

**АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОЧИКИСТОН**  
**Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экология**

**ВАЗОРАТИ ЭНЕРГЕТИКА ВА ЗАХИРАҲОИ ОБИ**  
**ҶУМҲУРИИ ТОЧИКИСТОН**  
**Донишкадаи энергетикӣи Тоҷикистон**

ТДУ 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 илмӣи номзади илмҳои  
техникӣ аз рӯи ихтисоси 05.14.02 - Неругоҳҳои баҶҲОИ ОБИИ  
системаҳои электроэнергетикӣ

Кӯшонӣ – 2025

Рисола дар лабораторияи энергетика, захира ва энергосарфанамоии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ва дар кафедраи автоматони ҳаракатоварҳои барқии Донишкадаи энергетикӣ 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

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

**Муассисаи пешбар:** Донишкадаи кӯҳию металлургии Тоҷикистон, ш. Бустон

**Ҳимояи диссертатсия санаи «12» сентябри соли 2025,** соати 14:00 дар чаласаи шурои диссертатсионӣ 6D.КOA-083 оид ба ҳимояи рисолаҳои номзадӣ дар заминаи Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон бо суроғай: 735162, Ҷумҳурии Тоҷикистон, вилояти Хатлон, ноҳияи Кӯшонӣён, шаҳраки Бохтариён, кӯчаи Н. Хусрав, 73 баргузор мегардад.

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

Автореферат санаи «\_\_\_» августи соли 2025 ирсол шудааст.

Котиби илмӣ  
Шурои диссертатсионӣ,  
номзади илмҳои техникӣ, дотсент



Махсумов И.Б.

## МУҚАДДИМА

**Мубрамияти мавзӯи таҳқиқот.** Мубрамияти мавзӯи таҳқиқот дар заминаи вазъи кунунии низоми энергетикаи Ҷумҳурии Тоҷикистон ба таври возеҳ эҳсос мешавад. Дар солҳои охир, норасоии доими неруи барқ яке аз масъалаҳои ҳалталаби иқтисодиву иҷтимоии кишвар боқӣ мемонад, агарчи дар соли 2024 ҳаҷми истеҳсоли солонан неруи барқ 21 млрд кВт·соатро ташкил дода, талаботи умумӣ ба неруи барқ аз 17,4 млрд кВт·соат бештар буд. Мувофиқи маълумоти расмии ШСХК “Барқи тоҷик”, камбудии умумии энергетикӣ дар соли мазкур ба 152891 кВт·соат расид. Ин нишон медиҳад, ки истифодабарии захираҳои мавҷуда кофӣ нест ва роҳҳои нав барои бартарафсозии норасоӣ бояд таҳия гарданд.

Бо дарназардошти иқтидори бузурги захираҳои гидроэнергетикӣ, яке аз самтҳои муҳим ва стратегӣ рушди неругоҳҳои барқи обии хурд (НБОХ) мебошад. Аммо таҷриба нишон медиҳад, ки аксарияти ин неругоҳҳо бо мушкилоти техникӣ, сатҳи пастии автоматизатсия ва эътиמודнокии паст рӯ ба рӯянд. Аз ин ҷост, ки таҳқиқ ва баланд бардоштани самаранокии энергетикаи НБОХ, тарҳи генераторҳо ва системаҳои идоракунии автоматикунонидашуда на танҳо аҳамияти илмӣ, балки амалию иқтисодӣ низ дорад.

Ҳамаи ин, дар маҷмӯъ, ба ҳадафи асосии стратегияи Ҷумҳурии Тоҷикистон расидан ба истиқлолияти энергетикӣ мусоидат мекунад. Аз ин рӯ, мавзӯи ин таҳқиқот дар шароити имрӯза аҳамияти махсус ва мубрамияти баланди илмӣ-амалӣ дорад.

**Дарачаи коркарди илмии проблемаи мавриди омӯзиш:** Мубрамияти мавзӯи кори диссертатсионӣ таваҷҷуҳи зиёд ва ҷалби васеи қувваҳои илмӣ-тадқиқотиро ба бор овардааст. 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.

Аз ҷумла, олимони Донишкадаи энергетикаи Тоҷикистон Аминов Д.С., Давлатов А.М. ва Гулов Д.Ю. дар самти таҳия ва лоиҳакашии генераторҳои асинхронӣ ва синхронӣ барои неругоҳҳои барқи обии хурд, инчунин дар рушди мошинҳои вентилю бо ангиизиҳои электромагнитӣ саҳми назаррас гузоштаанд.

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 илмии анҷомёфта дар Донишгоҳи давлатии Урали Ҷанубӣ низ дар самти коркард ва татбиқи манбаъҳои алтернативии энергия қобили таваҷҷуҳ мебошанд. Хусусан корҳои илмии муҳаққиқон Ганджа С.А., Воронин С.Г., Усынин Ю.С. ва Григорьев М.А., ки дар пойгоҳҳои

байналмилалии Scopus ва Web of Science ҷой дода шудаанд, аҳамияти илмӣ баланд доранд.

Дар доираи таҳқиқот шаклҳои гуногуни нақшавии неругоҳҳои барқи обии хурд, намудҳои мухталифи генераторҳо ва низомҳои идоракунии онҳо мавриди омӯзиши амиқ қарор гирифтаанд. Аз ҷумла, генераторҳои вентилӣ-индукторӣ, генераторҳои бо ангеизиши магнитҳои доимӣ ва генераторҳои синхронии асинхроникардасуда таҳлил шудаанд. Усулҳои муосири таҳлили низомҳои электромеханикии мураккаб дар асоси барномаҳои муҳандисии навтарин ва технологияҳои рақамӣ натиҷаҳои самаранок ба бор овардаанд, ки ба рушди минбаъдаи соҳа заминаи устувор мегузоранд.

Сарфи назар аз он ки натиҷаҳои зиёде аз ҷониби олимони дохиливу хориҷӣ ҷиҳати баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ неругоҳҳои барқи обии хурд ба даст оварда шудаанд, дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон бо вучуди таваччуҳи афзояндаи Ҳукумати кишвар ба рушди гидроэнергетикаи хурд, ханӯз ҳам мушкилоти ҷиддии илмию техникӣ боқӣ мемонанд. Ин мушкилот, пеш аз ҳама, ба гуногуншаклии шароитҳои иқлимӣ ва гидрологӣ, инчунин зарурати таъмини самаранокии баланд ва таъминоти устувори барқ дар минтақаҳои дурдаст алоқаманд мебошанд.

#### **Алоқамандии таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо) ва мавзӯҳои илмӣ.**

Мавзӯи рисолаи илмӣ бо барномаҳои давлатии «Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон то соли 2030», «Таъмини амнияти энергетикӣ ва истифодаи самаранокии нерӯи барқ» ва «Консепсияи иқтисоди рақамӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон» алоқаманд мебошад.

### **ТАВСИФИ УМУМИИ ТАДҚИҚОТ**

**Мақсади таҳқиқот** дар таҳияи усулҳои илмӣ асоснокшудаи автоматикунории кори неругоҳҳои 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 барои ноил шудан ба мақсади кор:**

1. Таҳлили сохтор ва принципи фаъолияти неругоҳи барқи обии хурди «Октябр» ва низоми обгузари «Болға Басған» бо назардошти хусусиятҳои техникӣ ва речаҳои кори онҳо.

2. Асосноксозии сохтори функционалии неругоҳи барқи обии хурд, ки дорони маҷмӯи элементҳои баландэътимод барои таъмини фаъолияти устувори системаҳои хизматрасон мебошад.

3. Интиҳоб ва асосноксозии модели генератор бо дараҷаи баланди эътимоднокӣ, мутобиқ ба шароити кори мушаххас.

4. Таҳияи алгоритмҳои ба низом даровардани раванди таҳия ва татбиқи лоиҳаҳои неругоҳҳои барқи обии хурд.

5. Интиҳоби шакли оптималии насоси марказгурез барои истифода дар таркиби турбинаҳои обӣ.

6. Асосноккунии техникую иқтисодии таҷдид ва муосиргардонию механизмҳои асосии неругоҳи барқи обии хурд бо мақсади баланд бардоштани самаранокӣ ва эътимоднокии онҳо.

**Объекти таҳқиқотӣ:** Неругоҳҳои барқи обии хурди Октябр дар вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон.

**Предмети таҳқиқот:** Дар кори диссертатсионӣ хусусиятҳои техникую технологӣ ва самаранокии кори 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 тадқиқот:** 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 кори неругоҳ моделҳои математикӣ таҳия ва татбиқ гардиданд, ки хусусиятҳои динамикӣ ва статикӣ системаҳои электромеханикиро инъикос менамоянд. Натиҷаҳои асосии назариявӣ дар шакли моделҳои математикӣ пешниҳод шуда, онҳо бо истифода аз воситаҳои барномасозии муосир (аз қабилӣ MATLAB/Simulink, ANSYS) амалигардонӣ ва таҳлил шудаанд.

#### **Навовариҳои илмӣ таҳқиқот:**

Дар натиҷаи таҳқиқоти анҷомдода, натиҷаҳои зерин ҳамчун навлониҳои илмӣ пешниҳод мегарданд:

1. Пешниҳоди сохтори нав ва самаранокӣ неругоҳи барқи обии хурди «Октябр» бо истифода аз қисмҳои автономӣ ва системаҳои автоматоникардасуда, ки дар шароити канали обгузари «Болға Басған» татбиқпазир мебошанд.

2. Таҳия ва пешниҳоди модели рақамии генератор, ки имкони беҳтар намудани самаранокӣ ва устувории кори неругоҳи барқи обии хурдро фароҳам меорад.

3. Коркарди модели математикӣ барои таҳлили речаи кори неругоҳ ва муайянсозии роҳҳои афзоиши иқтидори энергетикӣ ва самаранокии умумии неругоҳи барқи обии хурд.

4. Татбиқи таҷрибавии лоиҳаи неругоҳи барқи обии хурд бо дарназардошти моделсозии техникӣ, параметрҳои воқеии шароити гидрологӣ ва натиҷаҳои таҳлили моделҳо.

#### **Аҳамияти амалӣ ва назариявии кор:**

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

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

3. Дар асоси таҳлили техникӣ муфассал ва моделсозии системаи обтаъминкунӣ, тарҳи нав ва оптимизатсияшудаи ҷойгиркунии турбина

хамчунин лоиҳаи такмилёфтаи речаи кори нерӯгоҳ пешниҳод гардидаанд, ки имконият медиҳанд иқтидори истеҳсолии нерӯгоҳи баркиро дар шароити воқеии гидроэнергетикии маҳаллӣ ба таври назаррас афзоиш диҳанд.

**Дурустӣ ва асоснокии натиҷаҳои илмии татқиқот:** Дараҷаи эътимоднокии натиҷаҳои таҳқиқот тавассути истифодаи моделҳои математикӣ, ки ба таври дақиқ хусусиятҳои динамикии кори нерӯгоҳи барки обии хурди «Октябр»-ро инъикос мекунанд, таъмин карда шудааст. Моделҳо бо дарназардошти параметрҳои воқеии обтаъминкунӣ, хоси турбина ва генератор тарҳрезӣ шудаанд ва бо воситаҳои муосири ҳисоббарории муҳандисӣ (MATLAB/Simulink ва ғайра) таҳлил гардидаанд. Натиҷаҳои бадастомада бо маълумоти таҷрибавӣ ва мушоҳидаҳои амалӣ мутобиқатдоранд, ки ин дараҷаи баланди самаранокии энергетикиро нишон медиҳад ва барои баҳодихии дурусти иқтидори баркии система асоси мустаҳкам фароҳам меорад.

#### **Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ:**

Таҳқиқотҳои гузаронидашуда ба бандҳои зерини шиносномаи ихтисоси илмӣ 05.14.02. “Нерӯгоҳҳои баркӣ ва системаҳои электроэнергетикӣ” мувофиқат менамоянд:

**банди 1.** Муносибсозии сохтор, параметрҳо, нақшаи пайваستкунӣҳои электрикӣ ва таҳияи усулҳои таҳлил оиди параметрҳои речагии таҷҳизоти асосии нерӯгоҳҳои баркӣ;

**банди 3.** Таҳиясозии усулҳои ҳисоб, пешбиниҳо, оптимизатсия ва мутобиқсозии сатҳҳои ҷараёнҳои расиши кӯтоҳ дар нерӯгоҳҳои баркӣ ва шабакаҳои баркии системаҳои энергетикӣ;

**банди 4.** Таҳиясозӣ, таҳқиқот 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 эътимоднокӣ ва дарозмуддат кардани муҳлати хизмати элементҳои системаҳои энергетикӣ, мучтамаъҳо ва дастгоҳҳои баркии ба онҳо шомилшаванда.

#### **Муқаррарот ва ҳолатҳои асосие, ки ба ҳимоя пешниҳод мегарданд:**

1. Сохтори нави техникии НБОХ пешниҳоди тарҳи нерӯгоҳи барки обии хурди “Октябр” бо истифодаи таҷҳизоти автоматоникардашуда ва бе ниёз ба ҳайати хизматрасон, ки сатҳи баланди эътимоднокӣ ва самаранокии энергетикӣ фароҳам меорад.

2. Модели математикӣ ва симулятсионии таҳияи моделҳои муосири математикӣ барои ҳисоб ва таҳлили иқтидор, фишори об ва кори генератору турбина бо истифода аз муҳити MATLAB/SIMULINK.

3. Коркарди алгоритмҳои самаранокии идоракунии кори нерӯгоҳ, ки шароити речаи устувори энергетикиро дар шароити автономӣ таъмин мекунанд.

4. Интиҳоби таҷҳизоти оптималӣ, асосноккунии интиҳоби турбинаҳои марказгурез ва генераторҳои синхронӣ бо магнитҳои доимӣ барои бехтар намудани иқтидори истеҳсолӣ ва кам кардани хароҷоти нигоҳдорӣ.

5. Натиҷаҳои амалии татбиқи лоиҳаи таҷдид ва баланд бардоштани иқтидори НБОХ “Октябр” бо роҳи таҷдиди кубурҳои обгузар, ҷойгиркунии нав ва тақмили системаи идоракунии, ки ба зиёдшавии нуруи электрии истеҳсолшаванда оварда мерасонад.

6. Пешниҳоди як шакли инноватсионии НБОХ бо хусусиятҳои автоматӣ, ки метавонад ҳамчун асос барои рушди дигар нуругоҳҳои хурд дар минтақаҳои дурдасти ҷумҳурии хизмат кунад.

**Татбиқи натиҷаҳои кори диссертатсионӣ.** Татбиқи натиҷаҳои кори диссертатсионӣ ба самтҳои илмӣ ва амалӣ равона гардида, муҳим арзёбӣ мешавад. Як қатор натиҷаҳои назариявӣ ва амалии таҳқиқот дар раванди таълим ва таҷрибаомӯзии донишҷӯён дар Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон ба таври амалӣ истифода шудаанд. Аз ҷумла, моделҳои математикӣ ва алгоритмҳои идоракунии автоматоникардасуда, ки дар муҳити MATLAB/SIMULINK таҳия шудаанд, ҳамчун мазмуъи таълимӣ дар фанҳои “Системаи идоракунии нуругоҳҳои барқӣ” ва “Лоиҳакашии нуругоҳҳои барқи обии хурд” ворид гардидаанд.

Инчунин, лоиҳаи таҷдиди техникаи нуругоҳи “Октябр”, ки дар диссертатсия асоснок шудааст, барои корҳои курсӣ ва дипломӣ ҳамчун намунаи татбиқи воқеии лоиҳаи муҳандисӣ истифода мешавад. Натиҷаҳои илмӣ бадастомада инчунин, дар омода кардани лексияҳо ва семинарҳо доир ба самаранокии энергетикӣ ва истифодаи манбаъҳои барқароршаванда дар муҳити таълимии Донишкада татбиқ шудаанд, ки ба баланд бардоштани сифати таълим ва омодагии мутахассисони соҳа мусоидат мекунад.

**Саҳми шахсии муаллиф** аз гузоштани мақсад ва вазифаҳои умумии таҳқиқот, таҳияи сохтори техникаи нуругоҳи барқи обии хурд, гузаронидани таҳқиқоти таҷрибавӣ оид ба муайян кардани нишондиҳандаҳои асосии фаъолияти нуругоҳи “Октябр”, инчунин иштирок дар моделсозии математикӣ ва таҳлили натиҷаҳои амалӣ иборат аст. Муаллиф дар таҳияи алгоритмҳои идоракунии, интихоби таҷҳизоти оптималӣ, таҳлили иқтисодиву техникӣ ва пешниҳодҳои амалии таҷдид саҳми бевосита гузоштааст. Ӯ инчунин, дар таҳияи хулосаҳои асосии илмӣ, омода кардани мавод барои нашр ва пешниҳоди онҳо дар конфронсҳои илмӣ-назариявӣ ва амалӣ фаъолона иштирок намудааст.

**Санҷиш ва татбиқи натиҷаҳои илмӣ таҳқиқот:**

Маводҳои диссертатсия дар чандин чорабиниҳои илмӣ ва конференсияҳо

муҳокима шудаанд, аз ҷумла: маводҳои конфронси 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 солҳои истиқлолият» 22-23 декабри соли 2016 бахшида ба таҷлили Рӯзи энергетик ва 10-солагии Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон, конфронси 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. Кӯшониён), конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ: «Энергетика соҳаи калидии рушди иқтисодиёти миллӣ» (19 декабри соли 2024, н. Кӯшониён).

**Интишорот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия.** Бо таърифи ба натиҷаҳои таҳқиқоти илмӣ анҷомёфта, маҷмӯи 11 маводи ҷомии илмӣ омода ва ба таърифи расонида шудаанд. Аз шумораи умумӣ, 2 мақола дар маҷаллаҳои илмӣ тақрифташуда, 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 таърифи 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 замимаҳои иборат мебошад. Миқдори саҳифаҳои рисола 139 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 нерӯҳои барқии обии хурд мебошад.

**Дар боби якум «Таҳлили захираҳои гидроэнергетикӣ ва нақшаҳои анъанавии нерӯҳои барқии обии 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 нерӯи 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, иқтисодии 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, Қофарниҳон 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 км<sup>2</sup>-ро ташкил

дода, дар байни арзҳои шимолӣ 39°23' то 46°00' ва тулҳои шарқӣ 61°00' то 68°24' воқеъ аст. Чараёни умумии он аз ҷануб ба шимол 800 км ва аз шарқ ба ғарб 1600 км-ро ташкил медиҳад. Ҳаҷми миёнаи солони сарфи оби Сирдарё ба 14 км<sup>3</sup> баробар аст. Манбаъҳои асосии ташаккули оби ин дарё дар қаторкӯҳҳои ғарбии Тянь-Шан, шоҳаҳои Олой ва доманакӯҳҳои шимолӣ қаторкӯҳҳои Туркистон ҷойгиранд.

Масоҳати ҳавзаи дарёи Вахш 39100 км<sup>2</sup>-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 пайвастшавии 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. Чараёни 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 нерӯи барқ дар як сол истеҳсол гардад.

Тибқи маълумоти оморӣ, дар солҳои охир истеҳсол ва истеъмоли нерӯи 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 баҳогузорӣ 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

<b>Номи дарёҳо</b>	<b>Масоҳати ҳавзаҳо</b>		<b>Захираҳои потенциали гидроэнергетикӣ</b>		<b>Сершавии қиёсӣ кВт/км<sup>2</sup></b>
	км <sup>2</sup>	%	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. Тақсимооти потенциали захираҳои оби Ҷумҳурии Тоҷикистон аз рӯи тавоноии обанборҳо дар ҷадвали 2 муфассал нишон дода шудааст.

Натоиҷи 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 гидроэнергетикии Тоҷикистон ба ҳисоби миёна 2100 ҳазор кВт·соат ба як км<sup>2</sup>-ро ташкил медиҳад.

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

<b>Тавоноии дарёҳо, ҳазор кВт</b>	<b>Миқдори дарёҳо</b>	<b>Ҳосили кВт тавоноии</b>	
		<b>Ҳазор кВт</b>	<b>%</b>
<b>Зиёда аз 500</b>	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
<b>Камтар аз 5</b>	190	439	1,94
<b>Ҳамагӣ</b>	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 тақсимооти захираҳои потенциалии энергетикӣ ва техникаи дарёҳои асосии Ҷумҳурии Тоҷикистон ва шохаҳои онҳо оварда шудааст. Дар баробари ин, дар ҷадвал 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 иқтидори 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 иқтидори калон ва миёнаи обанборҳо, Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳамзамон дорони шумораи зиёди дарёҳои бо тавоноии паст мебошад, ки иқтидори 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 оби хурд таъмин мегардад. Ин гуна неругоҳҳо одатан бо хусусиятҳои

техникии зерин фарқ мекунад: тавоноии умумӣ то 30 МВт, тавоноии агрегати ягона то 10 МВт ва диаметри чархи кории турбина то 3 метр мебошад.

Ҷадвали 3 – Тавоноии қиёсии 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 водӣ то 2,0 МВт ва дарёҳои кӯҳӣ то 1,7 МВт иқтидор доранд. Ин нишондиҳандаҳо ба шароити гидрологӣ ва рельефии кишвар мутобиқанд.

Суръати баланди ҷараён 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;
- Туркманистон – 0,2 млн кВт / 1,8 млрд кВт·соат.

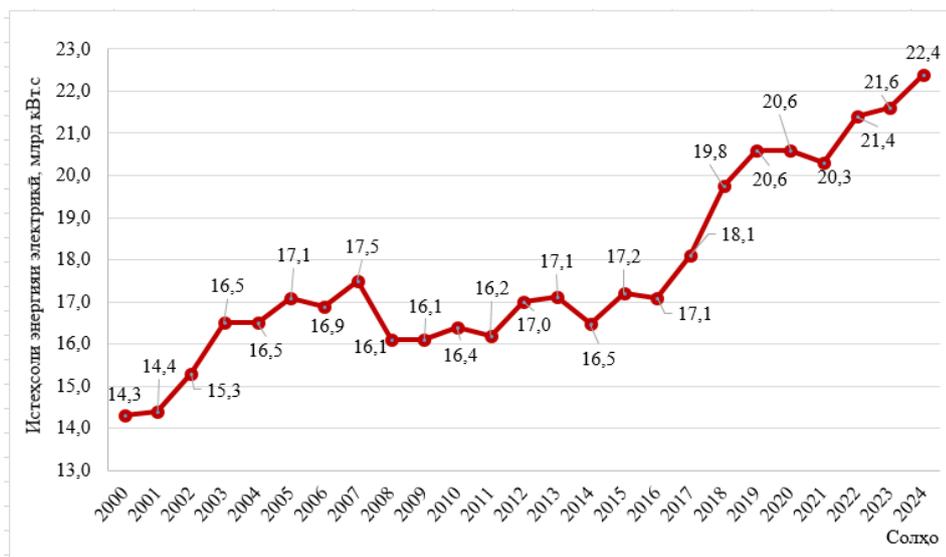
Дар расми 1 графикаи истеҳсоли энергияи электрикӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон дар давраи солҳои 2000 то 2024 оварда шудааст.

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, тағйиротҳои он

аз 14,3 то 17,5 млрд кВт·соат фарқ мекунад. 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 – Графики 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 феврали 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 энергетикӣ маҳаллӣ мусоидат мекунад.

Таърихи рушди гидроэнергетикаи хурд дар кишвар ба оғози асри ХХ рост меояд. Барои таъмини маркази ҷумҳурӣ бо нерӯи электрикӣ, соли 1927 сохтмони неругоҳҳои барқи обӣ дар дарёи Варзоб ба нақша гирифта шуда, 25 феврали 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.

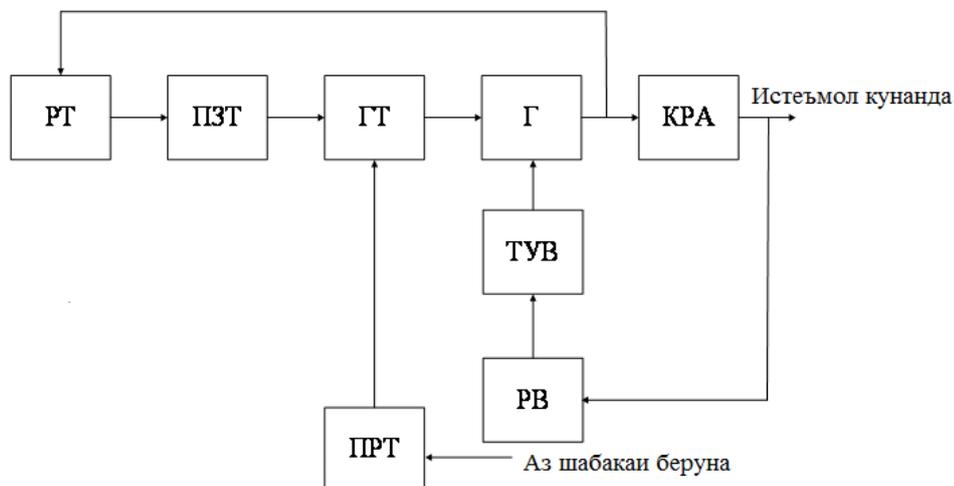
Ҷадвали 4 – Мавзӯҳои мушкилдастрас дар ноҳияҳои кӯҳии Ҷумҳурии Тоҷикистон

<b>Маҳаллаи аҳолинишин</b>	<b>Масофаи маҳаллаи аҳолинишин аз маркази ноҳия</b>	<b>Истифода баранда</b>	<b>Тавоноии неругоҳи электрикии обӣ</b>
Булункул	90	32	25
Пасир	125	27	20
Ҳиндукуш 1	105	23	20
Ҳиндукуш 2	116	33	32
Хавдж	130	18	20

### ***Таҳлили сохти неругоҳи барқи обии анъанавӣ***

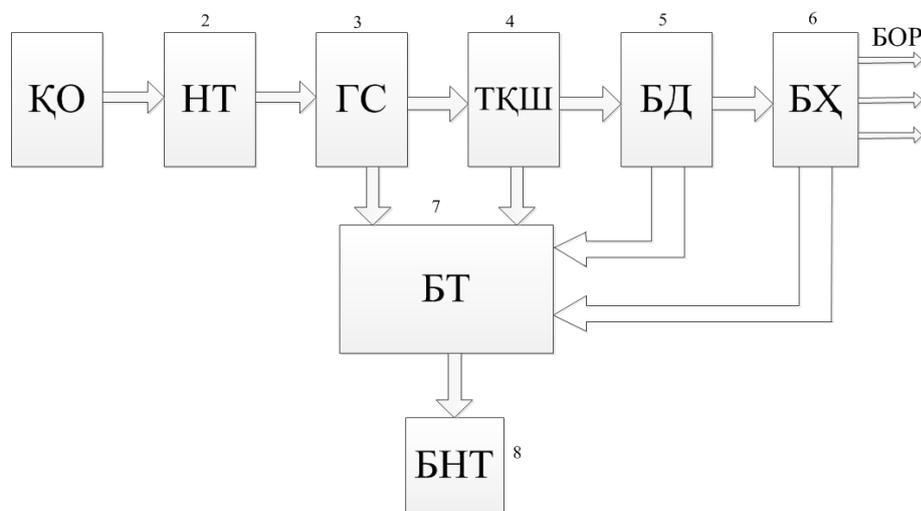
Неругоҳи барқи обии хурди «Панҷруд», воқеъ дар ноҳияи Панҷакент, сохти анъанавии неругоҳҳои барқи обии хурдро дорост (расми 3). Он аз сарбанд (II) ва қубурҳои оварандашуда (III) ташкил ёфта, инчунин ба

унсурҳои зерин иборат аст: гидротурбина (ГТ); генератор (Г); бастукушо-муҳофизати ва таҷҳизоти тақсимои (КРА); дастгоҳи ангиши тиристорӣ (ТУВ); ҳаракатоварандаи затвори турбина (ПЗТ); ҳаракатоварандаи суръати гирифтани турбина (ПРТ); танзимкунандаи турбина (РТ); танзимкунандаи ангиш (РЗ).



Расми 3 – Асоси сохтани неруғоҳи барқи обии хурди автономии ва автоматоникардасуда

Дар неруғоҳи барқи обии хурд одатан генераторҳои синхронӣ бо ангиши электромагнитӣ истифода мешаванд, ки ҷараёни ангиш тавассути тамосҳои ҳалқагӣ ба ротори генератор ворид мешавад. Ин тамосҳо эътимоднокиро кам карда, хизматрасонии мунтазамро талаб мекунанд. Барои беҳтар намудани эътимодноки, генератор метавонад ангиандаи мустақил бо магнитҳои доимӣ дошта бошад. Истифодаи тағйирдиҳандаи электронии шиддат бо ин системаи ангиш устувории амплитуда ва зудии мутобиқшавии шиддати баромадро таъмин менамояд, ки кори самаранок ва боэътиמודро фароҳам меорад.



Расми 4 – Нақшаи функционалии автоматикардасудаи неруғоҳи барқи обии хурд

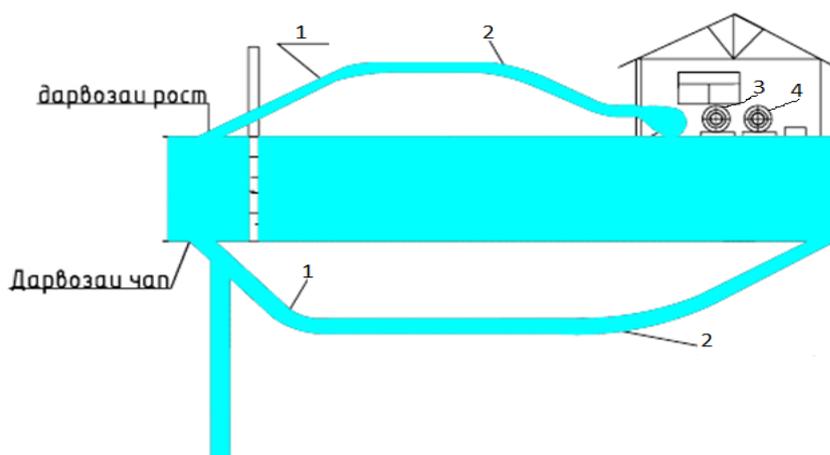
Таркиби асосии нуругоҳи барқи обии хурд ва таҷҳизоти он:

1. Кубури об (ҚО) – интиқоли об ба турбина.
2. Насоси марказгурез (МТ) – ба сифати гидротурбина насоси марказгурез силсилави истифода мешавад.
3. Генератори синхронии сефазаи (ГС) – муҳаррики синхронии сефаза бо ангиши аз магнитҳои доимии силсилави.
4. Тағйирдиҳандаи қуввагии шиддат (ТҚШ) – таҷҳизот, ки тағйирдиҳандаи ҷараёни тағйирёбандаро ба доимӣ, тағйирдиҳандаи ҷараёни доимиро ба тағйирёбанди амплитуда ва зудӣ ва симметрикуандаи шиддати сефазаро дар бар мегирад.
5. Блоки датчикҳои параметрҳои баромади нуругоҳ (БД) – бақайдгирии ҷорӣ, шиддат, тавоноӣ ва энергия.
6. Блоки бастукушо-муҳофизатӣ (БХ) – стандарти бастукушо-муҳофизатӣ барои муҳофизати дастгоҳҳо.
7. Блоки назорати ташхисӣ (БТ) – ташхис ва баҳодиҳии ҳолати элементҳо ва кори нуругоҳ.
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 ҳаёти коргарон таъмин мегардад.



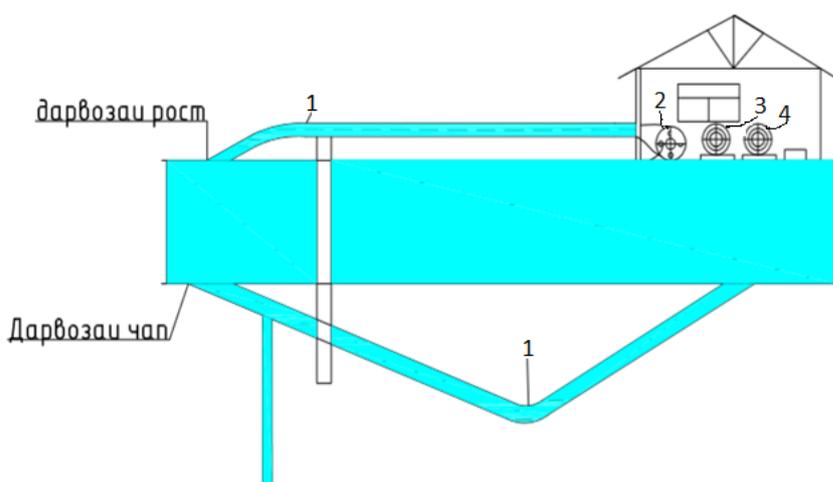
Расми 5 – Нақшаи нуругоҳи барқи обии хурди Октябр пеш аз тармим:

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 неругоҳ имконпазир мешавад. Бо зиёд кардани фишори резиши об то 16,6% ва рост намудани равиши об иқтидори неругоҳ метавонад то 50% афзоиш ёбад.

Нақши ҳалқунанда 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 неругоҳи «Октябр» 75 кВт буд, аммо амалан бо тавоноии 22 кВт кор мекард. Пас аз таҷдид бошад, неругоҳ бо иқтидори 68 кВт фаъолият менамояд.

Чунон ки аз нақша бармеояд, канали об ба неругоҳи барқи обӣ бо ду хатти ҳамгашт пайваست шудааст, ва худ неругоҳ дар охири канал, дар нуқтаи ҳамӣ ҷойгир мебошад. Фишори об дар неругоҳ тақрибан 6 метр аст, ки барои истеҳсоли тақрибан 22 кВт/соат неруи электрикӣ кофист. Ин иқтидор маҳдудиятҳои таҷҳизот ва дастгоҳҳои кӯҳна ва паст шудани ҳаҷми фишори об дар каналро дар назар дорад.



Расми 6 – Нақшаи неругоҳи барқи обии хурди Октябр баъд аз тармим:

1. Дарвозаи рост; 2. Бандиши 1 рост; 3. Чархи неругоҳи барқи обии хурд; 4. Генератори 1; 5. Генератори 2; 6. Дарвозаи чап; 7. Бандиши 1 чап.

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

Алгоритми умумии ҳисобкунии иқтидори неругоҳи барқи обӣ ва татбиқи лоиҳаҳои он барои коркарди неругоҳҳои хурд бо моделҳои математикӣ ба тарзи интегралӣ тарҳрезӣ шудааст. Ин моделҳо фаъолияти обанбор, иқтидори агрегатҳо, мувозинати ҷараёни об ва фишори агрегатҳои электрикӣ ро дар бар мегиранд.

Мувофиқи маълумоти оморӣ, истеҳсол ва истеъмоли неруи электрикӣ дар кишвар аз даврони гузаштаи тадқиқотӣ 21 маротиба афзоиш ёфта, соли 2024 ба 21 млрд. кВт·соат расидааст, ки 93%-и он аз неругоҳҳои обӣ истеҳсол

мешавад. Потенциали умумии энергетикии 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.

Муайянкунии иқтидор ва фишори об дар нуругоҳ бо усули модели математикӣ амалӣ мегардад. Сохтори модели умумӣ обанбори нуругоҳ, муодилаҳои иқтидори агрегатҳои обӣ, мувозинати ҷараёни об ва фишори агрегатҳои электрикӣ ро дар бар мегирад, ки ин барои пешгӯии самаранокии нуругоҳ ва оптимизатсияи кори он зарур аст.

Иқтидори электрикӣ ( $P$ ) барои нуругоҳи барқи обии хурд аз рӯи 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);

$\eta$  – самаранокии умумии нуругоҳ (бидуни андозаи безараргардонӣ);

$\rho$  – зичии об, кг/м<sup>3</sup> (тақрибан 1000 кг/м<sup>3</sup>);

$g$  – суръати ҷазби заминӣ, м/с<sup>2</sup> (9,81 м/с<sup>2</sup>);

$Q$  – ҳаҷми ҷараёни об, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – фишори об (баландии гидравликӣ), м.

Барои мисоли нуругоҳи барқи обии хурд бо параметрҳои зерин:

- ҳаҷми ҷараёни об  $Q=5$  м<sup>3</sup>/с;
- баландии резиши об  $H=4,5$  м;
- коэффиенти самаранокии турбина  $\eta=0,85$ .

Иқтидори электриро 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 нуругоҳи барқи обии хурд тақрибан 187,3 кВт мебошад.

**Моделсозии математикии қисмҳои гуногуни нуругоҳи 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.

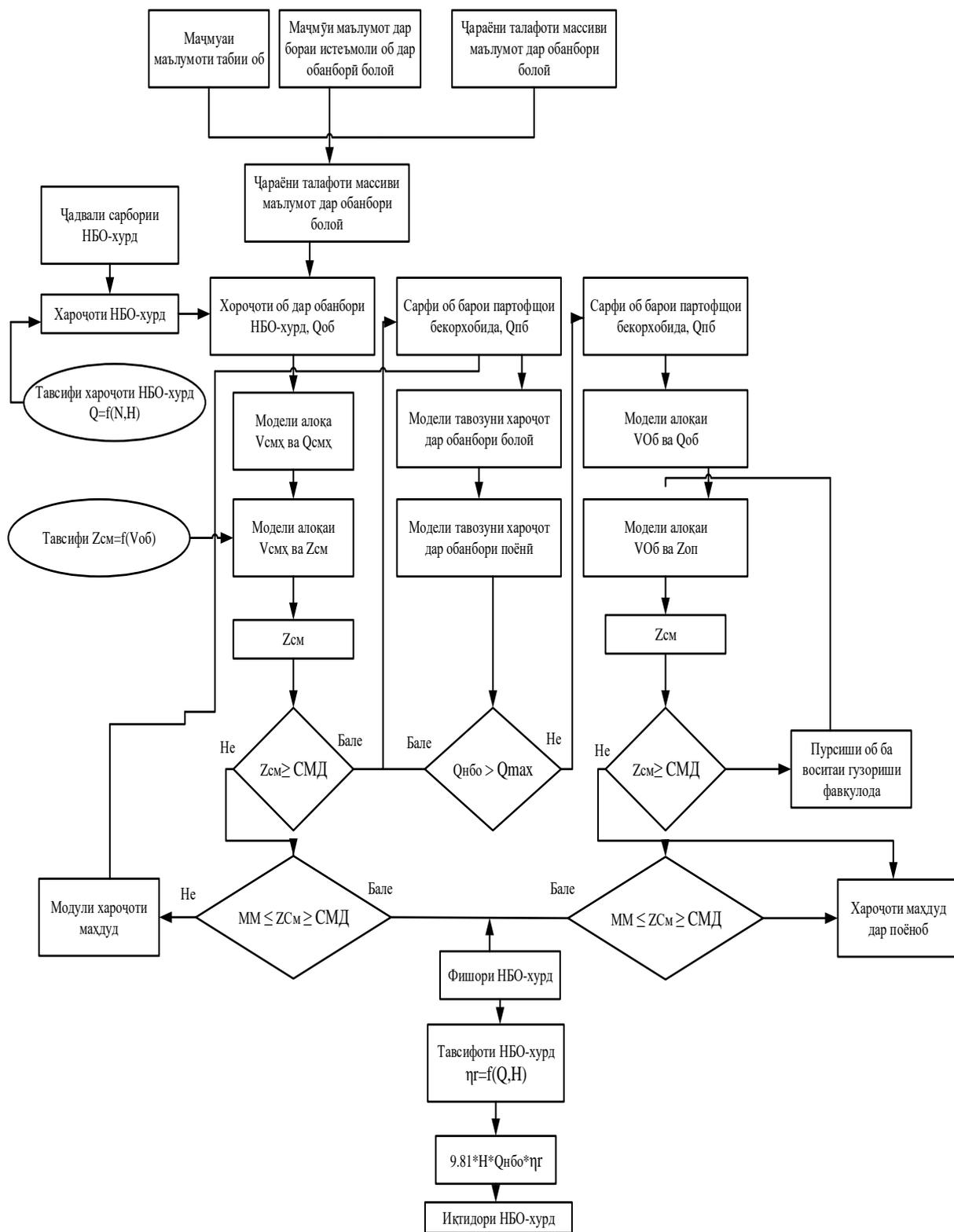
$$V(t) = V_u \pm \int Q_o dt \quad (2)$$

Дар ин ҷо:

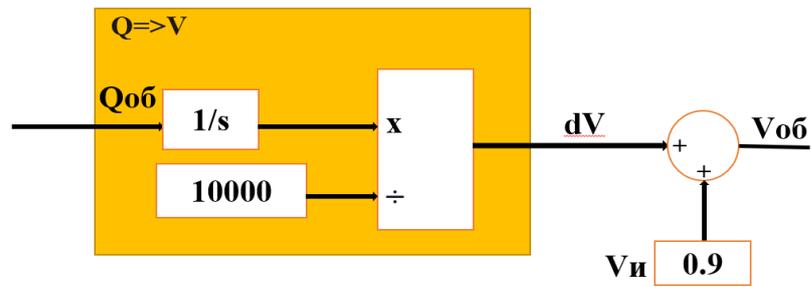
$V(t)$  – ҳаҷми ибтидоии обанбор, м<sup>3</sup>;

$V_u$  – суръати ҷараёни об ба обанбор ё аз он, м<sup>3</sup>/с, ки дар ҳолати пуршавии обанбор қимати мусбат ва дар ҳолати холишавии он қимати манфӣ мегардад.

Алгоритми умумии ҳисобкунии иқтидори неругоҳи барқи обӣ дар расми 7 дар шакли сохтор, структурӣ оварда шудааст. Аввалан, маълумоти ибтидоӣ, ки аз ҷумлаи балансии резини 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.

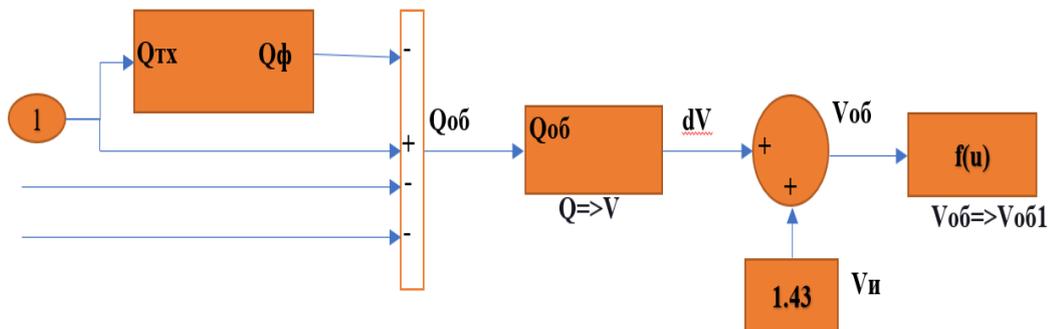


Расми 7 – Алгоритми умумии ҳисобкунии иқтидори неругоҳи барқи обӣ

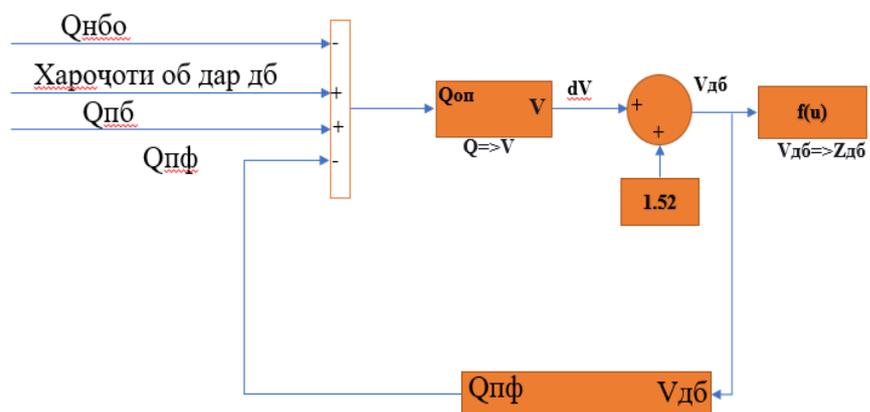


Расми 8 – Модели ҳавзи болоии нуругоҳи барқи обии хурд

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



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



Расми 10 – Модели поёноб барои нуругоҳи барқи обии танзимкунандаи ҳаррӯза

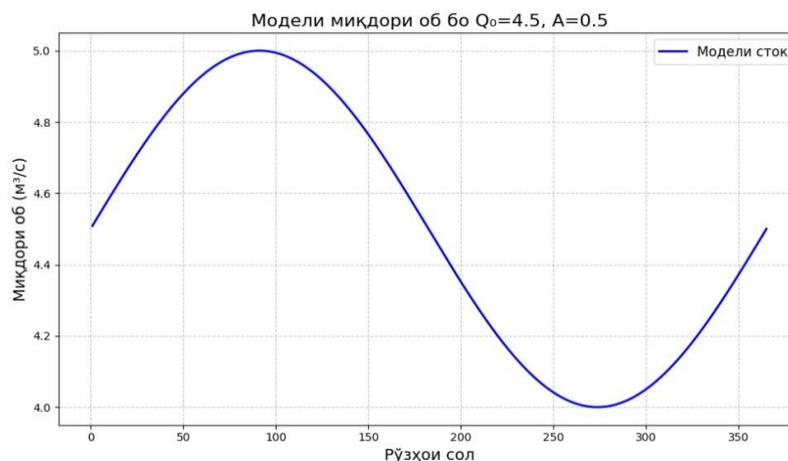
Модели синусоидалии миқдори обро метавон бо истифода аз формулаи зер ифода кард:

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

дар ин ҷо:  $Q(t)$  – миқдори об дар вақти  $t$ ,

$Q_{миё}$  – миқдори миёнаи об (маҷмӯи доимӣ),  
 $A$  – амплитудай тағйирёбии миқдори об,  
 $\omega$  – давраи кунҷии тағйирёбии миқдори об,  
 $\varphi$  – марҳалаи ибтидоии синусоида,  
 $t$  – вақти таҳлил.

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



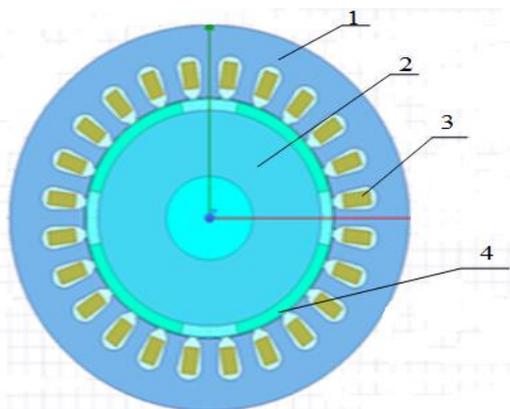
Расми 11 – Графикҳои модели математикии давраҳои миқдори об

**Дар боби сеюм «Таҳлили техникӣ ва интихоби оптималии генератору турбина барои нуруғоҳи барқи обии хурди (Октябр)»** ба таври илмӣ асоснок ва таҳлил мегардад. Таҳлили вариантҳои интихоби генератор барои нуруғоҳи барқи обии хурди автоматикунонидашуда аз ҷиҳати самаранокии энергетикӣ қисми муҳими таҳқиқоти рисола мебошад. Дар солҳои охир бо рушди маводҳои магнитии доимӣ ва пешрафти технологияҳои генераторҳои синхронии 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.

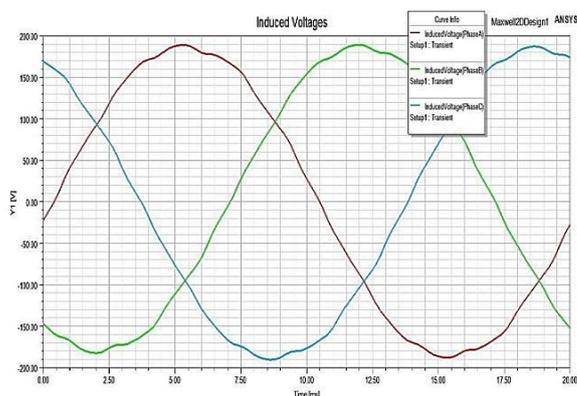
Ҳамчунин, генераторҳои синхронӣ бо магнитҳои доимӣ дар нуруғоҳҳои шамолӣ ва барқи обӣ ба сифати манбаи шиддат истифода мешаванд. Ин технологияи нав, махсусан дар нуруғоҳҳои барқи обии хурди миёна, афзалиятҳои возеҳ дорад, аз ҷумла эътимодноӣ, каммасрафӣ ва осонии нигоҳдорӣ, ки онҳоро барои истифодаи васеъ мувофиқ месозад.

Дар асоси ҳисоботҳои пешакӣ бо истифодаи системаи автоматикунонидашудаи лоиҳакашӣ САЛ, барои генераторҳои бо магнитҳои доимӣ, андозаҳои геометрии асосӣ чунин интихоб шудаанд: кутри берунаи лангар (якор)  $D_{бер.якор} = 123$  мм; кутри даруни тегаи 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 фаёли дилаки лангари якор  $L_{якор} = 300$  мм.



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

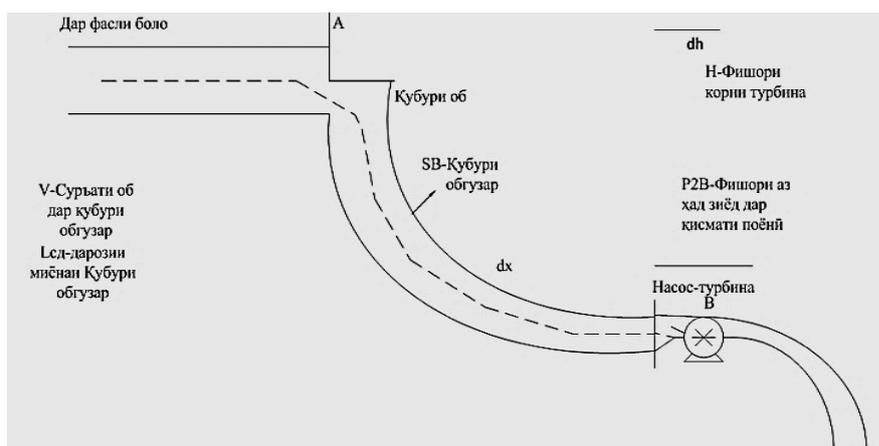


Расми 13 – Қаҷхатҳои ҚЭХ-и генератори сефаза

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

Лангари генератор (СГ-1) аз варақаҳои пӯлоди электротехникии рӯ ба рӯ гузошташудаи тамғайи St3210 бо хосиятҳои магнитии баланд сохта шудааст. Миқдори комутаторҳои лангари генератор 2 адад, ва шумораи дандонҳои лангари он  $Z_я = 24$  мебошад.

Индуктор (3) низ аз пӯлоди сохтмони тамғайи 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:  $H_{св} \geq 860$  кА/м, ва дар шароити кори магнитшуда  $H_{сх} \geq 960$  кА/м;

– Ҳосили заряди энергетикӣ (максимум):  $(ВН)_{\max} = 287-310$  кДж/м<sup>3</sup>.

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  $\rho$  – зичии моеъ дар нуқтаи додашуда, ва  $dA$  – элементи 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 механикӣ 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.

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

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 техникӣ обгузар (водовод) ва андозаҳои асосии қисми обгузари насос анҷом дода мешаванд. Модел ба баланд бардоштани кори бозғайимод ва самаранокии 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 ғайриқулай мекарданд, ки ҳамаасола 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 дериватсионӣ 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 мавҷҳои 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,  $\text{м}^2/\text{с} \cdot \text{м}/\text{с}$

$\eta$  - ККФ-и гидроагрегат.

Фишор ва суръати мавҷҳои об алоқаи зерин дарбар мегирад:

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

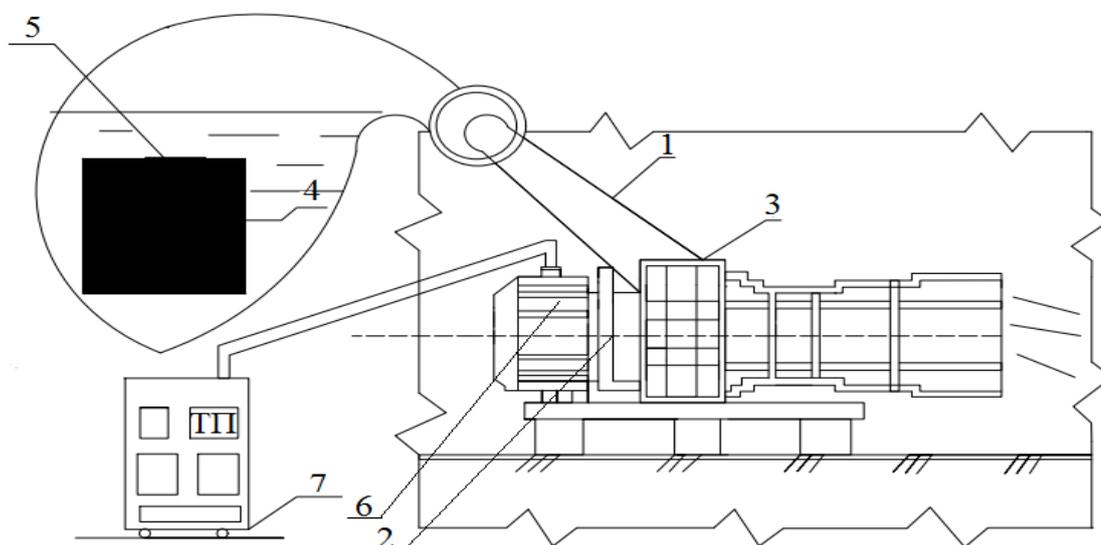
Гидроагрегате, ки дар нақша нишон дода шудааст, бо таҷҳизоти пайваستاи (силсилабарории) мукамал муҷаҳҳаз гардонидани шудааст. Ба таркиби он, ғайр аз турбинаи радиалӣ-меҳварӣ, инчунин генератори ҳамзамонӣ, танзимгари худкор, сарчарха, ва ҳалқаи обравии фишордор

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 нуругоҳи барқи оби хурди «Октябр», ки манбаи асосии таъминоти оби нуругоҳ ва агрегати он мебошад, дар натиҷаи фарсудаҳои сохторӣ танҳо имкони истеҳсоли то 22 кВт иқтидори барқи электрикӣ дошт. Баландии лоиҳавии фишори канал 7 метрро ташкил медиҳад. Паҳноии канал 7 метр ва чуқурии он бо диаметри 1200 мм буда, сарфи об дар он то 18 м<sup>3</sup>/с мерасад.

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

Дар давраи минбаъда, нуругоҳи барқи оби 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 нуругоҳи барқи оби хурди Октябр

Хусусияти фарқкунандаи лоиҳаи пешниҳодшуда ин таҳқиқот дар он зоҳир мегардад, ки оббарандаи фишордор ба таври рост сохта шуда, маҷмӯаи генератор ва турбина дар якҷоягӣ бо тартиби амудӣ насб гардидаанд ва нисбат ба сатҳи қаблии чараёни об як метр поёнтар ҷойгир шудаанд. Ин қарор барои беҳсозии фишори динамикӣ, баланд бардоштани самаранокии гидротехникӣ ва энергетикӣ нуругоҳи барқӣ мусоидат мекунад.

## ХУЛОСА ВА НАТИҶАҲОИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ

Дар рафти иҷроиши кори диссертатсионӣ хулоса натиҷаҳои зерини илмӣ ба даст оварда шуданд:

1. Яке аз роҳҳои асосӣ ва мақсадноки баланд бардоштани эътимоднокии дастгоҳҳои садамавии электрикӣ дар иншоотҳои энергетикӣ, аз ҷумла нуругоҳҳо, бунёд ва таҷдиди нуругоҳҳои барқии оби хурд

мебошад, ки ба ҳалли масъалаҳои муҳим ва мураккаби илмӣ-техникӣ раवона карда шудааст.

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.

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.

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.

5. Воридоти сохти ташхисӣ ва алоқа бо бунгоҳи марказии танзимгаро шароит фароҳам меорад, ки речаи саёравии (масофавӣ) қорҳои неругоҳи барқи обии хурдро бе ҷалби қорғари хизматрасон ба қор бурд.

6. Рушди сохтмони неругоҳи барқи обии хурд дар Тоҷикистон беамоният 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  $\approx 595.7$  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.

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 фуромадани тарма, мусоидат менамояд.

8. Барои баланд бардоштани эътимоднокии ва самаранокии энергетикии неругоҳи барқи обии хурд, интихоб намудани генератор бо магнити доимӣ кори неругоҳро беҳтар менамояд.

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.

10. Ҳангоми кори неругоҳи барқи обии хурд дар речаи доимии тавоноӣ, зарурат ба истифодаи танзимгари гидравликӣ барҳам меҳӯрад, инчунин тавсифҳои насосҳо дар речаи турбина ва параметрҳои гидравликии арматураи кубурӣ зарурат надоранд.

## ТАВСИЯҶО БАРОИ ИСТИФОДАИ АМАЛИИ НАТИҶАҶО

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 дорои самаранокии баланд ва эътимоднокии устувор мебошанд. Ин технология, махсусан барои шароити дурдаст ва минтақаҳои кӯхӣ, 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 гидротехникаи беҳсозишуда амалишаванда мебошад, метавонад ҳамчун намуна барои таҷдид ва рушди неругоҳҳои хурди мавҷуда дар минтақаҳои дигари ҷумҳурӣ хидмат намояд.

4. *Интеграцияи таҳқиқоти илмӣ дар раванди таълим ва омодагии мутахассисон.* Мавод ва натиҷаҳои илмии 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.

## ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМӢ АЗ РӢӢИ МАВЗӢИ ДИССЕРТАТСИЯ:

*Мақолаҳои нашршуда дар маҷаллаҳои илмии аз ҷониби Коммиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсияшуда:*

[1-А] 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-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.

*Мақолаҳои дар дигар маводҳои ҷопӣ:*

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

**[4-А] 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-А] Холмирзоев Д.Н.** Исследование динамических процессов в системе частотно-регулируемого электропривода насосного агрегата и магистрального трубопровода / 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-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 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-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 энергетики 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.

#### ***Патент ва шаҳодатномаи муаллифӣ:***

**[11-А] Холмирзоев Д.Н.** Неругоҳи хурди обии барқии 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).

**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 Дустмухаммад Нуруло**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ**  
**МАЛЫХ ГЭС**  
**(на примере станции Октябрь)**

**АВТОРЕФЕРАТ**

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

Кушониён – 2025

Диссертация выполнена в Лаборатории энергетики, ресурсо и энергосбережении 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 «12» сентября 2025 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 6D.КОА-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.

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

Автореферат разослан «26» января 2024 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



Махсумов И.Б.

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Актуальность темы исследования отчётливо проявляется в контексте текущего состояния энергетической системы Республики Таджикистан. В последние годы хронический дефицит электроэнергии остаётся одной из острейших социально-экономических проблем страны, несмотря на то что в 2024 году годовой объём выработки электроэнергии составил 21 млрд кВт·ч, что превышает общий спрос, равный 17,4 млрд кВт·ч. Согласно официальным данным ОАХК «Барки Тоҷик», в указанном году общий энергетический дефицит составил 152891 кВт·ч. Это свидетельствует о том, что существующие энергетические ресурсы используются недостаточно эффективно, и необходима разработка новых путей устранения дефицита.

С учётом значительного потенциала гидроэнергетических ресурсов одним из приоритетных и стратегически важных направлений развития является строительство малых гидроэлектростанций (МГЭС). Однако практика показывает, что большинство таких станций сталкиваются с техническими проблемами, низким уровнем автоматизации и недостаточной надёжностью. В связи с этим исследование и повышение энергетической эффективности МГЭС, а также совершенствование конструкций генераторов и автоматизированных систем управления представляют собой не только научный интерес, но и практическую и экономическую значимость.

В совокупности все эти меры способствуют достижению главной стратегической цели Республики Таджикистан энергетической независимости. Поэтому тема настоящего исследования обладает особой актуальностью и высокой научно-практической значимостью в современных условиях.

**Степень разработанности:** 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. Учитывая перспективы развития малых гидроэлектростанций (МГЭС) в Республике Таджикистан, в ряде вузов страны в частности, в Институте энергетики Таджикистана и Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими накоплен обширный научный и практический материал.

В частности, учёные Института 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) или научными темами.** Тема диссертационной работы тесно связана с положениями государственных программ Республики Таджикистан, включая «Национальную стратегию развития до 2030 года», «Обеспечение энергетической безопасности и эффективное использование электроэнергии», а также «Концепцию цифровой экономики в Республике Таджикистан».

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**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.

**Основные задачи исследования для достижения цели работы:**

1. Анализ структуры и принципа работы малой гидроэлектростанции «Октябрь» и системы водоподдачи «Болға Басған» с учётом их технических особенностей и режимов эксплуатации.

2. Обоснование функциональной структуры малой гидроэлектростанции, включающей комплекс высоконадежных элементов для обеспечения устойчивой работы обслуживаемых систем.

3. Выбор и обоснование модели генератора с высоким уровнем надежности, адаптированной к конкретным условиям эксплуатации.

4. Разработка алгоритмов упорядочивания процесса проектирования и внедрения малых гидроэлектростанций.

5. Выбор оптимальной конструкции центробежного насоса для использования в составе гидротурбин.

6. Техническое и экономическое обоснование модернизации и обновления основных механизмов малой гидроэлектростанции с целью повышения их эффективности и надежности.

**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.

**Метод исследования:** В процессе выполнения исследования применялась методика поэтапного анализа каждого элемента конструкции малой гидроэлектростанции с учётом взаимного влияния этих элементов на общую систему. Для анализа работы электростанции были разработаны и реализованы математические модели, отражающие динамические и статические характеристики электромеханических систем. Основные теоретические результаты представлены в виде математических моделей, которые были реализованы и проанализированы с использованием современных программных средств, таких как MATLAB/Simulink и ANSYS.

**Научная новизна исследования:**

В результате проведённого исследования представлены следующие научные новизны:

1. Предложена новая эффективная структура малой гидроэлектростанции «Октябрь» с использованием автономных узлов и автоматизированных систем, применимых в условиях водоподводящего канала «Болга Басган».

2. Разработана и предложена цифровая модель генератора, обеспечивающая возможность повышения эффективности и устойчивости работы малой гидроэлектростанции.

3. Создана математическая модель для анализа режимов работы электростанции и определения путей увеличения её энергетической мощности и общей эффективности.

4. Проведена экспериментальная реализация проекта малой гидроэлектростанции с учётом технического моделирования, реальных гидрологических параметров и результатов анализа моделей.

**Практическая и теоретическая значимость работы:**

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.

#### **Достоверность и обоснованность научных результатов исследования:**

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечена использованием математических моделей, которые точно отражают динамические характеристики работы малой гидроэлектростанции «Октябрь». Модели разработаны с учётом реальных параметров водоснабжения, особенностей турбины и генератора, а также проанализированы с применением современных инженерных вычислительных средств (MATLAB/Simulink и др.). Полученные результаты согласуются с экспериментальными данными и практическими наблюдениями, что свидетельствует о высоком уровне энергетической эффективности и создаёт надёжную основу для корректной оценки электрической мощности системы.

#### **Соответствие диссертации по паспорту научной специальности:**

Проведённые исследования соответствуют следующим пунктам паспорта научной специальности 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 надёжности и ресурса элементов энергетических систем, комплексов и входящих в них энергетических установок.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Новая техническая структура малой гидроэлектростанции «Октябрь», основанная на использовании автоматизированного оборудования и исключающая необходимость постоянного обслуживающего персонала, обеспечивающая высокий уровень надёжности и энергетической эффективности.

2. Математическая и симуляционная модель, разработанная с применением современных методов для расчёта и анализа мощности, давления воды и работы генератора и турбины в среде MATLAB/Simulink.

3. Разработка эффективных алгоритмов управления работой станции, гарантирующих устойчивый энергетический режим в автономных условиях эксплуатации.

4. Оптимальный выбор оборудования, обоснование применения центробежных турбин и синхронных генераторов с постоянными магнитами для повышения производственной мощности и снижения эксплуатационных затрат.

5. Практические результаты реализации проекта модернизации и увеличения мощности малой ГЭС «Октябрь» за счёт обновления водопроводящих труб, нового размещения оборудования и совершенствования системы управления, что привело к росту выработки электроэнергии.

6. Предложение инновационной модели малой гидроэлектростанции с автоматическими функциями, которая может служить основой для развития аналогичных объектов в удалённых регионах республики.

**Практическое применение результатов диссертационной работы** направлено на научные и прикладные области и имеет важное значение. Ряд теоретических и практических результатов исследования успешно внедрён в учебный процесс и практическую подготовку студентов Института энергетики Таджикистана. В частности, разработанные математические модели и алгоритмы автоматизированного управления, созданные в среде MATLAB/Simulink, включены в учебные дисциплины «Системы управления электростанциями» и «Проектирование малых гидроэлектростанций».

Кроме того, проект технической модернизации малой гидроэлектростанции «Октябрь», обоснованный в диссертации, используется в качестве практического примера при выполнении курсовых и дипломных работ. Полученные научные результаты также применяются при подготовке лекций и семинаров по вопросам энергетической эффективности и использованию возобновляемых источников энергии в учебной среде института, что способствует повышению качества образования и подготовке квалифицированных специалистов в данной области.

**Личный вклад автора** заключается в постановке общей цели и задач исследования, разработке технической структуры малой гидроэлектростанции, проведении экспериментальных исследований по определению основных показателей работы малой гидроэлектростанции «Октябрь», а также участия в математическом моделировании и анализе практических результатов. Автор внес непосредственный вклад в разработку алгоритмов управления, выбор оптимального оборудования, экономико-технический анализ и практические предложения по модернизации. Кроме того, он активно участвовал в формулировании основных научных выводов, подготовке материалов для публикаций и представлении результатов на научно-теоретических и практических конференциях.

### **Апробация результатов работы.**

Материалы диссертации обсуждались на многочисленных научных мероприятиях и конференциях, в том числе: на международной научно-практической конференции «Развитие гидроэнергетики развитие Таджикистана» (20 декабря 2018 года, район Кушониён), республиканской научно-практической конференции «Экономическое развитие энергетики в Республике Таджикистан» (22 мая 2016 года, г. Курган-Тюбе), республиканской научно-практической конференции «Развитие устойчивой энергетики в годы независимости» (22–23 декабря 2016 года), посвящённой Дню энергетика и 10-летию Института энергетики Таджикистана, международной научно-практической конференции (25 сентября 2023 года, Алматы, Казахстан), международной научно-практической конференции «Цифровизация промышленности и развитие энергетики с точки зрения учёных и исследователей» (25 апреля 2024 года, район Кушониён), международной научно-практической конференции «Энергетика ключевая отрасль развития национальной экономики» (19 декабря 2024 года, район Кушониён).

**Публикации по теме диссертации.** Опираясь на результаты проведённого научного исследования, подготовлен и опубликован комплект из 11 научных трудов. 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 патент на изобретение Республики Таджикистан.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, основных выводов, списка литературы (135 наименований) и приложений. Общий объём работы составляет 139 машинописных страниц, включает 31 рисунок и 9 таблиц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**В введении обоснована актуальность** диссертационной работы, рассмотрена степень изученности научной темы, связь исследования с программами (проектами) и научными направлениями, а также определены цель и задачи исследования, посвящённого малой гидроэлектростанции.

**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. км<sup>2</sup> 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 км<sup>3</sup>. 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 км<sup>2</sup>, 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 исследований показывают, что общий энергетический потенциал Таджикистана оценивается в среднем в 51,8 млн кВт. Из них 511 рек, подвергнутых научному изучению, обладают суммарной мощностью около 32,6 млн кВт. Кроме того, малые реки длиной менее 10 км, которые

пока что используются в меньшей степени, имеют потенциал около 19,5 млн кВт.

Таблица 1 – Энергетический потенциал основных рек Республики Таджикистан

Названия рек	Площадь бассейнов		Потенциальные гидроэнергетические ресурсы		Сравнительная насыщенность кВт/км <sup>2</sup>
	км <sup>2</sup>	%	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 подробно представлено в таблице 2.

Результаты анализа показывают, что по объёму гидроэнергетических ресурсов Республика Таджикистан занимает второе место среди соседних стран, уступая лишь Российской Федерации.

Плотность гидроэнергетических ресурсов Таджикистана в среднем составляет 2 100 тыс. кВт·ч на 1 км<sup>2</sup>.

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 мощности (мощности на каждый километр длины реки) основные позиции занимают реки Оби-Хингоб, Вахш и Пяндж.

В таблице 3 представлены данные о распределении потенциальных энергетических и технических ресурсов основных рек Республики Таджикистан и их притоков. Также в таблице показано, как отличаются теоретические возможности и фактический объём использования этих ресурсов.

Научные исследования и результаты поисковых работ демонстрируют, что на различных этапах экономического развития Республики Таджикистан имеется значительный потенциал гидроэнергетических ресурсов страны. При полном использовании общего гидроэнергетического потенциала мощность может достигать 19,3 млн кВт, а производство электроэнергии 143,6 млрд кВт·ч. Эти показатели чётко иллюстрируют возможности использования возобновляемых гидроэнергетических ресурсов Таджикистана.

Несмотря на наличие крупных и средних водохранилищ, Республика Таджикистан также располагает большим количеством рек с низкой мощностью, чья мощность не превышает 2 тыс. кВт. Такие гидроэнергетические ресурсы относятся, как правило, к малым и локальным водохранилищам. В этих условиях производство электроэнергии обеспечивается за счёт малых гидроэлектростанций. Такие станции обычно характеризуются следующими техническими параметрами: общая мощность до 30 МВт, мощность одного агрегата 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.

Мощность малых рек в Центральной Азии составляет 3,1 млн кВт или 27,2 млрд кВт·ч. Распределение мощности представлено следующим образом:

- 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.

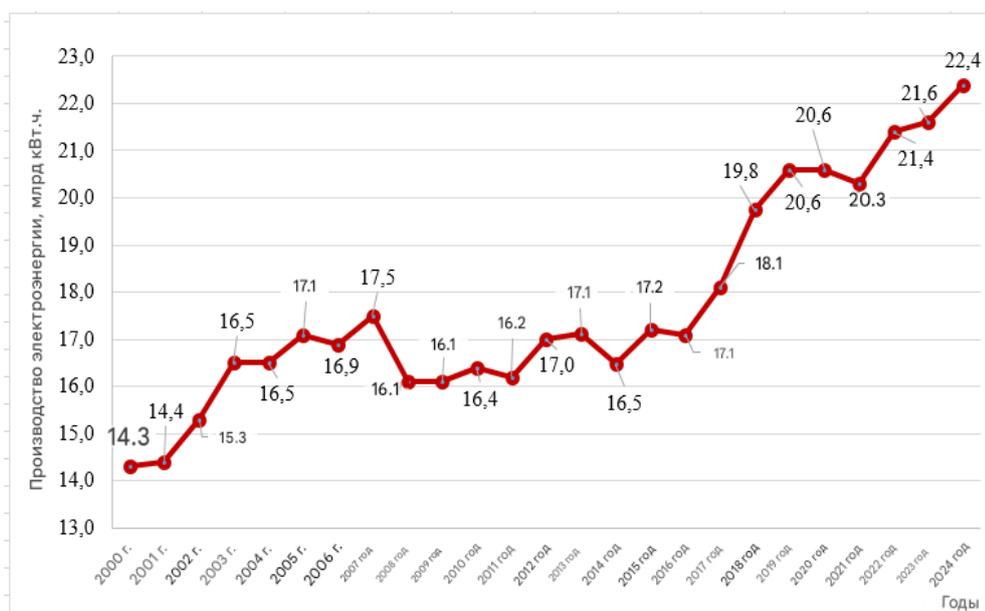


Рисунок 1 – График производства электроэнергии в Республике Таджикистан за период с 2000 по 2024 год

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.

История развития малой гидроэнергетики в стране восходит к началу XX века. Для обеспечения электричеством центральных районов республики в 1927 году было запланировано строительство гидроэлектростанций на реке Варзоб. 25 февраля 1931 года началось строительство Варзобской ГЭС мощностью 7200 кВт. Строительные работы продолжались шесть лет, и 31 декабря 1936 года станция была введена в эксплуатацию.

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 приведены горные населённые районы Республики Таджикистан с указанием расстояния населённых пунктов от районных центров. 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 районе Пенджакент, обладает традиционной конструкцией малых гидроэлектростанций (рисунок 3). Она состоит из плотины (П) и напорных трубопроводов (ПТ), а также включает следующие 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); регулятор возбуждения (РВ).

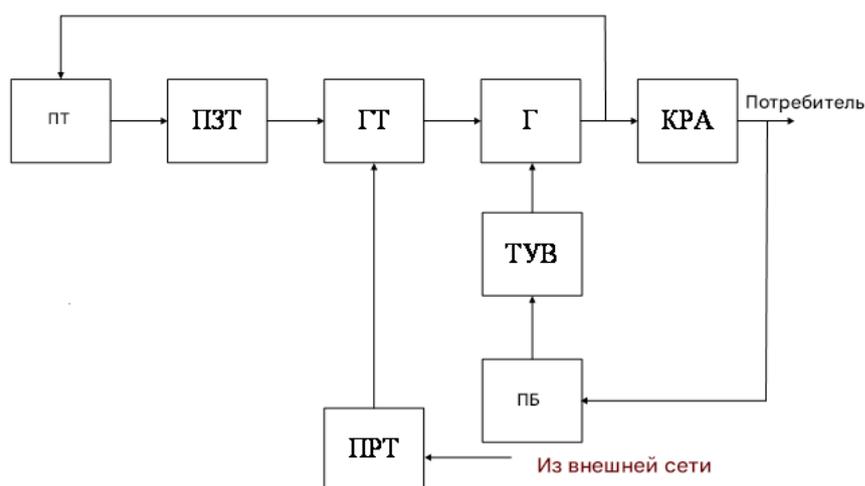


Рисунок 3 – Основы конструкции автономной и автоматизированной малой гидроэлектростанции

На малых гидроэлектростанциях обычно используются синхронные генераторы с электромагнитным возбуждением, при котором возбуждающий ток подаётся 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. Применение электронной системы управления напряжением в такой системе возбуждения обеспечивает стабильность амплитуды и быструю адаптацию выходного напряжения, что способствует эффективной и надёжной работе.

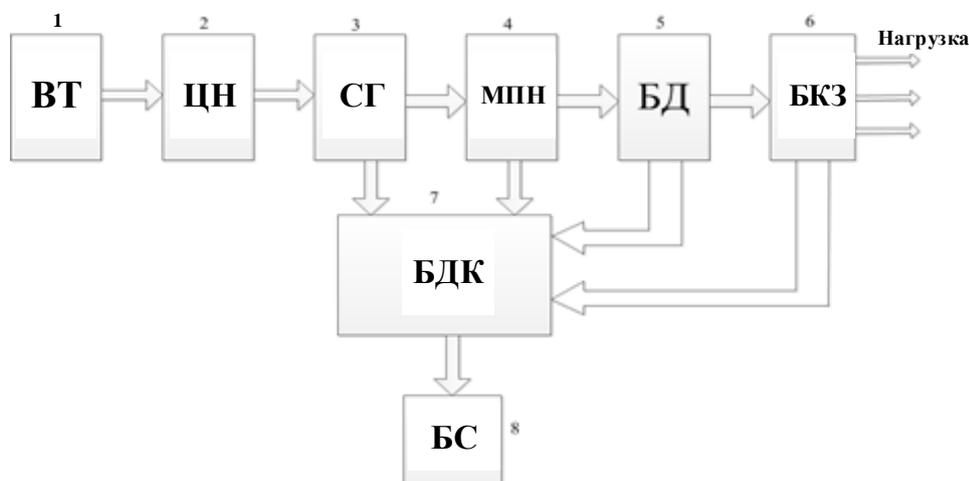


Рисунок 4 – Функциональная схема автоматизированной малой гидроэлектростанции

Основной состав малой гидроэлектростанции и её оборудования:

1. Водопроводящая труба (ВТ) – предназначена для подачи воды к турбине.

2. Центробежный насос (ЦН), в качестве гидротурбины используется серийный центробежный насос.

3. Трёхфазный синхронный генератор (СГ), синхронный трёхфазный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов серийного типа.

4. Мощный преобразователь напряжения (МПН), устройство, включающее преобразователь переменного тока в постоянный, преобразователь постоянного тока в переменный с регулировкой амплитуды и частоты, а также симметрирующее устройство трёхфазного напряжения.

5. Блок датчиков выходных параметров станции (БД), регистрирует ток, напряжение, мощность и выработанную электроэнергию.

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

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

8. 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.

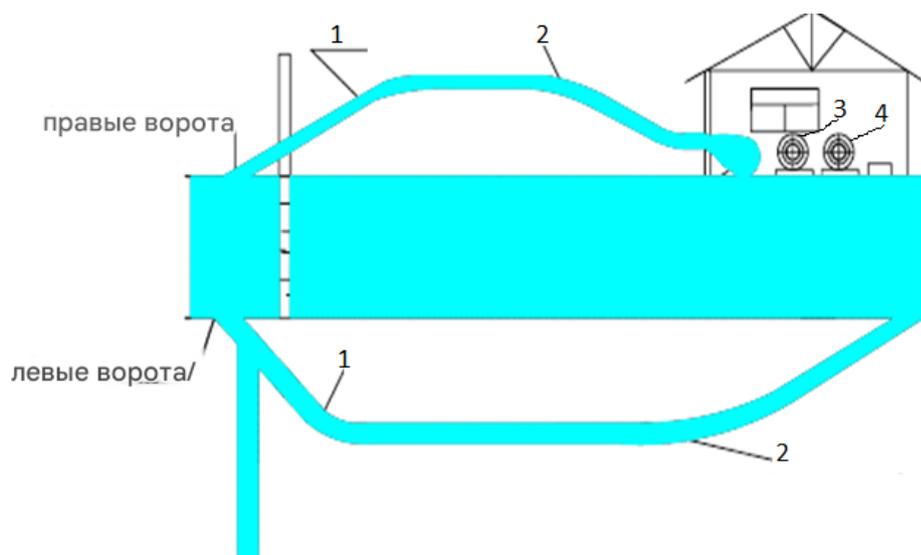


Рисунок 5 – Схема малой гидроэлектростанции «Октябрь» до реконструкции: 1. Правая задвижка; 2. Правая напорная труба 1; 3. Правая напорная труба 2; 4. Генератор 1; 5. Генератор 2; 6. Левая задвижка; 7. Левая напорная труба 1; 8. Левая напорная труба 2

Электрическая энергия 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.

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.

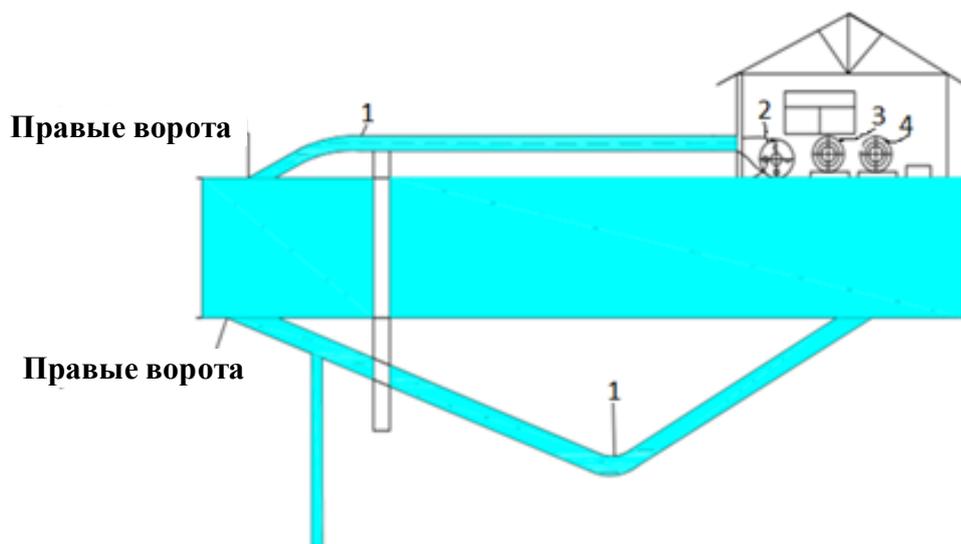


Рисунок 6 – Схема малой гидроэлектростанции «Октябрь» после реконструкции: 1. Правая задвижка; 2. Правая напорная труба 1; 3. Правая напорная труба 2; 4. Генератор 1; 5. Генератор 2; 6. Левая задвижка; 7. Левая напорная труба 1.

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 обобщенной 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);

$\eta$  – Общая эффективность станции (без учёта размера безвредного сброса);

$\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup> (приблизительно 1000 кг/м<sup>3</sup>);

$g$  – скорость земного притяжения, м/с<sup>2</sup> (9,81 м/с<sup>2</sup>);

$Q$  – объем потока воды, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – давление воды (гидравлическая высота), м.

Для примера малой гидроэлектростанции со следующими параметрами:

- объем потока воды  $Q=5$  м<sup>3</sup>/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 различных частей малой гидроэлектростанции в среде MATLAB/Simulink.*

Для решения различных задач разработанные модели с использованием набора входных параметров и начальных условий могут способствовать поиску оптимальных решений. Расчет объема воды в водохранилище выполняется согласно установленным формулам.

$$V(t) = V_{и} \pm \int Q_{o} dt \quad (2)$$

здесь:

$V_{(t)}$  – Начальный объем водохранилища, м<sup>3</sup>;

$V_{и}$  – Скорость потока воды в водохранилище или из него, м<sup>3</sup>/с, принимающая положительное значение при наполнении водохранилища и отрицательное значение при его опорожнении.

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.

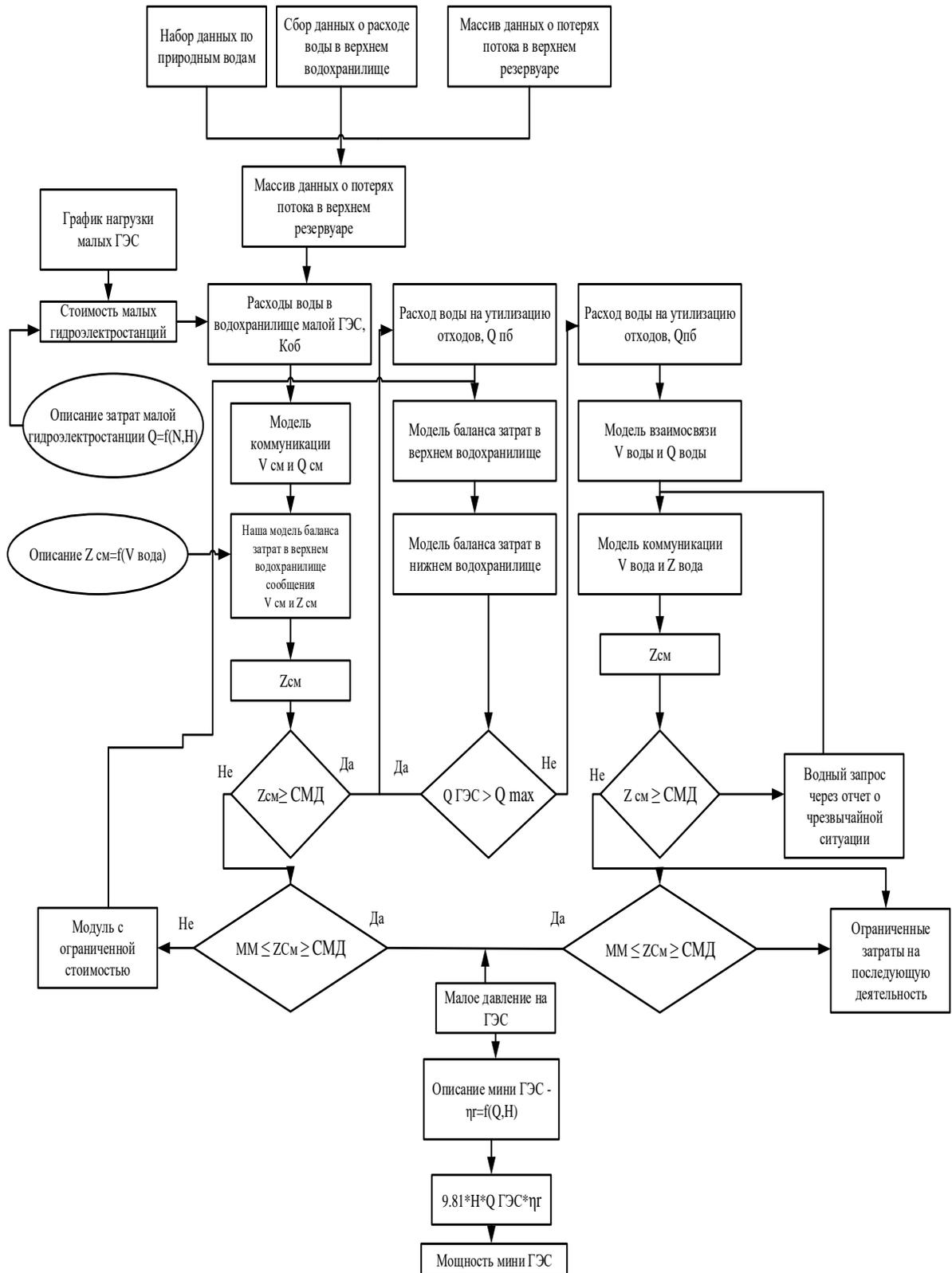


Рисунок 7 – Общий алгоритм расчёта мощности малой гидроэлектростанции

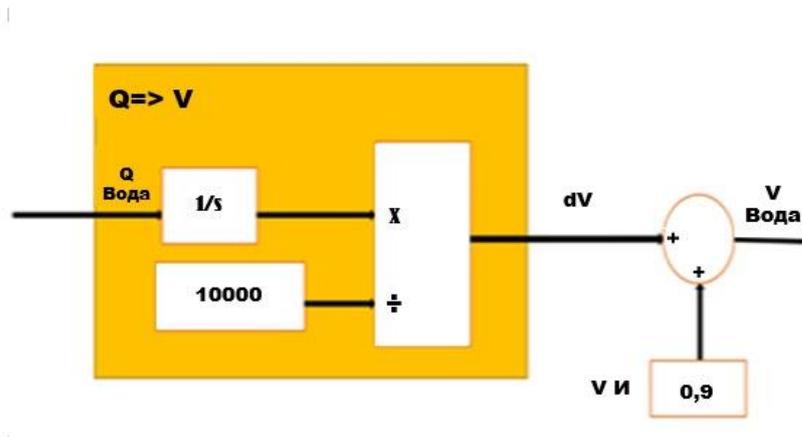


Рисунок 8 – Модель верхнего водохранилища малой гидроэлектростанции

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.

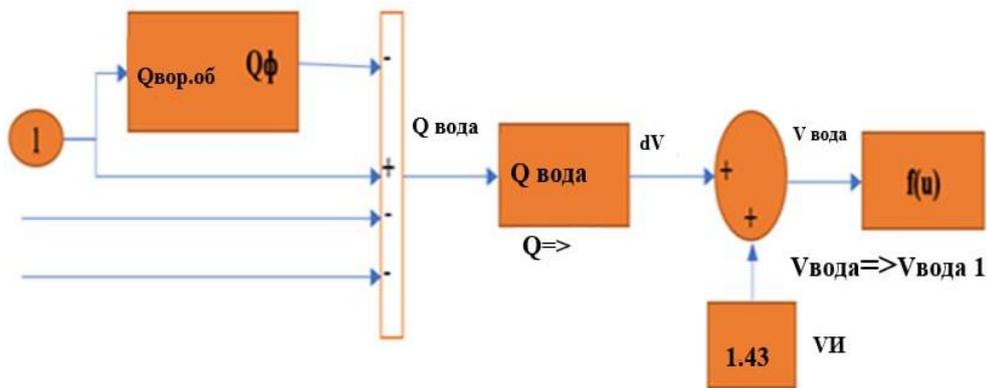


Рисунок 9 – Модель верхнего водоёма гидроэлектростанции совместно с макетом водохранилища

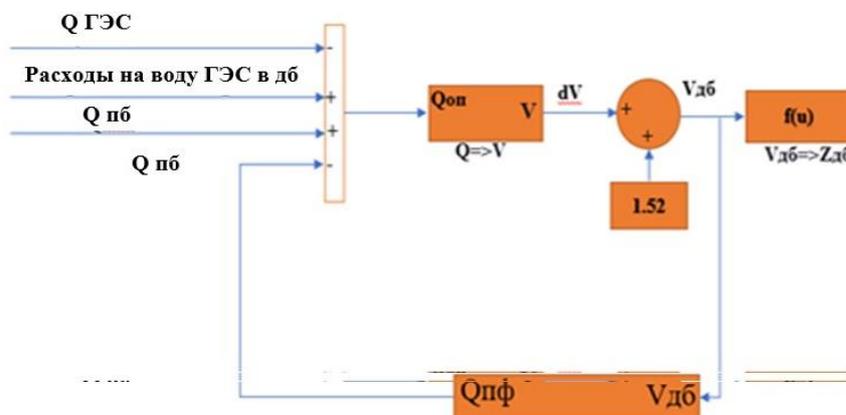


Рисунок 10 – Модель нижнего бьефа для гидроэлектростанции с суточным регулированием

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,

$\omega$  – угловой период изменения объема воды,

$\varphi$  – начальная стадия синусоиды,

$t$  – время анализа.

Как следует из данных вышеупомянутой гидроэлектростанции, среднегодовое количество воды  $Q_0 = 4,5 \text{ м}^3/\text{с}$ , амплитуда расхода воды  $A = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ , продолжительность цикла  $T = 365$  дней и фаза скорости  $\varphi = 0$  (максимум в середине весны). Используя формулу синусоидальной модели, можно рассчитать количество воды на каждый день, результаты которого показаны в графическом виде на рисунке 11.

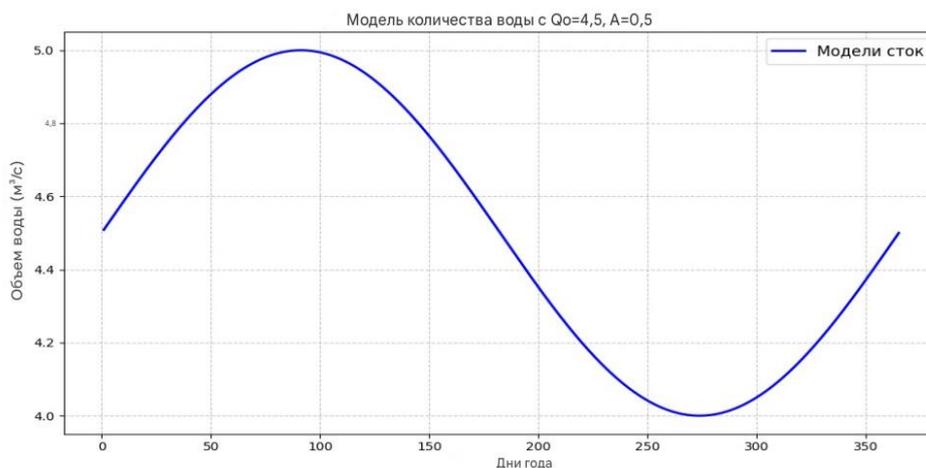


Рисунок 11 – График математической модели колебаний расхода воды

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 с использованием система автоматизированного проектирования САПР, для генераторов с постоянными магнитами были выбраны следующие основные геометрические размеры: внешний диаметр якоря  $D_{\text{внеш.якоря}} = 123$  мм; внутренний диаметр паза якоря  $D_{\text{внутр}} = 123$  мм; внешний диаметр индуктора  $D_{\text{внеш.индуктора}} = 123$  мм; и длина активной части сердечника якоря  $L_{\text{якоря}} = 300$  мм.

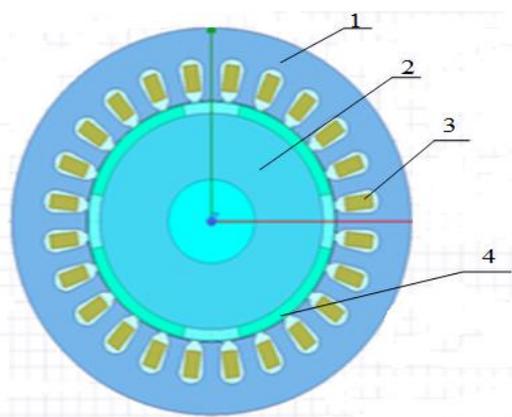


Рисунок 12 – Конструкция синхронного генератора с основными полюсами и постоянным магнитом

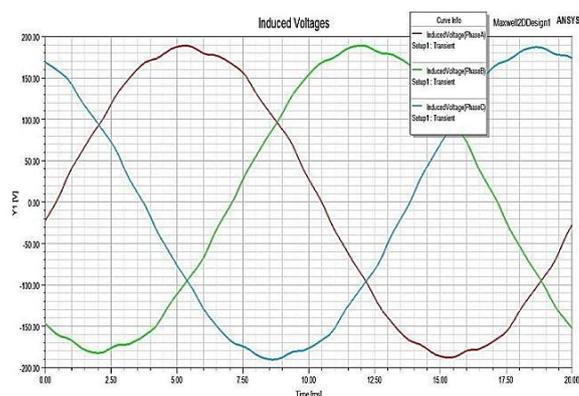


Рисунок 13 – Кривая электродвижущей силы (ЭДС) трёхфазного генератора

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:  $H_{\text{св}} \geq 860$  кА/м, а в условиях намагниченного состояния  $H_{\text{сн}} \geq 960$  кА/м;

– Максимальная энергия магнитного материала:  $(BH)_{\max} = 287\text{--}310$  кДж/м<sup>3</sup>.

Выбор турбины осуществлён на основе центробежных турбин. Гидравлические машины, как правило, являются реверсивными, то есть могут использоваться в качестве двигателя или насоса в зависимости от направления вращения. В таких случаях изменяются не только направление вращения, но и характеристики давления, крутящего момента и другие рабочие параметры.

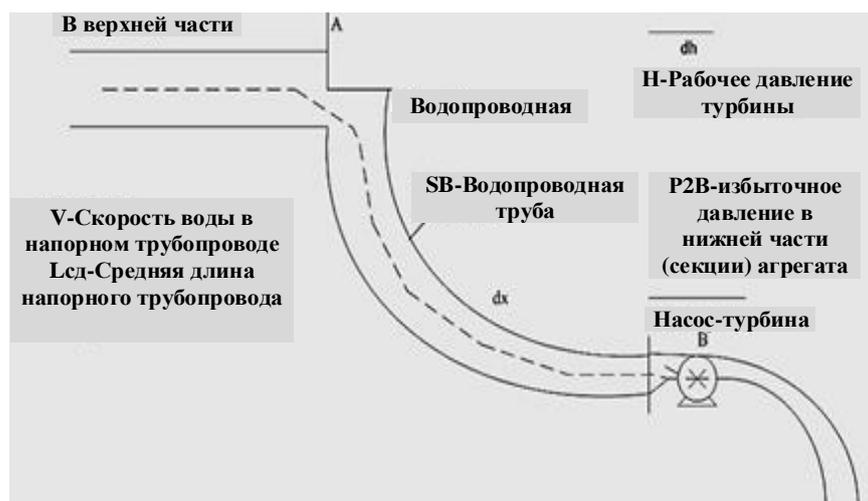


Рисунок 14 – Схема условного плана малой гидроэлектростанции «Октябрь» с напорным водоводом

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  $\rho$  – плотность жидкости в заданной точке, а  $dV$  – малый элемент объёма, получаем окончательное выражение для расчёта.

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

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. Эти электростанции сыграли значительную роль в восстановлении и развитии различных отраслей народного хозяйства республики.

В конце XX века был разработан «Программа развития малой энергетики в Таджикистане», предусматривающая возрождение существующих и строительство новых малых гидроэлектростанций. Согласно «Программе развития малой гидроэнергетики», планировалось строительство 27 новых малых электростанций с мощностью от 22 до 69 кВт и средней годовой выработкой до 350 млн кВт·ч электроэнергии.

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. Этот метод включает несколько элементов: плотину и водохранилище, безнапорную деривацию, водовод к турбинам, здание электростанции и отводящий водоток. 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, м<sup>2</sup>/с. м/с  
 $\eta$  - КПД гидроагрегата.

Давление и скорость волны связаны следующим образом:

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

Гидроагрегат, представленный на схеме, оснащён комплексным оборудованием с последовательным соединением. В его состав, помимо радиально-осевой турбины, входят синхронный генератор, автоматический регулятор, вихревой колёс и кольцо напорного водосброса. Вращение гидротурбины и генератора осуществляется через эластичную муфту и вихревой колёс, что обеспечивает стабильную и безвибрационную передачу крутящего момента.

Канал «Болга–Босган» малой гидроэлектростанции «Октябрь», являющийся основным источником водоснабжения станции и её агрегата, вследствие структурного износа обеспечивал производство электрической мощности лишь до 22 кВт. Проектный напор канала составляет 7 метров. Ширина канала 7 метров, глубина соответствует диаметру 1200 мм, а расход воды достигает до 18 м<sup>3</sup>/с. Ранее этот канал использовался для орошения земель колхоза имени Карла Маркса, совхоза «Туркменистан» и частично земель Вахшского района. В последующий период малая гидроэлектростанция «Октябрь» перешла в собственность частного предпринимателя, который организовал работы по ремонту и восстановлению данного энергетического объекта.

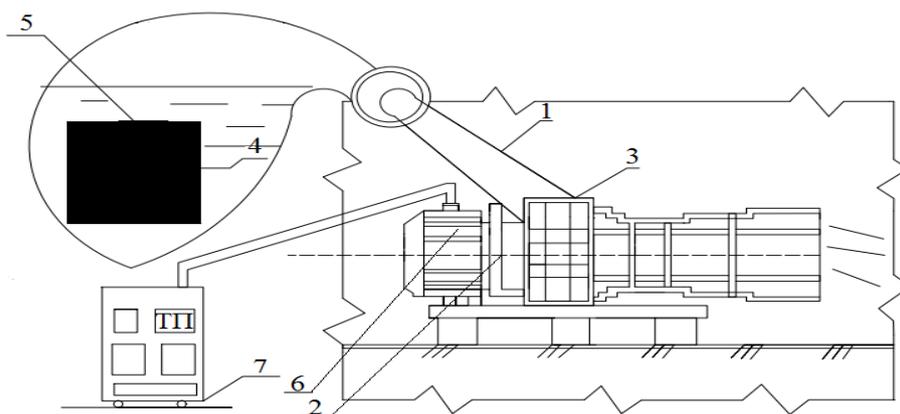


Рисунок 15 – Конструкция малой гидроэлектростанции «Октябрь»

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.

## **ВЫВОДЫ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В процессе выполнения диссертационной работы были получены следующие научные результаты:

1. Одним из основных и целенаправленных способов повышения надёжности аварийных электрических устройств в энергетических объектах, включая гидроэлектростанции, является строительство и реконструкция малых гидроэлектростанций, направленных на решение важных и сложных научно-технических задач.

2. Основное качество энергоснабжения обеспечивается с помощью преобразователей гидроэлектростанции, которые создают условия для стабильной частоты и амплитуды выходного напряжения.

3. Для проверки технического состояния и оценки работоспособности электрических устройств разработан метод, основанный на анализе взаимосвязей с гидравлическими, тепловыми и электрическими параметрами, с использованием сравнения расчетных значений, полученных с помощью математических моделей.

4. Результаты оценки работоспособности электрических устройств в режиме онлайн передаются в пульт управления, контролирующей работу электростанции, что особенно важно для отдалённых районов Таджикистана.

5. Внедрение диагностической системы и связь с центральным пультом управления создают условия для дистанционного обслуживания малой гидроэлектростанции без привлечения обслуживающего персонала.

6. Развитие строительства малых гидроэлектростанций в Таджикистане постоянно растёт, а их суммарная установленная мощность составляет 25,5 МВт (или 25,5 млрд кВт·ч выработки). Реконструкция малой гидроэлектростанции «Октябрь» позволит ежегодно производить около 595 680 кВт·ч ( $\approx 595,7$  МВт·ч) электроэнергии, что может обеспечить энергией близлежащий жилой микрорайон, мобильное механизированное строительное подразделение №150 и гостиницу, а также служить резервным источником для областной больницы имени Бурии Воҳидова.

7. При монтаже гидроузла малой гидроэлектростанции необходимо тщательное изучение местных условий для предотвращения природных рисков, таких как оползни, селевые потоки и лавины, характерных для территории Таджикистана.

8. Для повышения надёжности и энергетической эффективности малой гидроэлектростанции целесообразен выбор генератора с постоянными магнитами.

9. Предложенный алгоритм определения коэффициента ускорения турбины обеспечивает точное моделирование гидравлической части гидроагрегата и согласование расчетных значений мощности с экспериментальными данными.

10. При работе малой гидроэлектростанции в режиме постоянной мощности отпадает необходимость в использовании гидравлического регулятора, а также в характеристиках насоса и гидравлических параметрах трубопроводной арматуры.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ

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 муҳаррики 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 барқии 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 05.14.02 - Неругоҳҳои барқӣ ва системаҳои электроэнергетикӣ пешниҳод шудааст.

**Калидвожаҳо:** 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 нури 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 қори неругоҳҳои барқи обии хурд мебошад, ки ба воситаи таҳлили речаи қори 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, қори 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 қори 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 қори 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, ҷаҳор боб, ҳулосаҳои асосӣ, рӯйхати адабиёт (135 номгӯ) ва замимаҳо иборат мебошад. Миқдори саҳифаҳои рисола 139 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 05.14.02 - 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.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, основных выводов, списка использованной литературы (135 наименований) и приложений. Общий объём диссертации составляет 139 машинописных страниц, включая 31 рисунок и 9 таблиц.

## ANNOTATION

**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 05.14.02 – 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 comprises an introduction, four chapters, main conclusions, a list of references (135 titles), and appendices. The total volume of the dissertation is 139 typewritten pages, including 31 figures and 9 tables.

Ба чоп 27.06.2025 имзо шуд. Андоза 60x84 1/16.  
Қоғаз офсетӣ. Адади нашр 100 нусха.  
Дар маркази инноватсия ва парки технологии ДЭТ чоп шудааст.  
Ҷумҳурии Тоҷикистон, вилояти Хатлон, ноҳияи Кӯшонӣён, шаҳраки  
Бохтариён, кӯчаи Н. Хусрав, 73.

Подписано к печати 27.06.2025 Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Тираж 100 экз.  
Отпечатано в инновационном центре и технологическом парке ИЭТ.  
Республика Таджикистан, Хатлонская область, р. Кушонӣён, Дж.п.г.т.  
Бохтариён, улица Н. Хусрава, 73.