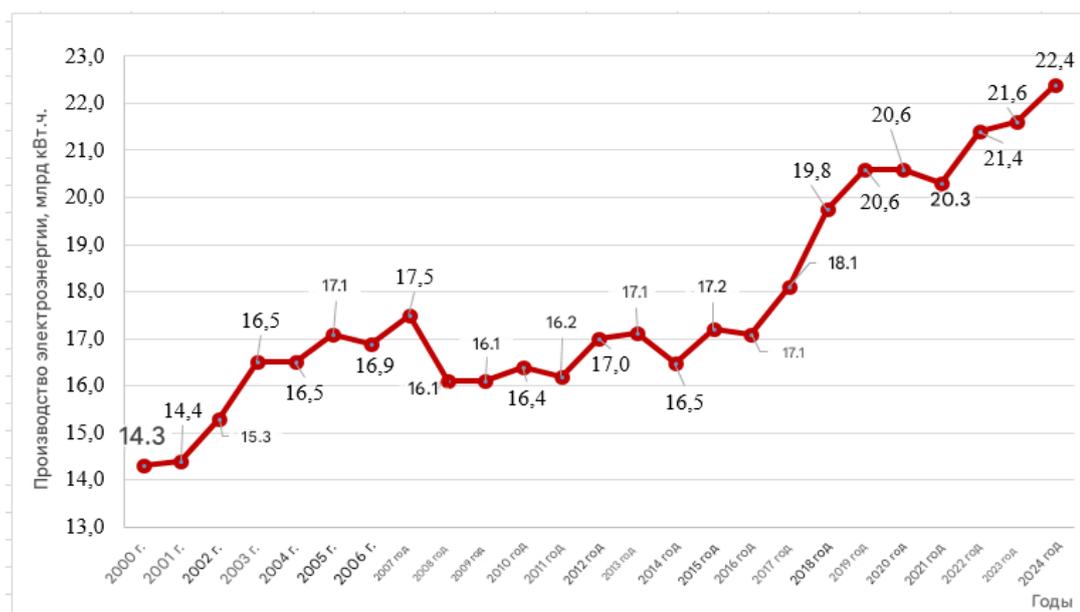


Рисунок 1 – График производства электроэнергии в Республике Таджикистан за период с 2000 по 2024 год

Данный рост обусловлен увеличением внутреннего спроса, расширением сетей электропередачи, развитием национальной экономики, а также усилиями по превращению Таджикистана в страну-экспортёр электроэнергии. Целенаправленная и стратегическая энергетическая политика позволила стране обеспечить устойчивый рост производства электроэнергии в относительно короткие сроки.

В Республике Таджикистан для развития малой гидроэнергетики, включая строительство малых гидроэлектростанций, принят ряд нормативно-правовых актов. В частности, Постановление Правительства Республики Таджикистан от 2 февраля 2009 года № 73 «Долгосрочная программа строительства малых гидроэлектростанций на период 2009–2020 гг.» является стратегическим документом в данной сфере. Кроме того, в ряде городов и регионов страны разработаны и утверждены декларации с конкретными позициями проектов, способствующих развитию местной энергетической инфраструктуры.

Истоки развития малой гидроэнергетики в Республике Таджикистан восходят к началу XX века. В целях электроснабжения центральных районов

страны в 1927 году был намечен проект строительства гидроэлектростанций на реке Варзоб. Строительные работы по Варзобской ГЭС, рассчитанной на мощность 7 200 кВт, были начаты 25 февраля 1931 года.

В последующие годы на территории страны было построено несколько малых гидроэлектростанций, в том числе в городах и районах Шахритус, Исфара, Конибодом и других регионах. Общая установленная мощность этих станций превышает 17,3 МВт.



Рисунок 2 – Карта рек и водохранилищ Республики Таджикистан с обозначением потенциальных мест размещения малых гидроэлектростанций

В таблице 4 представлена информация о горных населённых пунктах Республики Таджикистан с указанием расстояний от каждого населённого пункта до соответствующего районного центра. На основании этих данных можно сделать вывод, что в каждом регионе существует потенциал для реализации малых гидроэлектростанций различной мощности. Такие электростанции способны эффективно обеспечивать электричеством горные населённые территории и способствовать повышению уровня доступа населения к электроэнергии.

Таблица 4 – Труднодоступные районы в горных регионах Республики Таджикистан

Населенные пункты	Расстояние населенного пункта от районного центра	Пользователь	Мощность гидроэлектростанции
Булункул	90	32	25
Пасир	125	27	20
Гиндукуш I	105	23	20
Гиндукуш 2	116	33	32
Хавдж	130	18	20

Анализ конструкции традиционной гидроэлектростанции

Малая гидроэлектростанция «Панчруд», расположенная в Пенджакентском районе, выполнена по традиционной схеме малых гидроэлектростанций (см. рисунок 3). В её составе имеются плотина (П) и напорные трубопроводы (ПТ), а также следующие ключевые элементы: гидротурбина (ГТ), генератор (Г), коммутационно-распределительное оборудование (КРО), тиристорное устройство возбуждения (ТУВ), исполнительный механизм затвора турбины (ПЗТ), исполнительный механизм регулирования скорости турбины (ПРТ), регулятор турбины (РТ) и регулятор возбуждения (РВ).

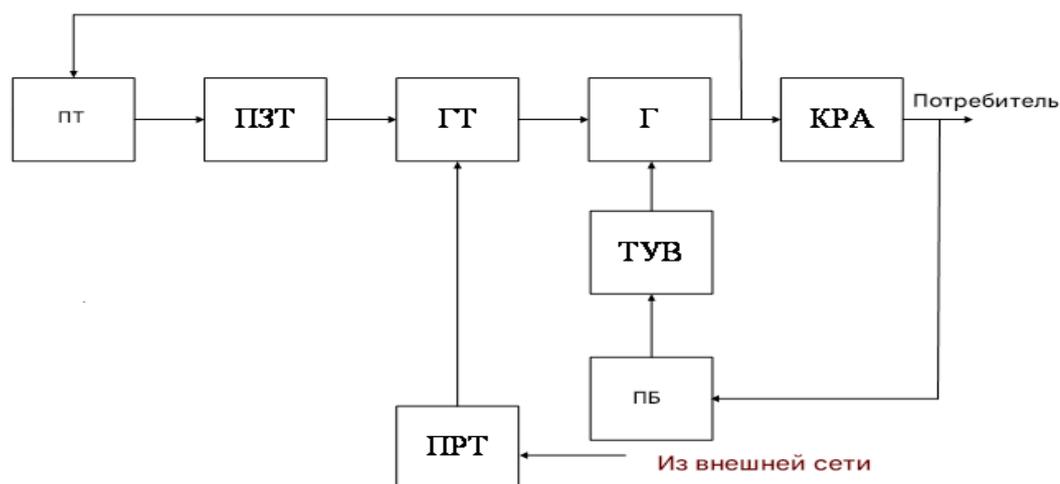


Рисунок 3 – Основы конструкции автономной и автоматизированной малой гидроэлектростанции

На малых гидроэлектростанциях обычно используются синхронные генераторы с электромагнитным возбуждением, при котором возбуждающий ток подается на ротор генератора через контактные кольца. Эти контакты снижают надёжность и требуют регулярного обслуживания. Для повышения надёжности генератор может иметь независимый возбудитель с постоянными магнитами.

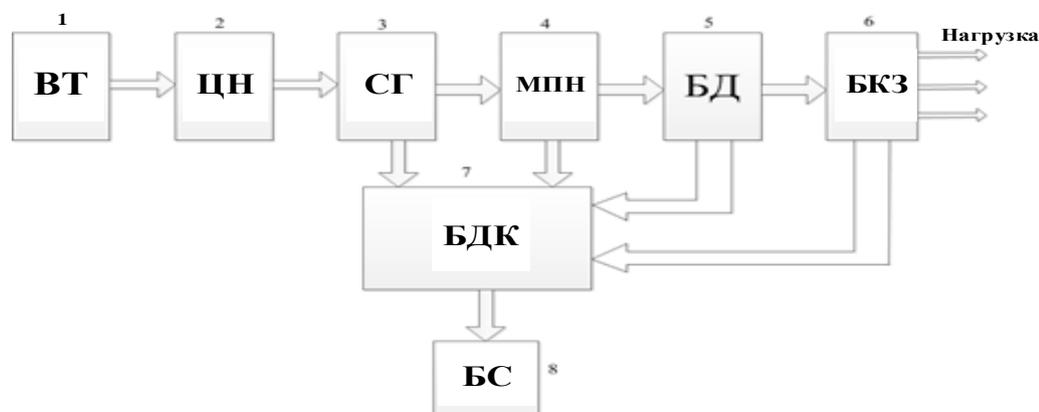


Рисунок 4 – Функциональная схема автоматизированной малой гидроэлектростанции

Основной состав малой гидроэлектростанции и её оборудования:

1. Водопроводящая труба (ВТ) – предназначена для подачи воды к турбине. В качестве гидротурбины используется серийный центробежный насос (ЦН).

2. Электрическая часть станции представлена трёхфазным синхронным генератором (СГ) синхронным трёхфазным двигателем с возбуждением постоянными магнитами серийного производства.

3. Мощностной преобразователь напряжения (МПН) представляет собой комплекс устройств, включающий преобразователь переменного тока в постоянный, преобразователь постоянного тока в переменный с возможностью регулировки амплитуды и частоты, а также устройство для симметрирования трёхфазного напряжения.

4. Блок датчиков выходных параметров станции (БД) осуществляет регистрацию основных электрических величин: тока, напряжения, мощности и объёма выработанной электроэнергии.

5. Блок коммутационно-защитный (БКЗ), стандартный коммутационно-защитный модуль для защиты оборудования.

6. Блок диагностического контроля (БДК), предназначен для диагностики и оценки состояния элементов и функционирования станции.

7. Блок связи (БС), обеспечивает передачу данных и связь с центром управления.

Во второй главе «Мощность малых гидроэлектростанций и основные факторы, ее определение» проводится научное исследование и обсуждение.

Вот научный и грамотно сформулированный перевод представленного текста на русский язык:

Давление и расход воды играют ключевую роль в производстве электроэнергии, поскольку мощность напрямую зависит от их одновременного воздействия. Даже при незначительном расходе воды, при условии высокого напора, можно обеспечить эффективную выработку электроэнергии.

Одним из эффективных путей повышения производительности является реконструкция и модернизация существующей малой гидроэлектростанции.

Реконструкция и восстановление малой гидроэлектростанции «Октябрь» позволяет за счёт увеличения объёма подаваемой воды и повышения напора до 7 метров довести выработку электрической мощности до 75 кВт.

Данный процесс также сопровождается оптимизацией технологической схемы работы станции и возможностью её функционирования в автоматизированном режиме без постоянного обслуживающего персонала, что существенно повышает надёжность и экономическую эффективность эксплуатации объекта.

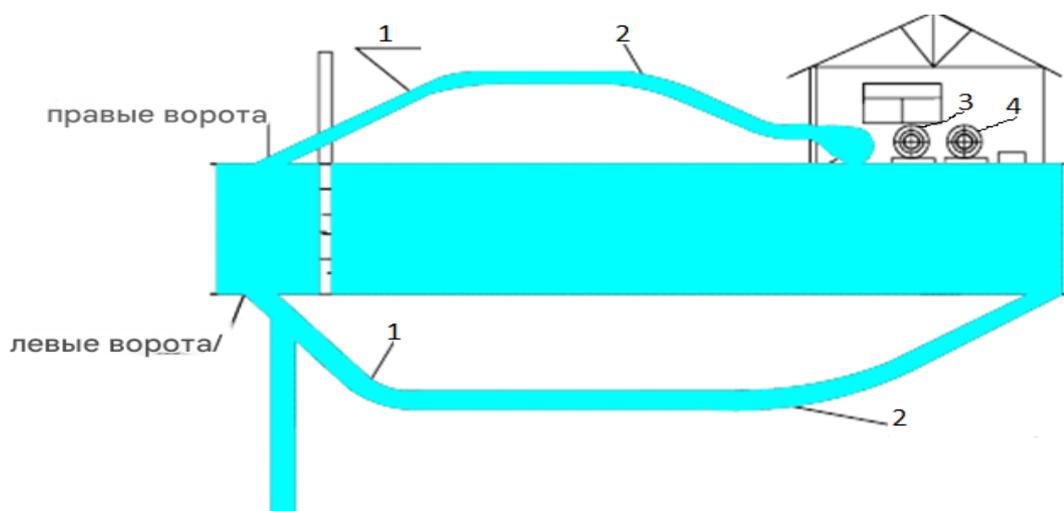


Рисунок 5 – Схема малой гидроэлектростанции «Октябрь» до реконструкции: 1. Правая задвижка; 2. Правая напорная труба 1; 3. Правая напорная труба 2; 4. Генератор 1; 5. Генератор 2; 6. Левая задвижка; 7. Левая напорная труба 1; 8. Левая напорная труба 2

Электроэнергия может передаваться в автономную сеть, а при расширении мощности и увеличении скорости вращения генератора становится возможным круглосуточное регулирование работы гидроэлектростанции. Повышение напора воды на 16,6% и выпрямление потока способны увеличить мощность станции до 50%. Ключевую роль в этом процессе играет водоносная способность канала «Болга-Басган», построенного в 1950 году для орошения сельхозугодий бывшего хозяйства имени Карла Маркса. Проектная мощность ГЭС «Октябрь» составляла 75 кВт, однако фактически она функционировала с мощностью около 22 кВт. После реконструкции станция работает с установленной мощностью 68 кВт.

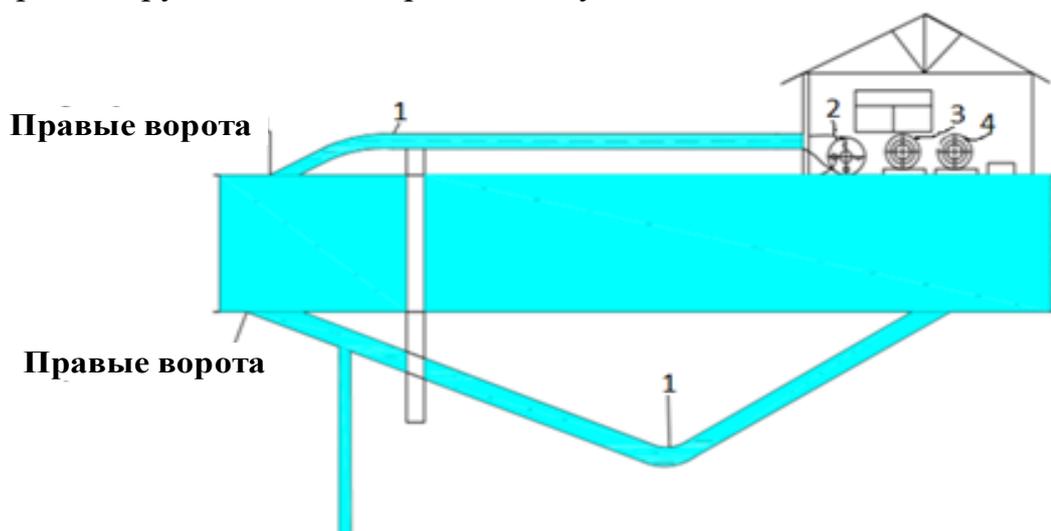


Рисунок 6 – Схема малой гидроэлектростанции «Октябрь» после реконструкции: 1. Правая задвижка; 2. Правая напорная труба 1; 3. Правая напорная труба 2; 4. Генератор 1; 5. Генератор 2; 6. Левая задвижка; 7. Левая напорная труба 1.

Как следует из схемы, подвод воды к станции осуществляется по двум параллельным водоводам, а сама ГЭС расположена в излучине канала, в его конечной части. Напор воды на входе составляет около 6 метров, чего достаточно для выработки приблизительно 22 кВт·ч электроэнергии. Эта мощность ограничена изношенностью оборудования, а также снижением уровня напора в канале.

Реконструкция системы водозабора и установка малой гидроэлектростанции позволяют при напоре до 7 метров и скорости потока до 0,7 м/с достичь установленной мощности станции до 180 кВт. Эти изменения могут обеспечить выработку электроэнергии на ГЭС «Октябрь» до 180,26 кВт·ч в час и до 4,326 МВт·ч в год.

Общий алгоритм расчёта мощности гидроэлектростанции и реализации проектных решений для малых ГЭС разработан на основе интегрального подхода с использованием математического моделирования. Эти модели охватывают работу водохранилища, характеристики агрегатов, баланс водного потока и давление на электроагрегаты.

Согласно статистическим данным, производство и потребление электроэнергии в стране с начала исследуемого периода увеличилось в 21 раз, достигнув к 2024 году объема 21 млрд кВт·ч, из которых около 93% вырабатываются на гидроэлектростанциях. Общий гидроэнергетический потенциал водных ресурсов республики оценивается в 51,8 млн кВт, из которых 511 изученных рек обладают суммарной мощностью 32,6 млн кВт, а реки с длиной менее 10 км около 19,5 млн кВт.

Определение мощности и напора воды на гидроэлектростанции осуществляется с помощью математических моделей. Структура обобщённой модели включает водохранилище станции, уравнения мощности гидроагрегатов, баланс потока воды и давления на электромеханические узлы. Это необходимо для прогнозирования эффективности станции и оптимизации её работы.

Мощность малой гидроэлектростанции (P) рассчитывается на основе механико-гидравлических зависимостей следующим образом:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (1)$$

здесь:

P – электрическая мощность, Вт (ватт);

η – Общая эффективность станции (без учёта размера безвредного сброса);

ρ – плотность воды, кг/м³ (приблизительно 1000 кг/м³);

g – скорость земного притяжения, м/с² (9,81 м/с²);

Q – объем потока воды, м³/с;

H – давление воды (гидравлическая высота), м.

Для примера малой гидроэлектростанции со следующими параметрами:

- объем потока воды $Q=5$ м³/с;
- высота слива воды $H=4,5$ м;
- коэффициент эффективности турбины $\eta=0,85$.

Рассчитываем электрическую мощность по формуле (1):

$$P = 0,85 \times 1000 \times 9,81 \times 5 \times 4,5 = 187,3 \text{ кВт.}$$

Таким образом, электрическая мощность малой гидроэлектростанции составляет около 187,3 кВт.

Математическое моделирование ключевых компонентов малой гидроэлектростанции выполнено в среде MATLAB/Simulink. Разработанные модели с учётом заданных входных параметров и начальных условий позволяют эффективно решать разнообразные инженерные задачи, направленные на поиск оптимальных вариантов функционирования системы. Объём воды в водохранилище рассчитывается на основе нормативных формул, обеспечивающих точность гидрологических оценок.

$$V(t) = V_u \pm \int Q_o dt \quad (2)$$

здесь:

$V(t)$ – Начальный объём водохранилища, м³;

V_u – Скорость потока воды в водохранилище или из него, м³/с, принимающая положительное значение при наполнении водохранилища и отрицательное значение при его опорожнении.

Расчёт мощности гидроэлектростанции базируется на фундаментальных гидравлических и электротехнических принципах и включает последовательное выполнение ряда этапов. Основой служит уравнение гидравлической мощности, которое связывает параметры водного потока с потенциальной механической энергией, преобразуемой в электрическую.

Основные входные параметры для расчёта включают: расход воды (Q), напор (H), плотность воды (ρ), ускорение свободного падения (g) и коэффициент эффективности гидротурбины (η).

Структура алгоритма, как правило, включает следующие основные блоки: сбор и предварительная обработка данных, расчёт гидравлической мощности, моделирование рабочих режимов гидротурбины и генератора, оценка потерь в системе, а также генерация итоговых показателей мощности и эффективности. Такой подход позволяет обеспечить точное прогнозирование и эффективное управление гидроэнергетическим объектом.

Далее вычисленная механическая мощность преобразуется в электрическую с учётом КПД генератора и трансформирующих устройств. Алгоритм предусматривает обработку входных данных, моделирование рабочих режимов, оценку потерь и корректировку параметров для оптимизации общей производительности станции.

Общая структура алгоритма расчёта мощности гидроэлектростанции представлена на рисунке 7. Сначала собираются исходные данные, включающие высоту падения воды, объём потока и эффективность оборудования. На следующем этапе вычисляется гидравлическая мощность механическая энергия воды, обеспечивающая вращение турбины.

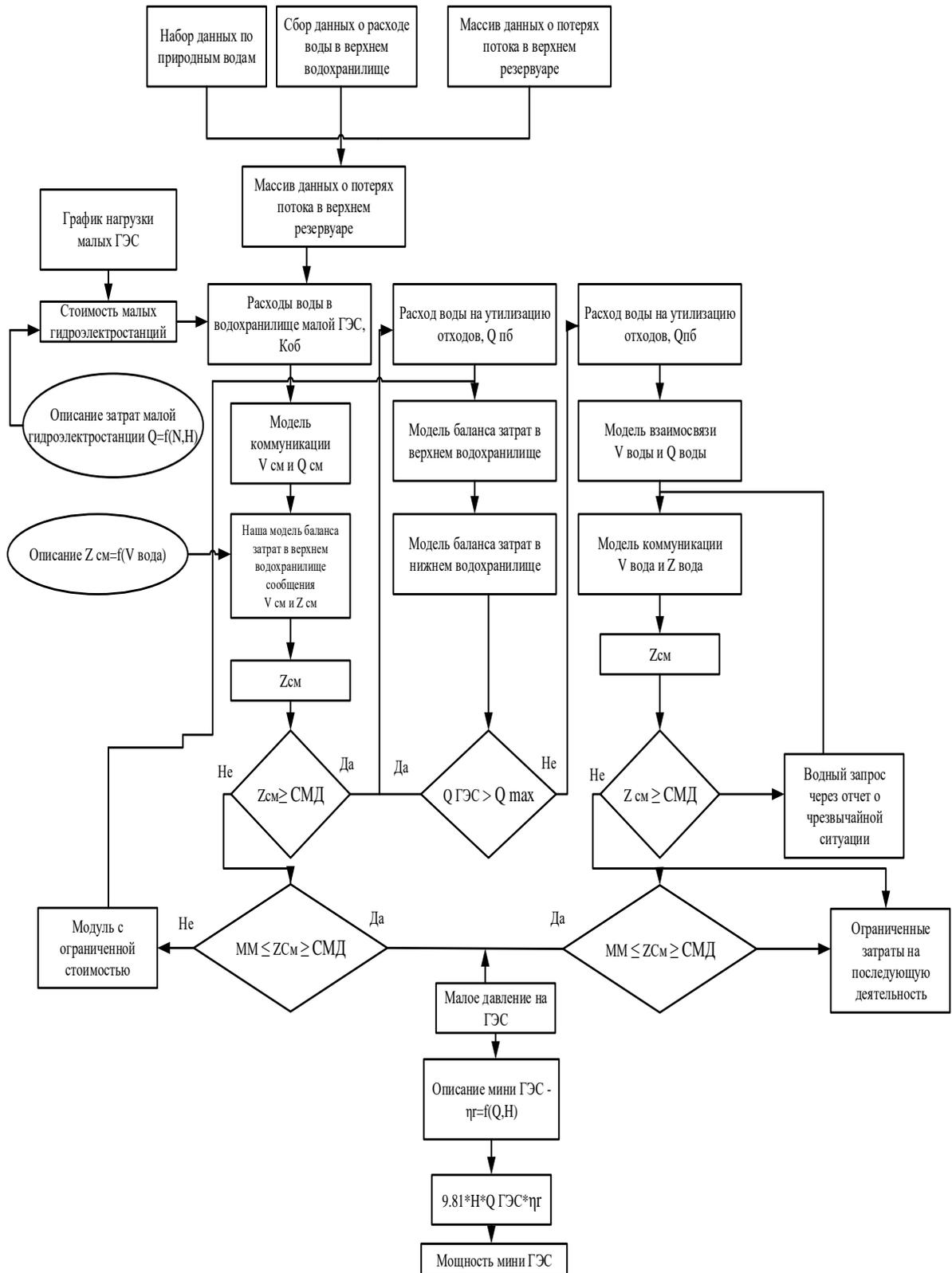


Рисунок 7 – Общий алгоритм расчёта мощности малой гидроэлектростанции

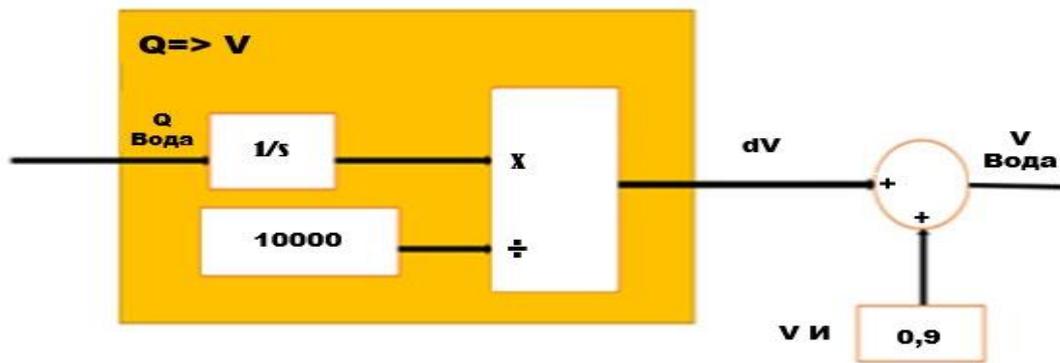


Рисунок 8 – Модель верхнего водохранилища малой гидроэлектростанции

При моделировании верхнего водоёма гидроэлектростанции учитываются потери водного потока до участка потребления. На основе этого разрабатывается модель баланса потоков в верхнем водоёме малой гидроэлектростанции. Одновременно с этим, исходя из морфометрических характеристик водохранилища, рассчитывается параметр верхнего водоёма. Модель верхнего водоёма гидроэлектростанции представлена на макете водохранилища на рисунке 9.

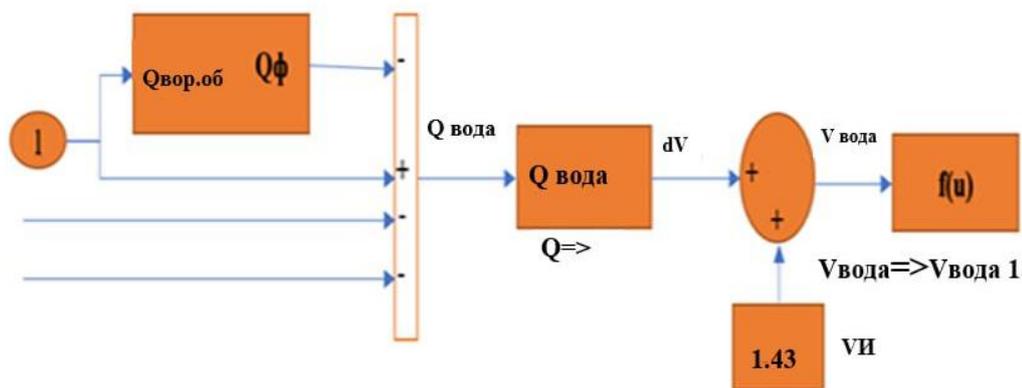


Рисунок 9 – Модель верхнего водоёма гидроэлектростанции совместно с макетом водохранилища

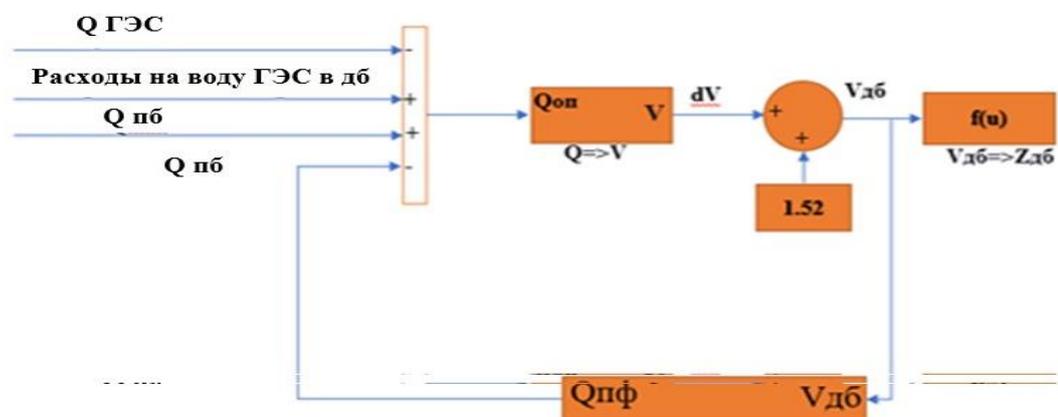


Рисунок 10 – Модель нижнего бьефа для гидроэлектростанции с суточным регулированием

Синусоидальная модель количества воды может быть выражена по следующей формуле:

$$Q(t) = Q_{cp} + A \sin(\omega t + \varphi), \quad (3)$$

здесь:

$Q(t)$ – количество воды в момент t ,

Q_{cp} – среднее содержание воды (постоянный набор),

A – амплитуда изменения количества воды,

ω – угловой период изменения объема воды,

φ – начальная стадия синусоиды,

t – время анализа.

Исходя из характеристик указанной гидроэлектростанции, среднегодовой расход воды составляет $Q_0=4,5$ м³/с, амплитуда колебаний расхода равна $A=0,5$ м³/с, продолжительность периода $T = 365$ суток, а фазовый сдвиг скорости $\varphi = 0$, что соответствует пику расхода в середине весеннего периода. Для определения суточного расхода воды применена синусоидальная модель, позволяющая рассчитывать изменение водного потока в течение года. Итоги расчётов представлены в виде графика на рисунке 11.

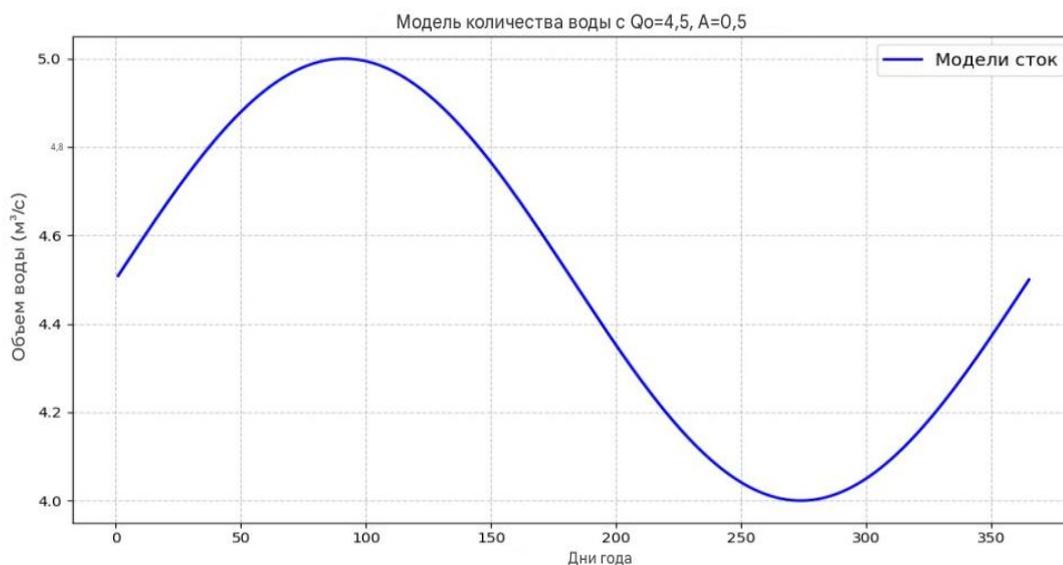


Рисунок 11 – График математической модели колебаний расхода воды

В третьей главе «Технический анализ и оптимальный выбор генераторов и турбин для малых гидроэлектростанций (Октябрь)» проводится научное обоснование и комплексный анализ. Анализ вариантов выбора генератора для автоматизированной малой гидроэлектростанции с точки зрения энергетической эффективности является важной частью диссертационного исследования. В последние годы, с развитием материалов на основе постоянных магнитов и совершенствованием технологий синхронных генераторов с постоянными магнитами, их применение в

электромеханике значительно расширилось. Эти генераторы, обеспечивающие постоянное или переменное напряжение с заданной частотой, получили широкое распространение в современных электротехнических системах.

Синхронные генераторы с постоянными магнитами также активно применяются в ветряных и гидроэлектростанциях в качестве источников напряжения. Эта передовая технология, особенно в контексте малых и средних ГЭС, обладает очевидными преимуществами такими как высокая надёжность, энергоэффективность и простота обслуживания, что делает её особенно привлекательной для широкого внедрения.

На основе предварительных расчётов, выполненных с использованием системы автоматизированного проектирования (САПР), для генераторов с постоянными магнитами были определены ключевые геометрические параметры: внешний диаметр якоря составляет 123 мм, внутренний диаметр паза якоря также равен 123 мм, внешний диаметр индуктора 123 мм, а длина активной части сердечника якоря достигает 300 мм.

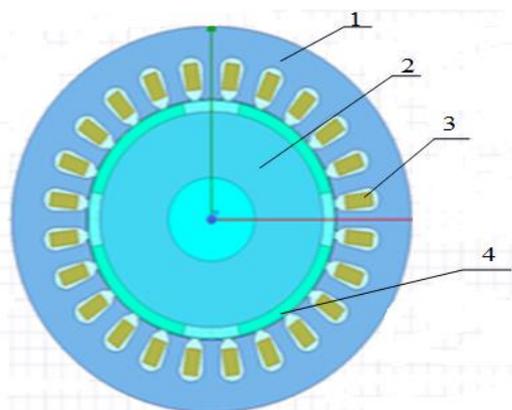


Рисунок 12 – Конструкция синхронного генератора с основными полюсами и постоянным магнитом

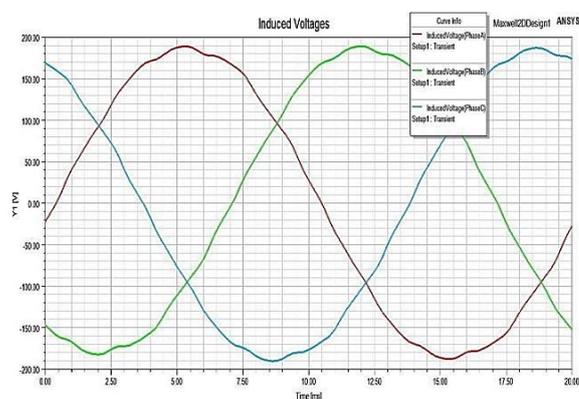


Рисунок 13 – Кривая электродвижущей силы (ЭДС) трёхфазного генератора

На рисунках 12 и 13 изображена конструкция генератора, спроектированного для определённого количества модулей. Этот генератор смоделирован на основе метода расчёта гармонических составляющих.

Якорь генератора (СГ-1) выполнен из электротехнической стали марки St3210 с высокой магнитной проницаемостью, уложенной в виде встречных листов. Количество коммутаторов якоря генератора 2 штуки, а число зубцов якоря $Z_{\text{я}}$ равно 24.

Индуктор (3) также изготовлен из конструкционной стали марки St3210. Постоянные магниты (4) прямоугольной формы установлены внутри индуктора. Число магнитных полюсов индуктора составляет $2p = 4$.

В данном модуле используются высокоэффективные постоянные магниты типа NdFeB (неодим-железо-бор), обладающие следующими характеристиками:

- Остаточная индукция: $B_r = 1,23$ Тл;
- Коэрцитивная сила: $H_{св} \geq 860$ кА/м, а в условиях намагниченного состояния $H_{сн} \geq 960$ кА/м;
- Максимальная энергия магнитного материала: $(BH)_{max} = 287\text{--}310$ кДж/м³.

Выбор турбины был осуществлён в пользу центробежных гидравлических машин. Как правило, такие устройства обладают реверсивным режимом работы, что позволяет им функционировать как в роли двигателя, так и насоса, в зависимости от направления вращения. При этом происходит не только изменение направления вращения, но и соответствующая перестройка рабочих характеристик включая давление, крутящий момент и другие важные параметры эксплуатации.

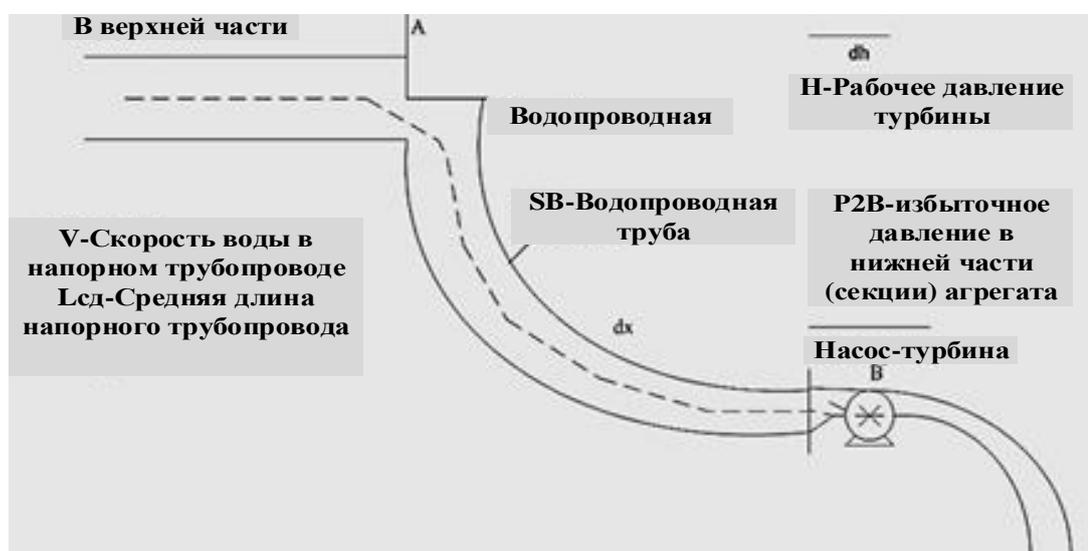


Рисунок 14 – Схема условного плана малой гидроэлектростанции «Октябрь» с напорным водоводом

Переходя к соответствующему выражению и используя формулу Остроградского–Гаусса, осуществим переход от поверхностного интеграла к объёмному интегралу. С учётом того, что

$$Dm = \rho \cdot dA,$$

в котором здесь ρ – плотность жидкости в заданной точке, а dV – малый элемент объёма, получаем окончательное выражение для расчёта.

$$f_{Ap} \frac{dv}{dt} dA = f_{Ap} g dA - f_A dp dA \quad (4)$$

Мощность потока турбины малой гидроэлектростанции (P_m), то есть механическая работа воды, совершаемая за единицу времени при прохождении через турбину с определённой высоты (H), соответствующей рабочему напору, обычно выражается в килограмм-метрах в секунду (кг·м/с). Эта мощность зависит от объёма поступающей в турбину воды, давления (напора) и эффективности преобразования механической энергии.

$$P_T = H \cdot Q \cdot \rho \quad (5)$$

Умножим левую и правую части выражения (5) на g :

$$P_T \cdot g = g \cdot H \cdot Q \cdot \rho \quad (6)$$

С использованием выражения (6) можно определить произведение $g \cdot H$, которое соответствует произведению ускорения свободного падения и высоты напора воды, для режима установившейся (стационарной) работы турбины. Это значение применяется для оценки потенциальной мощности водного потока и её использования в устойчивом восстановительном режиме.

$$g \cdot H = \frac{L}{H} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot v_{\text{вых}}^2 - \frac{1}{2} \cdot v_{\text{д}}^2 \right) \quad (7)$$

Разработанная модель позволяет рассчитывать скорость вращения турбины и её мощность в зависимости от расхода воды. Такие расчёты выполняются с использованием гидрологических данных реки, технических характеристик напорного водовода и основных размеров напорной части насоса. Модель способствует повышению надёжной и эффективной работы малой гидроэлектростанции.

В четвёртой главе «Особенности проектирования и строительства малых гидроэлектростанций в Республике Таджикистан» проводится анализ и научное обоснование.

В конце 1950-х годов на территории Республики Таджикистан функционировало более 100 малых гидроэлектростанций, которые ежегодно вырабатывали до 40 миллионов кВт·ч электроэнергии.

В конце XX века в Республике Таджикистан была разработана и принята государственная «Программа развития малой энергетики», основное внимание в которой уделялось восстановлению ранее построенных и сооружению новых маломощных гидроэлектростанций. В рамках указанной программы предусматривалось строительство 27 новых МГЭС с установленной мощностью в диапазоне от 22 до 69 кВт каждая и совокупной средней годовой генерацией электроэнергии, достигающей до 350 млн кВт·ч.

В малых гидроэлектростанциях, в зависимости от напора и расхода воды, рассматривается использование различных типов гидрогенераторов. В условиях Республики Таджикистан большинство малых гидроэлектростанций построены по традиционной деривационной схеме.

Мощность гидроагрегата в общем виде рассчитывается по формуле, учитывающей основные параметры расход воды, высоту напора и коэффициент полезного действия оборудования.

$$P = 9.81 \times Q \times H \times \eta, \text{ кВт} \quad (8)$$

Скорость течения воды и расход воды связаны следующим соотношением.

$$Q = V \times F, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad (9)$$

где здесь Q = расход воды - $\text{м}^2/\text{с} \cdot \text{м}^3/\text{с}$.

H = напор воды с высоты, м.
 V = скорость напор воды, м²/с. м/с
 η - КПД гидроагрегата.

Давление и скорость волны связаны следующим образом:

$$H = \frac{v^2}{2 \times g}, \text{ м} \quad (10)$$

Гидроагрегат, изображённый на представленной схеме, укомплектован взаимосвязанным оборудованием, включённым в последовательную конструктивную цепь. Основными компонентами системы являются радиально-осевая турбина, синхронный генератор, автоматический регулятор, вихревое колесо и кольцевая система напорного водосброса. Передача крутящего момента от турбины к генератору осуществляется посредством эластичной муфты и вихревого колеса, что обеспечивает устойчивое, сбалансированное вращение без вибрационных нагрузок.

Канал «Болга–Босган», служащий основным источником подачи воды на малую гидроэлектростанцию «Октябрь» и её основной агрегат, из-за длительной эксплуатации и конструктивного износа обеспечивал выработку электрической мощности лишь до 22 кВт. Геометрические параметры водоканала включают ширину 7 метров и глубину, соответствующую диаметру трубопровода 1200 мм, при максимальном расходе воды до 18 м³/с.

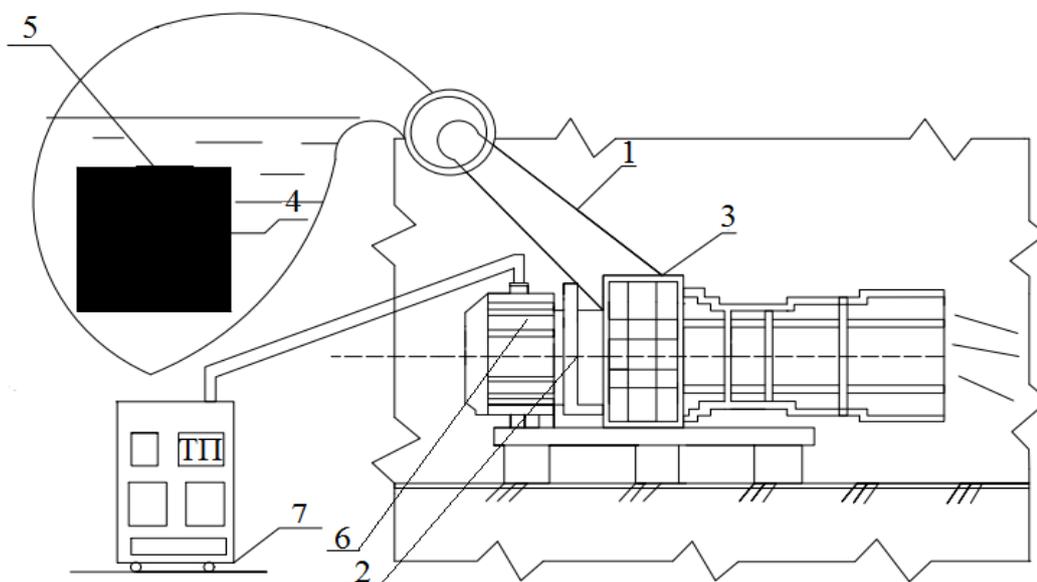


Рисунок 15 – Конструкция малой гидроэлектростанции «Октябрь»

Отличительной особенностью предлагаемого проекта является то, что напорный водовод выполнен в виде прямой конструкции, а агрегат комплект генератора и турбины установлен совместно по вертикальной оси и расположен на один метр ниже уровня предыдущего русла водотока. Такое решение способствует улучшению динамического давления и повышению гидротехнической и энергетической эффективности электростанции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных в рамках диссертации исследований представлены следующие научные выводы и практические результаты:

1. Одним из ключевых направлений повышения надёжности аварийных электрических устройств на энергетических объектах является строительство и реконструкция малых ГЭС, ориентированных на решение сложных научно-технических задач [1-А].

2. Качественные параметры электроэнергии обеспечиваются с помощью преобразователей, используемых в составе электростанции, которые создают условия для стабилизации выходной частоты и амплитуды напряжения [2-А].

3. Для оценки состояния и анализа работоспособности электротехнических устройств используется подход, основанный на сравнении измеренных параметров с расчётными, полученными с помощью математического моделирования с учётом гидравлических, механических, тепловых и электрических характеристик [1-А].

4. Результаты оценки работоспособности электрических устройств в режиме реального времени передаются в пункт управления, осуществляющий мониторинг работы электростанции, что особенно актуально для отдалённых районов Таджикистана [2-А].

5. Внедрение диагностических систем и их подключение к центральному пункту управления создаёт условия для дистанционного управления режимами работы малой гидроэлектростанции без необходимости постоянного присутствия обслуживающего персонала [4-А].

6. Развитие строительства малых гидроэлектростанций в Таджикистане осуществляется без значительных препятствий. В настоящее время установленная мощность таких станций составляет 25,5 МВт (или 25,5 млрд кВт·ч). Реконструкция малой ГЭС «Октябрь» позволит производить 595 680 кВт·ч в год ($\approx 595,7$ МВт·ч), чего достаточно для электроснабжения близлежащего жилого массива, передвижной механизированной строительной колонны №150 и гостиницы, а также для обеспечения резервного питания областной больницы имени Бурия Вохидова [11-А].

7. При строительстве гидроузла малой гидроэлектростанции необходимо тщательно изучить местные условия. Это способствует предотвращению последствий стихийных бедствий, характерных для территории Республики Таджикистан, таких как оползни, селевые потоки и лавины [5-А].

8. Для повышения надёжности и энергетической эффективности малой гидроэлектростанции рекомендуется применение генератора с постоянным магнитом, что позволяет повысить общую производительность станции [6-А].

9. Предложенный алгоритм для определения коэффициента ускорения турбины обеспечивает точное моделирование гидравлической части гидроагрегата, благодаря чему расчётные значения мощности совпадают с экспериментальными данными [2-А].

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Внедрение цифровых моделей и автоматизированных алгоритмов управления в проектирование малых гидроэлектростанций (МГЭС). Использование разработанных моделей в среде MATLAB/Simulink и других инженерных инструментах позволяет определять и реализовывать оптимальные режимы работы турбины и генератора в составе МГЭС, что способствует повышению общей эффективности и снижению энергетических потерь.

2. Применение синхронных генераторов с постоянными магнитами в конструкции МГЭС. Генераторы с постоянными магнитами обладают более высокой энергоэффективностью и устойчивой надёжностью по сравнению с традиционными системами. Данная технология особенно рекомендована для удалённых и горных районов, поскольку требует минимального обслуживания и обеспечивает стабильную работу станции.

3. Реализация проектов модернизации МГЭС на примере реконструкции станции «Октябрь». Проект реконструкции МГЭС «Октябрь», выполненный с использованием современных проектных методов и усовершенствованной гидротехнической схемы, может служить типовым примером для модернизации и развития существующих малых гидроэлектростанций в других регионах страны.

4. Интеграция научных исследований в образовательный процесс и подготовку специалистов. Полученные научные материалы (модели, алгоритмы, экспериментальные данные) рекомендованы к использованию в преподавании профильных дисциплин в вузах энергетического направления, в частности по тематикам автоматизированного управления и проектирования малых ГЭС.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Публикации в рецензируемых научных изданиях по перечню ВАК при президенте Республики Таджикистан:

[1-А] Холмирзоев Д.Н. Неругохи хурди оби «Октябр» дар Ҷумҳурии Тоҷикистон [Матн] / А.Я. Абдурахмонов, Д.Н. Холмирзоев // Паёми Потитехникӣ. Бахши: Тадқиқотҳои муҳандисӣ. № 4 (52) 2020. – С. 17-20.

[2-А] Холмирзоев Д.Н. Проектирование и строительство малых ГЭС (МГЭС) в Республике Таджикистан [Матн] / Д.Н. Холмирзоев // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. – 2022. – №. 2/3. – С. 61-64.

Публикации в научных изданиях, материалы региональных и международных конференций:

[3-А] Холмирзоев Д.Н. Проблема воды и особенности прогнозирования долгосрочных тенденций в центральной Азии / А.З. Раҳматуллоев, Х.Х. Назарзода, Д.Н. Холмирзоев // Маводҳои Конференсияи

Чумхуриявии илмӣ-амалӣ «Рушди иқтисодии энергетика дар Чумхурии Тоҷикистон» 22-24 майи соли 2016, Кушониён – 2016. – С. 45-48.

[4-А] Холмирзоев Д.Н. Ба қайдгирии тавсифномаҳои механики муҳарриқи ғайризамонсоз хангоми тағйирёбии басомад ва шиддати статор дар як фосилаи вақт / Д.Н. Холмирзоев, А.Р. Рашидов, Ҳ.Қ. Муҳаббатова // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Развитие стабильной энергетике в годы независимости» 22-23 декабря 2016 года, Кушониён – 2016. – С. 51-56.

[5-А] Холмирзоев Д.Н. Исследование динамических процессов в системе частотно-регулируемого электропривода насосного агрегата и магистрального турбопровода / Р.А. Кахоров, А.З. Раҳматуллоев, Ҳ.З. Мирзоев, Д.Н. Холмирзоев // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Развитие стабильной энергетике в годы независимости» 22-23 декабря 2016 года, Кушониён – 2016. – С. 148-154.

[6-А] Холмирзоев Д.Н. Потенциал малых ГЭС ресурсов Таджикистана / А.Я. Абдурахманов, Г.Т. Абдурахманов, Д.Н. Холмирзоев // Материалы международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие водно-энергетического консорциума средней Азии - главный путь достижения энергетической независимости Республики Таджикистан» 15-16 мая 2018 года, Кушониён – 2018. – С. 286-289.

[7-А] Холмирзоев Д.Н. Гидроэнергетикаи хурд дар Тоҷикистон / А.Я. Абдурахманов, Г.Т. Абдурахманов, А. Акрамов Д.Н. Холмирзоев // Материалы международной научно-практической конференции «Развитие гидроэнергетики - развитие Таджикистана» 20 декабря 2018 года, Кушониён – 2018. – С. 139-141.

[8-А] Холмирзоев Д.Н. Яке аз сабабҳои корношоам шудани ноқили алюминий дар соҳаи электротехника / А.Р. Рашидов, Н.Х. Одинаев, Б.Ф. Эмомов, Д.Н. Холмирзоев, Ф.Н. Қувватов // Endless Light in Science. – 2023. – № 2-2. – С. 277-281.

[9-А] Холмирзозода Д.Н. Вклад сажи на изменение плотность системы касторового масла и бензола при атмосферном давлении и комнатной температуре / А.Р. Раджабов, А.Р. Рашидов, Р.А. Кахоров, Д.Н. Холмирзозода // Материалы Международной научно-практической конференции: «Энергетика ключевое направление развития национальной экономики» 19 декабря 2024 года, Институт энергетике Таджикистана, р-н. Кушониён, 2024. – С. 57-63.

[10-А] Холмирзоев Д.Н. Таҳсири руҳ ба сохт ва хосиятҳои алюминий / А.Р. Рашидов, Н.Х. Одинаев, А.Р. Рачабов, Д.Н. Холмирзоев, Ф.Н. Қувватов // Международный научно-практический журнал. №2, 31 октября 2024 года. Туркестан, Казахстан. С. 22-24.

Авторские свидетельства и патенты

[11-А] Холмирзоев Д.Н. Неругоҳи хурди оби барқи бесарбанд [Матн] / Д.Н. Холмирзоев, А.Я. Абдурахмонов, Г.Т. Абдурахмонов, Қ.Ҳ. Пираков, Н.М. Раупов // Нахустпатент. Чумхурии Тоҷикистон, 2025, №ТҶ 1587 (аз 18/03/2025).

ШАРҲИ МУХТАСАРИ

диссертатсияи Холмирзозода Дустмухаммад Нуруло дар мавзӯи «Баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ неругоҳҳои барқии обии хурд (дар мисоли неругоҳи Октябр)» барои дарёфти дараҷаи илмӣ номзади илмҳои техникӣ аз рӯйи ихтисоси 05.14.00 - Энергетика (05.14.02 - Неругоҳҳои барқӣ ва системаҳои электроэнергетикӣ) пешниҳод шудааст.

Вожаҳои калидӣ: неругоҳи барқи обии хурд, самаранокии энергетикӣ, автоматикунони идоракунии генератор бо магнитҳои доимӣ, моделсозии математикӣ.

Мубрамияти мавзӯи диссертатсия. Мубрамияти мавзӯи таҳқиқот дар он зоҳир мегардад, ки дар шароити норасоии доимии неруи барқ ва афзоиши талаботи энергетикӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон, истифодаи самараноки захираҳои барқароршавандаи гидроэнергетикӣ, бахусус неругоҳҳои барқи обии хурд, аҳамияти ҳаётан муҳим пайдо мекунад. Бо дарназардошти мушкилоти техникӣ мавҷуда, сатҳи пасти автоматикунонидашавӣ ва эътимоднокии шабакаҳои маҳаллӣ, таҳқиқ ва тақмили параметрҳои технологӣ, баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ аҳамияти баланди илмӣ ва амалӣ дорад.

Мақсади таҳқиқоти илмӣ таҳия ва коркарди усулҳои баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ ва автоматикунони кори неругоҳҳои барқи обии хурд мебошад, ки ба воситаи таҳлили речаи кори таҷҳизоти гидромеханикӣ, интихоби оптималии генератору турбина ва татбиқи моделсозии математикӣ барои шароити воқеии маҳаллӣ амалӣ мегардад.

Навгони илмӣ таҳқиқот чунин аст: навгониҳои илмӣ таҳқиқот дар он зоҳир мегарданд, ки сохтори техникӣ нави неругоҳи барқи обии хурд бо истифода аз таҷҳизоти автоматоникардасуда пешниҳод гардида, кори устувор ва самараноки он бидуни ҳузури ҳайати хизматрасон таъмин карда мешавад. Дар заминаи таҳлили амиқи раванди гидротехникӣ ва электромеханикӣ моделҳои математикӣ ва рақамии генератор таҳия шудаанд, ки имконияти баланд бардоштани дақиқии баҳодихӣ ва оптимизатсияи фаъолияти неругоҳро фароҳам меоранд. Алгоритмҳои идоракунии нави автоматикунонидашуда барои таъмини кори устувор дар шароити обтаъминкунии тағйирёбанда таҳия гардида, дар амал дар лоиҳаи таҷдиди НБОХ “Октябр” татбиқ шудаанд. Ин таҷриба намунаи амалӣ ва асосноки инноватсионӣ буда, метавонад дар рушди неругоҳҳои хурд дар минтақаҳои дурдаст ва дастнорас васеъ истифода гардад.

Аҳамияти амалӣ. Аҳамияти амалии таҳқиқот дар он ифода меёбад, ки натиҷаҳои бадастомада барои баланд бардоштани самаранокии кори неругоҳҳои барқи обии хурд, таҷдид ва муосиргардонии таҷҳизоти онҳо, инчунин истифода дар таълим ва тарбияи мутахассисон дар соҳаи энергетика имкониятҳои воқеӣ фароҳам меоранд.

Ҳаҷм ва сохтори диссертатсия. Рисола илмӣ аз муқаддима, чаҳор боб, ҳулосаҳои асосӣ, рӯйхати адабиёт (135 номгӯ) ва 3 замима иборат мебошад. Миқдори саҳифаҳои рисола 144 саҳифаи матни мошинавириро дар бар гирифта, 31 расм ва 9 ҷадвалро фаро гирифтааст.

АННОТАЦИЯ

к диссертации Холмирзозода Дустмухамад Нуруло на тему «Повышение энергетической эффективности малых ГЭС (на примере станции Октябрь)», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.00 - Энергетика (05.14.02 - Электрические станции и электроэнергетические системы)

Ключевые слова: малая гидроэлектростанция, энергоэффективность, автоматизация управления, генератор на постоянных магнитах, математическое моделирование.

Актуальность темы исследования. Актуальность темы исследования заключается в том, что в условиях постоянного дефицита электроэнергии и растущего энергетического спроса в Республике Таджикистан эффективное использование возобновляемых гидроэнергетических ресурсов, особенно малых гидроэлектростанций, приобретает жизненно важное значение. С учётом существующих технических проблем, низкого уровня автоматизации и надёжности локальных сетей, исследование и совершенствование технологических параметров, а также повышение энергетической эффективности представляют собой задачу высокой научной и практической значимости.

Целью научного исследования является разработка и совершенствование методов повышения энергетической эффективности и автоматизации работы малых гидроэлектростанций. Достижение данной цели осуществляется за счёт анализа режимов работы гидромеханического оборудования, оптимального выбора генератора и турбины, а также применения математического моделирования с учётом конкретных локальных условий.

Научная новизна исследования заключается в разработке новой технической структуры малой ГЭС с автоматизированным оборудованием, обеспечивающим её стабильную работу без постоянного присутствия персонала. Разработаны математические и численные модели генератора, повышающие точность оценок и эффективность эксплуатации. Созданы алгоритмы автоматизированного управления для устойчивой работы станции при переменном водоснабжении. Решения внедрены в рамках реконструкции МГЭС «Октябрь» и могут применяться при развитии малых ГЭС в труднодоступных районах.

Практическая значимость исследования заключается в том, что полученные результаты создают реальные возможности для повышения эффективности работы малых гидроэлектростанций, их модернизации и обновления оборудования, а также для использования в образовательном процессе и подготовке специалистов в области энергетики.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 135 источников и 3 приложений. Общий объём 144 страниц, включая 31 рисунок и 9 таблиц, что обеспечивает наглядность представленных результатов.

SUMMARY

to the dissertation by Kholmirezozoda Dustmukhammad Nurulo on the topic "Improving the Energy Efficiency of Small Hydropower Plants (on the Example of the Oktabr Station)", submitted for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.14.00 – Energy (05.14.02 – Electric Power Plants and Power Systems)

Keywords: small hydropower plant, energy efficiency, control automation, permanent magnet generator, mathematical modeling.

Relevance of the topic of the dissertation. The relevance of the research topic lies in the fact that, amid the persistent electricity shortage and growing energy demand in the Republic of Tajikistan, the efficient utilization of renewable hydroelectric resources, especially small hydropower plants, acquires vital importance. Considering existing technical challenges, low levels of automation, and the reliability of local networks, the study and improvement of technological parameters, as well as the enhancement of energy efficiency, represent tasks of significant scientific and practical value.

The purpose of the dissertation: The aim of this scientific research is the development and improvement of methods to increase the energy efficiency and automation of small hydropower plants. This goal is achieved through the analysis of operating modes of hydromechanical equipment, optimal selection of the generator and turbine, as well as the application of mathematical modeling considering specific local conditions.

The scientific novelty of the research lies in the development of a new technical design for a small hydropower plant equipped with automated systems that ensure stable operation without the constant presence of personnel. Mathematical and numerical models of the generator were developed to improve the accuracy of assessments and operational efficiency. Automated control algorithms were created to maintain stable plant performance under variable water supply conditions. These solutions were implemented during the reconstruction of the Oktabr small hydropower plant and can be applied to the development of small hydropower plants in remote and hard-to-reach areas.

The practical significance of this research lies in its provision of concrete opportunities to enhance the operational efficiency of small hydropower plants through modernization and equipment upgrading. The results support not only the technical improvement and reliable functioning of existing facilities but also contribute to the advancement of design and management practices in the sector. Furthermore, the findings offer valuable resources for integration into educational programs, thereby aiding in the comprehensive training and professional development of specialists in the energy industry. This holistic approach promotes sustainable growth and innovation within the field of small-scale hydropower.

Structure and scope of work. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references from 135 sources and 3 appendices. The total volume is 144 pages, including 31 figures and 9 tables, which ensures the clarity of the presented results.

Ба чоп 05.08.2025 имзо шуд. Андоза 60x84 1/16.
Қоғазӣ офсетӣ. Адади нашр 100 нусха.
Дар маркази инноватсия ва парки технологияи ДЭТ чоп шудааст.
Ҷумҳурии Тоҷикистон, вилояти Хатлон, ноҳияи Кӯшонӣ, шаҳраки
Бохтариён, кӯчаи Н. Хусрав, 73.

Подписано к печати 05.08.2025 Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Тираж 100 экз.
Отпечатано в инновационном центре и технологическом парке ИЭТ.
Республика Таджикистан, Хатлонская область, р. Кушониён, Дж.п.г.т.
Бохтариён, улица Н. Хусрава, 73.