

**ФАН ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ТАРАҚҚИЁТИ**
**РАЗВИТИЕ НАУКИ И
ТЕХНОЛОГИЙ**



2
2025



Тахририят ҳайъати раиси:

СИДДИҚОВА С.Ғ. –

Бухоро муҳандислик-технология институти ректори

Муовини:

НИЗАМОВ А.Б. –

БухМТИ илмий ишлар ва инновациялар бўйича проректори

Тахрир ҳайъати:

МУҚИМОВ К.М. – ЎзР ФА академиги (ЎЗМУ)

ЖАЛИЛОВ А.Т. – ЎзР ФА академиги (Тошкент кимё-технология ИТИ)

НЕГМАТОВ С.Н. – ЎзР ФА академиги (“Фан ва тараққиёт” ДУК)

БАҲОДИРОВ Ғ.А. – т.ф.д., профессор, ЎзР ФА бош илмий котиби

ХАМИДОВ О.Х. – иқтисод фанлари доктори, профессор (БухДУ)

ЖАЛИЛОВ Т.Қ. – иқтисод фанлари доктори (DSc) (ТКТИ)

МУХТАРОВ Н.Ш. – техника фанлари доктори (DSc) (“Ўзбекнефтегаз” АЖ)

ТУХСАНОВ Х.А. – иқтисод фанлари доктори (DSc) (“Ўзбекнефтегаз” АЖ)

МАДИЕВ Р.Х. – техника фанлари доктори (DSc) (“Шуртан ГKM” МЧЖ)

АДИЗОВ Б.З. – техника фанлари доктори (DSc), к.и.х., ЎзРФА УНКИ

ХУРМАМАТОВ А.М. – техника фанлари доктори, профессор, ЎзРФА УНКИ

СОБИРОВА Н.К. – филология фанлари номзоди, доцент, ЎЗМУ

ҒАФУРОВ Д.О. – Бухоро МТИ ёшлар масалалари ва маънавий- маърифий ишлар бўйича биринчи проректори ф.ф.ф.д (PhD)

ҚУРБОНОВ Ж.М. – техника фанлари доктори, профессор (Самарқанд ИСИ)

САИДОВ С.Б. – Бухоро МТИ молия ва иқтисод ишлари бўйича проректори

ШАРИПОВ М.З. – физика-математика фанлари доктори (DSc), профессор

АСТАНОВ С.Х. – физика-математика фанлари доктори, профессор

РАХМОНОВ Х.Қ. – техника фанлари доктори, профессор

ВОХИДОВ М.М. – техника фанлари доктори, профессор

ЖЎРАЕВ Х.Ф. – техника фанлари доктори, профессор

САДУЛЛАЕВ Н.Н. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

МАЖИДОВ Қ.Х. – техника фанлари доктори, профессор

ФОЗИЛОВ С.Ф. – техника фанлари доктори, профессор

ИСАБАЕВ И.Б. – техника фанлари доктори, профессор

АБДУРАХМОНОВ О.Р. – техника фанлари доктори, профессор

НИЗОМОВ А.Б. – иқтисод фанлари доктори, профессор

ЖУМАЕВ М.Р. – физика-математика фанлари доктори (DSc), профессор

ЮНУСОВА Г.С. – фалсафа фанлари доктори (DSc), профессор

ЖЎРАЕВА М.М. – филология фанлари доктори (DSc), профессор

ТЎХТАЕВА З.Ш. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

МАХМУДОВ М.Ж. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

ХАЙИТОВ Р.Р. – техника фанлари доктори (DSc), к.и.х.

БОЗОРОВ Ғ.Р. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

БОЛТАЕВ З.И. – физика-математика фанлари доктори (DSc), профессор

ОЛТИЕВ А.Т. – техника фанлари доктори, (DSc)

ЖАЛИЛОВ Р.Б. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

МАХМУДОВ М.И. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

МАЖИДОВА Н.Қ. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

АХМЕДОВ В.Н. – кимё фанлари номзоди, профессор

МАХМУДОВ Р.А. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

ПУЛАТОВА М.И. – физика-математика фанлари номзоди, профессор

Бош муҳаррир:

ДЎСТОВ Ҳ.Б. – кимё фанлари доктори, профессор

Муҳаррирлар:

БАРАКАЕВА Д.Ф., ОРТИҚОВА С.Ж., ИСТАМОВА Г.Х.

Мусахҳих:

АРТИКОВА М.М.

ФАН ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАР ТАРАҚҚИЁТИ

ИЛМИЙ – ТЕХНИКАВИЙ ЖУРНАЛ

РАЗВИТИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Журнал Ўзбекистон матбуот ва ахборот агентлиги Бухоро вилояти бошқармасида 2014 йил 22-сентябрда № 05-066-сонли гувоҳнома билан рўйхатга олинган

Муассис:

Бухоро муҳандислик-технология институти

Журнал Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги ОАК Раёсатининг 2017 йил 29-мартдаги №239/5-сонли қарори билан диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий наشرлар рўйхатига киритилган. 2019 йилда Ўзбекистон Республикаси ОАК Раёсатининг қарорлари билан қайта рўйхатдан ўтказилган.

Тахририят манзили:

200100, Бухоро шаҳри, Қ. Муртазоев кўчаси, 15-уй, Бухоро муҳандислик-технология институти

Тел: 0(365) 223-92-40

Факс: 0(365) 223-78-84

Электрон манзил:

E-mail: fannt_jurnal@umail.uz

Журналнинг тўлиқ электрон варианты билан

<https://journal.bmti.uz/>

сайти орқали танишиш мумкин.

Ушбу журналда чоп этилган материаллар тахририятнинг ёзма рухсатисиз тўлиқ ёки қисман чоп этилиши мумкин эмас. Тахририятнинг фикри муаллифлар фикри билан ҳар доим ҳам мос тушмаслиги мумкин. Журналда ёритилган материалларнинг ҳаққонийлиги учун мақолаларнинг муаллифлари ва реклама берувчилар масъулдирлар.

МУНДАРИЖА - СОДЕРЖАНИЕ – CONTENT

ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИЯ ВА ЖИҲОЗЛАР	
Sharipov N.Z. Gilos danagini chaqishga sarf bo‘ladigan kuchni tadqiq qilish	4
Обитов Н.М., Орипов З.Б. Повышение литейные свойства магналиев	8
Teshaboyev O.A. Momiqni tashuvchi va tozalovchi to‘rli yuzasi tebranuvchi vintli konveyer yuklanishlari va aylanish chastotalarini tajribada aniqlash	13
Oripov Sh., Mamakhonov A.A., Orifjonov S. Review of performance and applications of hybrid wind turbines	18
Беккулов Ж.Ш., Норбоев О.Н. Устройство для быстрого и непрерывного измерения влажности порошкообразных продуктов	25
Hojiyev T.S., Samiyev K.A. Passiv quyosh isitish tizimiga ega turar-joy binosi tashqi devorlarining issiqlik izolyatsiya qatlami turini tanlash	28
КИМЁ ВА КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯЛАР	
Рахимов Ф.Ф., Джунаидов Х.Х., Сафарова Р.У. Монометилломочевина ва тетраэтоксисилан асосидаги олигомернинг квант-кимёвий ҳисоблашлари	35
Hojiyeva F.J., Amonov M.R. Ohorlovchi komponentlar tarkibini ishlab chiqishning fizik-kimyoviy asoslari	39
Abdiraximov I.E. Gazlarni qayta ishlashda gidrat hosil bo‘lishini oldini olish usullari	43
Maxmudov M.J., To‘xtayev N.N. Metil uchlamchi butil efiri ishlab chiqarishning zamonaviy texnologiyalarini tahlili.	47
Jo‘rayeva L.R. N-metilpirrolidonning xom-ahyoga nisbatan har xil nisbatda olinuvchi selektiv tozalangan rafinatlar tarkibidagi polisiklik aromatik uglevodorodlar tarkibini aniqlash	54
Xo‘jaqulov A.F., Toshov M.S. Dizel moylarining kolloid-kimyoviy xossalari turli funksional qo‘ndirmalar ta’sirini tadqiq etish	57
Xo‘jaqulov A.F., Raximov Z.Z. Kolloid sistemalarning molekulyar kinetik xossalari asosida transformator moylarini tahlili	64
Tashpulatov X.Sh., Hamdamova D.R. Bo‘yoq sezgir quyosh elementlari uchun geteroeptik mis(I) kompleks birikmalarining sintezi va tadqiqoti.	69
Eshqurbonov F.B., Abduraimov J.B. Diglitsidilkarbamid va dimetilolkarbamid asosida burg‘ulash eritmalari olish usullarini tadqiq qilish	74
Zokirov X.T., Abdullaev O.G., Toshmatov Y.R. Prospects for using waste generated at “Ferganaazot” JSC as a filler in the production of gypsum dry construction mixtures	78
Axmedova O.B., Axmedova Sh.U. Absorbent kompozitsiyalarining absorbsiya va desorbsiya jarayonlaridan keyingi fizik-kimyoviy xossalari	83
МАШИНАСОЗЛИК ВА ЭНЕРГЕТИКА	
A‘zamov S.S. Investigation of electromagnetic current transformer performance characteristics for measuring and controlling the reactive power dissipation of a short-circuited rotor asynchronous motor	89
Xushiyeve S.M., Mamadiyev X.N., Davirov A.Q. Nosimmetrik rejimlarni kuch transformatorining samaradorligiga ta’siri	94
Muratova Z.A., Juraev Z. Tibbiy maqsadlarda noto‘qima mato ishlab chiqarishda intellektual texnologiyalarining dolzarbligi va muammolari.	100
Жалилов Р.Б., Камалов У.У., Караев А.Т. Анализ действующих и исследование современных инновационных систем теплоснабжения жилых массивов городов	106
Maxmudov M.I., Sayfiyev H.O., Nurov S.S. Fotoelektrik batareyalarning energetik parametrlarini monitoring va diagnostika tizimi uchun qurilma ishlab chiqish	116

Xamzayev A.A., Xaydarov Sh.B., Usmonov M.Z., Niyetbaev A.D. Karyer bir cho‘michli ekskavatorlarning ish rejimlarini optimallashtirish	122
Narzullayev B.Sh., Boboqulov J.S. Qo‘zg‘atish tokini monitoringgi asosida sinxron generatorlarni energiya samaradorligini oshirish usullarining tahlili.	127
Бабаназарова Н.К., Хусенов Д.Р. Анализ расхода электроэнергии на производственные нужды, на примере газотранспортной системы	135
ИНФОРМАТИКА ВА АХБОРОТ – КОММУНИКАЦИОН ТИЗИМЛАР	
Мухамедиева Д.Т., Раупова М.Х. Квантовые вычисления на основе специального язык программирования «Qiskit».	140
Муратова З., Жураев З. Цифровизация систем управления при производстве нетканых материалов медицинского назначения путем переработки шелковых отходов	144
Мамедов Р.А. Разработка математической модели гидрокинетической турбины, адаптированной для эффективной работы в свободнопоточных водотоках	150
Shadmanov I.U., Adizova Z.M., Nosirova Z.E. G‘ovak jismlarni saqlashda issiqlik va namlik ko‘chish jarayonlarini bashoratlash uchun matematik model va sonli algoritmlar	162
Ibragimov R.R., Jumayev J., Narziyev M.S., Qo‘ldosheva F.S. To‘liq faktorli eksperiment usulida meva va sabzavotlarni sterilizatsiyalash jarayonini modellashtirish	168
Qo‘ziyev Z.E. Реактив гидротурбинали микро гидроелектр стansiyani matematik modellashtirish . .	175
Abdurazakov N. Robust residential load forecasting with manual feature engineering	181
O‘lmasov Q.N. Quyosh fotopanellarini «MATLAB/SIMULINK» tizimida modellashtirish	188
Хаитов Б.У., Махмудов М.Ш. Применение морфометрических данных рельефа в оценке благоустройства городских территорий	196
Safarov A.B., Sayfiddinov K.E., Qahhorov M.M. Shamol turbinasini "ANSYS FLUENT" tizimida modellashtirish	202
ОЗИҚ-ОВҚАТ САНОАТИ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ	
Ergasheva X.B., Elmurodova A.S., Shadiyeva M.SH. O‘zbekistonda yetishtirilgan sholi navlarining texnologik tavsifi va uni qayta ishlash mahsulotlarining kimyoviy tarkibi	215
Шодиев Б.М., Хакимов Ш.Ш. Маҳаллий махсар уруғларидан олинган мойларни рафинациялаш технологик шароитлари	220
Садуллаев С.Х., Мирзаев Ж.Д., Равшанов С.С. Тритикале ва буғдой унлари турли нисбатларининг хамир реологик хоссаларига таъсирини тадқиқ қилиш	225
Мухаммадиев Б.Т., Турсунова Н.Н. Структура отдела качества и безопасности пищевых продуктов	230
Ашурова М.З., Сулайманова Г.Х., Ганиева Н.Х. Изменение качественного и количественного состава эфирных масел пряной зелени при тепловой кулинарной обработке	234
Barakayev N.R., Kamolova M.X., Sayidaxmedov R.R., Rajabov A.N. Bug‘doy donlari va don mahsulotlarini qayta ishlash jarayonlarini zamonaviy tahlili	239
Oltiyev A.T., Bozorova D.N., Hasanova A.Sh. Biokatalizatorlarning yangi avlodi yordamida yog‘larni pereeterifikatsiya qilish texnologiyasini takomillashtirish	243
Turg‘unpo‘latova Sh.M., Saribayeva D.A. Pastila mahsulotlari assortimentini kengaytirishning ilmiy asoslari	248
Ravshanov S.S, Nurmatov I.R, Tursunxodjaev N.T, Maksumxodjaeva K, Raxmonov Q.S. Bug‘doy donini un tortishga tayyorlashda suv qattiqligining un chiqish unumiga va texnologik xossalariga ta’siri	252
Turg‘unov Sh.X., Mallabayev O.T., Saribayeva D.A. Chicorium (hindibo) o‘simligi tarkibidagi vitaminlar tadqiqi	258
Мухамедова М.Э. Нетрадиционное сырьё в производстве диабетических сухарей.....	262

ТЎҚИМАЧИЛИК ВА ЕНГИЛ САНОАТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ

Мўминов Қ.М., Хамраева С.А. Кўйлакбоп матода жойлашган танда ва арқоқ ипларининг параметрларини тадқиқ этиш.	269
Muhammedova M.O. Inson oyoq panjasining antropometrik tahlili va uning o'zgaruvchanligini tavsiflovchi statistik parametrlar.	273
Gafurova N.T., Hasanova M.E. Bolalar kiyimlariga qo'yiladigan talablarni shakllantirish	278
Асадова С.С., Хамроева М.Р. История драпировки одежды и ее значение сегодня	284
Набиджанова Н.Н., Насирова М.Б. Типовийдан фаркланувчи эркалар қоматларига кийим ишлаб чиқариш учун тўқима матоларининг физик-механик хусусиятларини ўрганиш ва таҳлил қилиш	289
Ortiqov Z.U., Sarimsakov.O.Sh. Paxta xomashyosiga ishlov berishning mexatronik namlash mashinalari va agregatlari	293
Jo'rayeva M.A., Nabidjonova N.N. Maktabgacha ta'lim muassasidagi tarbiyalanuvchilar maxsus kiyimi uchun tanlangan matoning boshqa matolardan afzaliklari	299
Sharibaev N.Yu., Homidov Q.A. Matoning sifatini tekshirishda hosil bo'ladigan qarshilik kuchlarini mexanik qoniniyat asosida nazariy taxlil qilish	302
Гафурова Н.Т., Хужаева М.Э. Разработка топографической карты специальной одежды для прядильщиков	308
Ражабова Г.Ж. Тез ўзгарувчан моданинг атроф-муҳитга таъсири	312
Tursunova Z.N. Shaxsning umumiy biosotsial strukturasi	317
Умаров А.А., Кенжаева М.И., Ортиқова К.И., Усмонов Ш.К. Аррали жин ишчи камерасида тезлатгичнинг пахта оқимиға таъсир қилувчи кучларнинг назарий таҳлили . . .	321
Mamadaliyeva Z.Y., Nabidjonova N.N. Maxsus kiyimlar va ularning kelib chiqish tarixi, suv o'tkazmaydigan matolarning xususiyati va tahlili	326
Tursunov Ch.A., Qarshiyev B.E., Djamolov R.K. Tukli chigitni pnevmo-mexanik saralash mashinasida chigitlarni titkilab donadorligini oshiruvchi tishli diskli ta'minlash valigining o'lchamlarini aniqlash	330
Sayitqulov S.O., Salomov A., Рамазонов С. Arrali tola ajratgich mashinasining chigit tarog'ining ekspremental tadqiqi	335
Худойбердиев М.Р., Очиллов Т.А., Ёдгоров С.Қ. Турли селекция навларидан олинган иплар нотекислик кўрсаткичларининг ўзгариши.	338
Наврузов Н., Якубов К., Ахмедов К., Уразматова М. Ишчи камерадаги пахтанинг дастлабки оқим ҳаракати динамикаси.	343
Ismoyilov I.B., Qo'ldoshev E.I., Ismoyilov F.B., Qayumov J.A. Jun tolasi tarkibidagi begona aralashmalarni tozalash mashinasining texnologik parametrlarini nazariy asoslash	347
Qo'ldoshev E.I., Ismoyilov I.B., Ismoyilov F.B. O'zbekistonda yetishtirilayotgan jun xomashyosi maxsuldorligi va sifat ko'rsatgichlari.	354
Бебутова Н.Н., Комилова Х. Разработка коллекции спецодежды для работников АПК с применением компьютерной графики «COREL DRAW».	359
АНИҚ ВА ИЖТИМОЙ-ИҚТИСОДИЙ ФАНЛАР	
Hikmatov N.I. Energiya samaradorli qurilish uchun zamonaviy issiqlik himoyalovchi materiallar	364
Вахитов М.М., Вохидов И.М., Нозимов У.А. Техническое состояние поверхностей фасадов исторического здания японского госпиталя в г. Кагане.	368
Mirzayev Sh.R., Ismatov S.S. The influence of traditions, social and climatic factors on the tectural design of multi-storey residential buildings: the case of the city of Bukhara	374
Баракатова Д.А. Исҳоқхон тўра ибрат илмий мероси. “Мезон ун-низо” асари ҳақида . .	377
Азимова Н.Ф. Лев толстой ижоди. “Анна Каренина” романи ҳақида	381

12. Иванов И.И. “Очистка отходов текстильной промышленности”. — Москва: Научное издательство, 2023.
13. Петренко А.П., Сидоров В.А. “Стандартизация переработки шелковых отходов”. — Journal of Textile Engineering, 2021.
14. Lee M., Choi S. “Energy-efficient methods in textile recycling”. — Seoul: Energy Research Press, 2020.
15. Gupta R., Singh A. “Automation in silk waste recycling using SCADA systems”. — Journal of Industrial Automation, 2021.
16. Wang T., Zhou L. “Energy Efficiency in Silk Waste Processing”. — Green Chemistry Journal, 2021.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИДРОКИНЕТИЧЕСКОЙ ТУРБИНЫ, АДАПТИРОВАННОЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ В СВОБОДНОПОТОЧНЫХ ВОДОТОКАХ

Мамедов Р.А.

Бухарский государственный технический университет.

Аннотация. В данном исследовании представлены результаты оценки ресурсов валового гидроэнергетического потенциала ирригационной системы Аму-Бухарского канала, разработки и моделирования микрогидроэлектростанции способной эффективно работать в низконапорных водотоках. Оптимальный угол наклона лопастей нижнебойного водяного колеса равен $\beta=37^\circ$, был определен на основании геометрических закономерностей. В результате моделирования было установлено, что при различных скоростях потока воды максимальное значение коэффициента полезного действия нижнебойного водяного колеса составляет 32 %.

Ключевые слова: гидроэнергетический потенциал, Аму-Бухарский канал, водяное колесо, коэффициент полезного действия, оптимальный угол наклона лопасти, расход потока воды.

ERKIN OQUVCHI SUV OQIMLARIDA SAMARALI ISHLATISH UCHUN MUVOFIQLANGAN GIDROKINETIK TURBINANING MATEMATIK MODELINI ISHLAB CHIQISH.

Mamedov R.A.

Buxoro davlat texnika universiteti.

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda Amu-Buxoro kanali irrigatsiya tizimining yalpi gidroenergetika salohiyati resurslarini baholash, past bosimli suv oqimlarida samarali ishlashgaydigan mikro gidroelektr stansiyasini ishlab chiqilgan va modellashtirish natijalari keltirilgan. Geometrik qonuniyatlarga asoslanib, suv charxpalagi parraklarining optimal o'rnatish burchagi $\beta=37^\circ$ ga tengligi aniqlandi. Modellashtirish natijasida turli xil suv tezliklari oqimlarida suv g'ildiragi samaradorligining maksimal qiymati 32% ni tashkil etishi aniqlandi.

Kalit so'zlar: gidroenergetik salohiyat, Amu-Buxoro kanali, suv charxpalagi, foydali ish koeffitsiyenti, parrakni maq'bul o'rnatish burchagi, suv oqimi sarfi.

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF A HYDROKINETIC TURBINE ADAPTED FOR EFFICIENT OPERATION IN FREE-FLOW WATERCOURSES

Mamedov R.A.

Bukhara state technical university.

Annotation. This study presents the results of the assessment of the gross hydropower potential resources of the Amu-Bukhara Canal irrigation system, the development and modeling of a micro hydroelectric power station capable of operating efficiently in low-pressure watercourses. The optimal angle of inclination of the blades of the bottom-running water wheel equal to $\beta=37^\circ$ was determined based on geometric patterns. As a result of modeling, it was found that at different water flow rates, the maximum value of the efficiency of the bottom-running water wheel is 32%.

Key words: hydropower potential, Amu-Bukhara canal, water wheel, efficiency, optimal blade angle, water flow rate.

Введение. В настоящее время во всем мире быстрое увеличение потребления электроэнергии, связанное с ростом населения нашей планеты, вызвало истощение природных топливных ресурсов, а также глобальное изменение климата, связанное с выбросами углекислого газа в атмосферу за счёт сжигания топливных ресурсов в целях производства электроэнергии [1]. Для решения данных проблем необходим рост доли производства электроэнергии из экологически чистых, возобновляемых источников энергии [2].

В период с 2010 по 2023 года доля возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе увеличилась на 10 процентов и на сегодняшний день составляет около 30%, при этом в 2022 году доля возобновляемых источников энергии увеличилась на 1,5 процентов [3]. На рисунке 1 представлена доля возобновляемых источников энергии по состоянию на 2022 год.

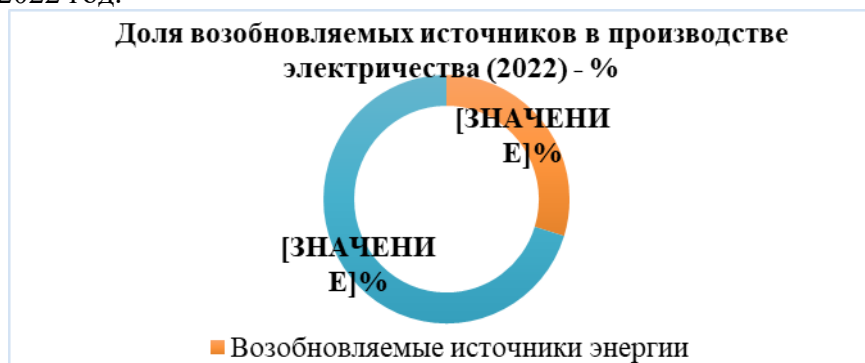


Рис.1. Доля возобновляемых источников энергии по состоянию на 2022 год

В мировом энергобалансе традиционно высока доля возобновляемых источников энергии в странах с огромным гидроэнергетическим потенциалом, таких как Бразилия, Колумбия, Канада, Новая Зеландия, Швеция и Норвегия, на долю которых приходится более 2/3 вырабатываемой электроэнергии (рис.2) [4].



Рис.2. Доля возобновляемых источников энергии в странах с огромным гидроэнергетическим потенциалом

В остальных странах снижение затрат на производство электроэнергии и значительное увеличение доли возобновляемых источников энергии осуществляется за счёт солнечных и ветряных электростанций. К примеру, в Европе доля возобновляемых источников энергии в период с 2010 по 2022 годы выросла на 18 процентов достигнув отметки 43%, а также с сильным ростом в Великобритании (+36 процентов до 43%), Нидерландах (+30 процентов до 40%), Германии (+27 процентов до 44%) и Турции (+15 процентов до 42%). Также значительный рост доли возобновляемых источников энергии наблюдается в Австралии на 22 процентов до 31%, на 14 процентов в Чили до 55%, на 12

процентов в США (до 22%), Китае (до 31%), Японии (до 22%) и Таиланде (до 18%) и на 8 процентов в Южной Африке (до 10%). На рисунке 3 приведена тенденция роста доли возобновляемых источников энергии во всем мире в период 2000-2022 года [4].

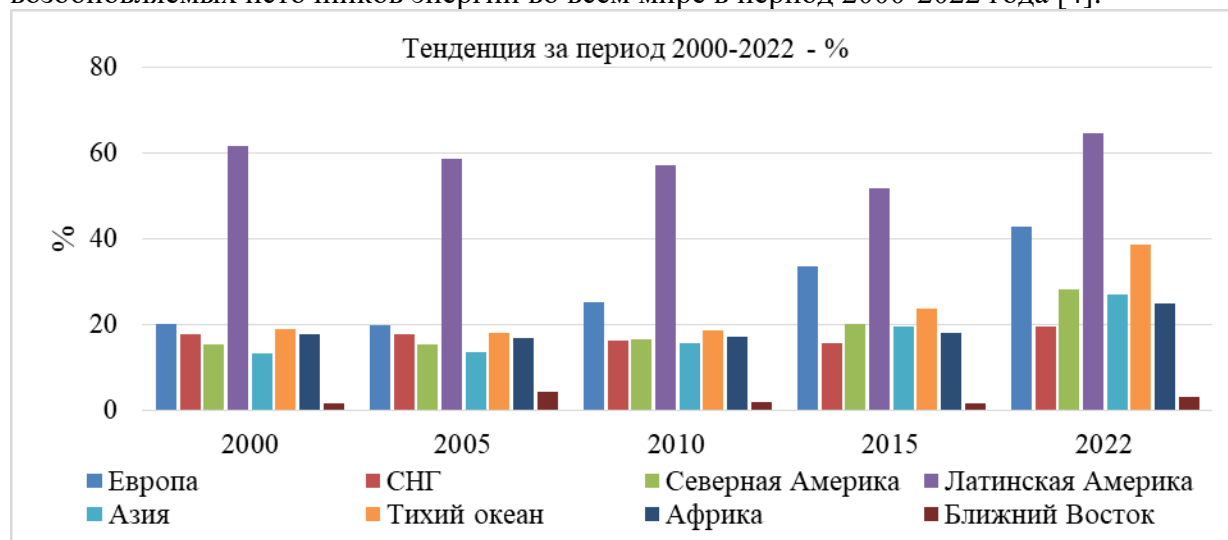


Рис.3. Тенденция роста доли возобновляемых источников энергии в мире в период 2000-2022 года

По данным всемирной организации International Hydropower Association (ИНА) по состоянию минувшего 2022 года в пятерку лидеров по установленной мощности вошли Китай с установленной мощностью 415 ГВт, Бразилия с 110 ГВт, США 102 ГВт, Канада 83 ГВт и Россия 56 ГВт, а также на долю нашей республики пришлось 2081 МВт установленной мощности в сфере гидроэнергетики [5].

В числе немаловажных комплексов в гидроэнергетической сфере Республики Узбекистан является ирригационная система Аму-Бухарского канала, спланированный на территории Бухарской области. Оросительная система Аму-Бухарского канала является одним из разветвлений реки Амударьи проходящей через территорию Республики Туркменистан и демонстрирует один из важнейших комплексов на территории Узбекистана, предназначенная для снабжения водой Бухарской и части Наваинской областей, начинающийся во входном гидроузле «Двойник». Для эффективного применения микрогидроэлектростанции требуется сперва оценка ресурсов валового гидроэнергетического потенциала и свойств энергии потока воды в исследуемой местности. Валовый гидроэнергетический потенциал Аму-Бухарского канала впервые был оценён в научных исследованиях сотрудников Бухарского инженерно-технологического института, составив 200,2 ГВт·ч. Также в ходе оценки гидроэнергетического потенциала была построена схема (Рис.4) расположения магистральных и межхозяйственных каналов Бухарской области, построенная при помощи линейной схемы, взятой из управления Аму-Бухарского машинного канала, а также информации, полученной при помощи спутниковых данных на основании приложения Google Earth Pro [6].

Обзор литературы. Известно, что для обеспечения эффективной работы гидротурбин, важную роль оказывают их рабочие колеса. Гидротурбины подразделяются на активные, реактивные, винты Архимеда и водяные колёса.

Мощность гидротурбины характеризуется расходом воды, протекающей через турбину и рабочим напором. На рисунке 5 показан график, показывающий область применения различных видов турбин, на которую следует ориентироваться, если необходимо улучшить выходную мощность и экономические показатели гидроэнергетики с очень низким напором. Из графика видно что, для эффективной работы при малых потоках воды (рек, оросительных каналов) широкое применение получили водяные колёса [7]

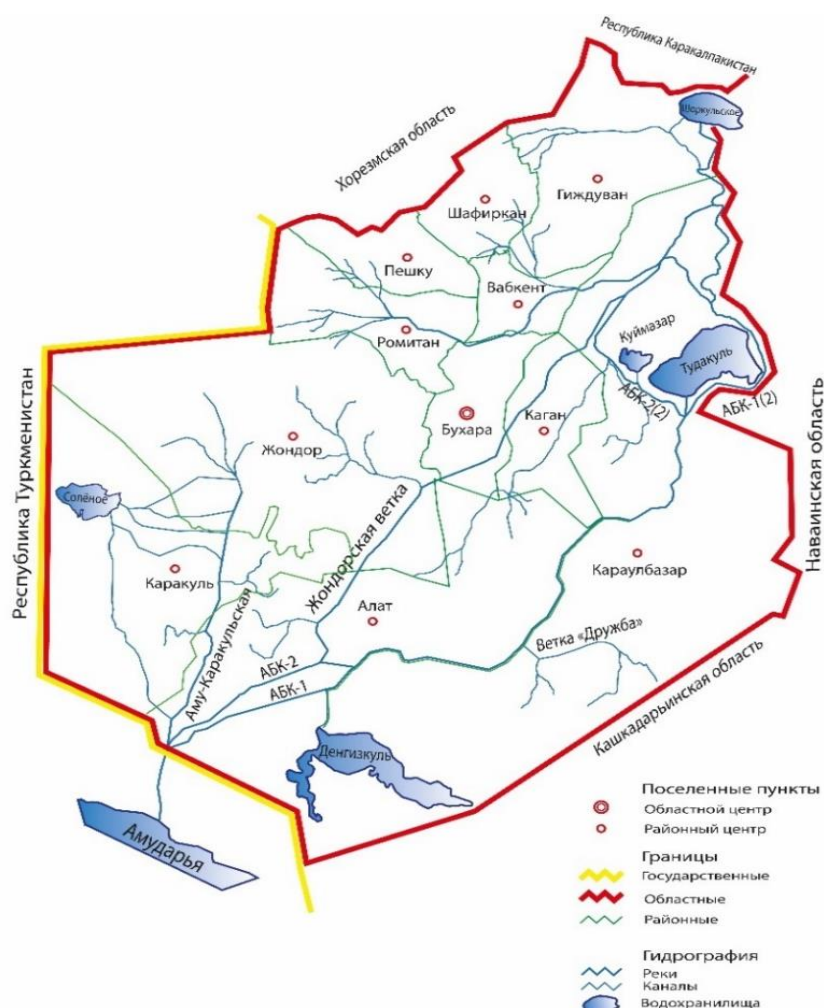


Рис.4. Схема расположения основных магистральных и межхозяйственных каналов Бухарской области

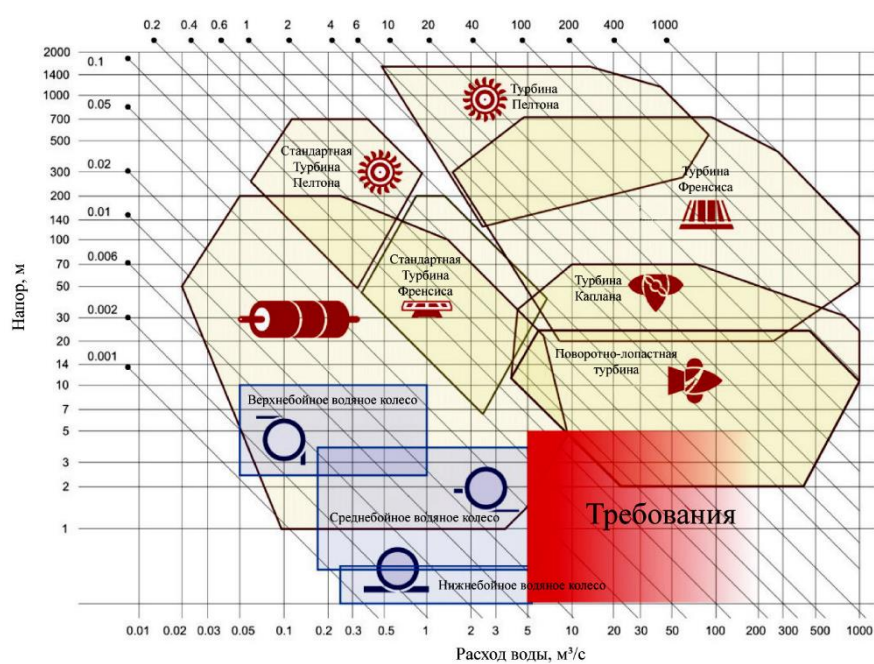


Рис.5. Область применения различных видов турбин

В данном анализе представлены научные исследования, проведенные как в мировой практике, так и в нашей республике, посвященные разработке микрогидроэлектростанций с использованием водяных колёс.

В работе Дж.Р. Ганди и др. описана гидроэнергетическая установка, в которой водяное колесо размещено на плавучем основании. В этой конструкции использован тихоходный электрогенератор, что позволило обеспечить эффективное функционирование гидроэнергетической установки в условиях низкого напора водотоков [8]. Г. Мюллер и др. своё исследование посвятили вопросам эффективности плавучих водяных колёс и их воздействие на окружающую среду, а также пути по улучшению этой ситуации. Основными недостатками водяного колеса является низкий КПД и малая скорость вращения около 4 - 6 об/мин, что и послужило сокращению использования данного типа гидроэлектростанций. Исследователями было предложено увеличить количество лопастей с 8 до 24, что послужило увеличению эффективности от 25% до 42%. Также было установлено, что лопасти прямоугольной формы, полностью погруженные в воду, обладают коэффициентом сопротивления (drag factor) $C_d=2$, что также увеличивает эффективность от 10% до 46%. Влияние на окружающую среду вероятно минимальны, что можно изучить из исторической литературы. Можно сделать вывод, что водяные колёса могут стать решением для децентрализованного производства электроэнергии в отдалённых районах за счёт своей простоты и низкой стоимости [9]. В 2018 году в Саутгемптонском университете со стороны Э. Куарантаа и Г. Мюллер была проведена серия модельных испытаний с целью установления и анализа рабочих характеристик экспериментов водяных колёс Sagebien и Zuppringer при напоре воды от 0,3 до 1,5 м, а также даны рекомендации по их применению. Максимальный КПД для обоих типов колёс достиг 84%. Также был установлен максимальный расчётный расход воды 1,2 м³/с на метр ширины, а тангенциальная скорость колеса не должна превышать 1,2 м/с [10]. Г. Мюллер и К. Волтер посвятили своё исследование водяным колёсам типа Zuppringer, эффективно работающим в слаботочных водотоках с напором воды от 1,2-2,5 м, расхода воды 0,3-5 м³/с. Исследование показало, что водяное колесо диаметром 4,5-7,7 м, обладает скоростью вращения турбины 4-6 об/мин с установленной мощностью 3-100 кВт. При этом КПД данного водяного колеса составил 70-80%, что является отличным решением для выработки электроэнергии в слаботочных водотоках [11]. Д. Аданта и др. в своём исследовании разработали конструкцию нижнебойного водяного колеса. В данном исследовании были рассмотрены аналитические методы для определения количества лопастей из предложенных 6, 7, 8, 9 и 10 лопастей водяного колеса и работе при различных скоростях входящего потока воды 1 м/с, 3 м/с и 5 м/с. По результатам исследования, было установлено, что, водяное колесо является наиболее эффективным при скорости потока воды 1 м/с (эффективность 46%) и 5 м/с (эффективность 14%) [12]. Турнок и др. в своём исследовании разработали микрогидроэлектростанцию с плавучим основанием, предназначенную для работы в слаботочных водотоках. Было установлено, что эффективность данной конструкции не изменяется с изменением уровня воды, за счёт применения плавучего основания [13]. Д.Б. Кодиров разработал энергоэффективную микрогидроэлектростанцию для низконапорных водотоков. Предложена микрогидроэлектростанция, предназначенная для работы в низконапорных водотоках ирригационного канала. Исследователем были проведены технические и энергетические показатели водяного колеса, работающего при малых потоках воды следующим образом: Внешний диаметр колеса 2 м, внутренний диаметр 1 м, количество лопастей 12, скорость вращения 100 об/мин, при напоре в 180 мм конструкция вырабатывает 10 кВт мощности, напряжение 200-234 В, частота 50 Гц [14]. О.О. Бозаров в своей диссертации разработал микроГЭС с реактивным гидроагрегатом для сельскохозяйственных потребителей. Данная микроГЭС с реактивным гидроагрегатом обладает следующими техническими характеристиками: напор воды 2 м, расход воды 200 л/с, выработанная мощность 2,35 кВт,

выходное напряжение 210-220 В, частота 48-52 Гц [15]. М.М. Мухаммадиев и Б.У. Уришев представили конструкцию микрогидроэлектростанции, работающую при малых потоках оросительного канала, которая состоит из двух параллельных водяных колёс расположены на общем горизонтальном валу. Вал в свою очередь соединен с генератором при помощи ременной передачи. Согласно экспериментальным исследованиям конструкции, была установлена его мощность, которая составила около 5 кВт [16].

Из-за малого срока окупаемости и хорошей экологической устойчивости использование микрогидроэлектростанций с низким напором получили широкое применение во всем мире. Водяные колеса используются на объектах микрогидроэнергии с напором менее 6 м и расходом воды в несколько кубических метров.

Целью исследования является разработка математической модели и обоснование параметров микрогидроэлектростанции, адаптированной к низконапорным водотокам, для обеспечения локальных потребителей, расположенных вдали от централизованного электроснабжения.

Цель исследования заключается в создании математической модели и обосновании параметров микрогидроэлектростанции, предназначенной для использования в условиях низконапорного водотока. Это позволит обеспечить электроэнергией локальных потребителей, находящихся вдали от централизованных источников электроснабжения.

Задачи исследования: Оценка ресурсов гидроэнергетического потенциала ирригационной системы Бухарской области и обоснование возможности использования гидроэнергетических установок; анализ современного состояния разработки и использования низконапорных микрогидроэлектростанций; разработка и исследование математической модели, описывающей зависимость конструктивных размеров и энергетических параметров микрогидроэлектростанции от скорости потока воды; разработать микрогидроэлектростанцию, эффективно работающую в низконапорных водотоках; разработка алгоритма определения оптимального угла наклона лопастей на выходе из воды, позволяющего повысить эффективности микрогидроэлектростанции; разработка научных основ применения усовершенствованных электрогенераторов в микрогидроэлектростанциях, для обеспечения повышения надежности и бесперебойности электроэнергии.

Задачи исследования: Оценка валового гидроэнергетического потенциала ирригационной системы Бухарской области и обоснование возможности внедрения гидроэнергетических установок; анализ текущего состояния разработки и эксплуатации микрогидроэлектростанций в условиях низконапорного водотока; создание и исследование математической модели, отражающей зависимость конструктивных характеристик и энергетических параметров микрогидроэлектростанции от скорости потока воды; проектирование микрогидроэлектростанции, эффективно функционирующей в условиях низконапорного водотока; разработка алгоритма для определения оптимального угла наклона лопастей на выходе из воды с целью увеличения эффективности микрогидроэлектростанции; создание научных основ для применения усовершенствованных электрогенераторов в микрогидроэлектростанциях с целью повышения надежности и бесперебойности потребителей электроэнергии.

Методика расчета параметров микрогидроэлектростанции. Исходя из выявленных требований, была разработана следующая конструкция гидроэнергетической установки, адаптированной к низконапорным водотокам со скоростью потока воды 1-4 м/с [17]. На рисунке 6 представлен общий вид микрогидроэлектростанции типа нижнебойного водяного колеса.

Для теоретического обоснования применения микрогидроэлектростанции, для эффективной работы в низконапорных водотоках при скорости потока воды от 1 до 4 м/с, составим математическую модель нижнебойного водяного колеса с наружный диаметр

которого составляет 1 м. Схема геометрических параметров конструкции нижнебойного водяного колеса представлена на рисунке 7.

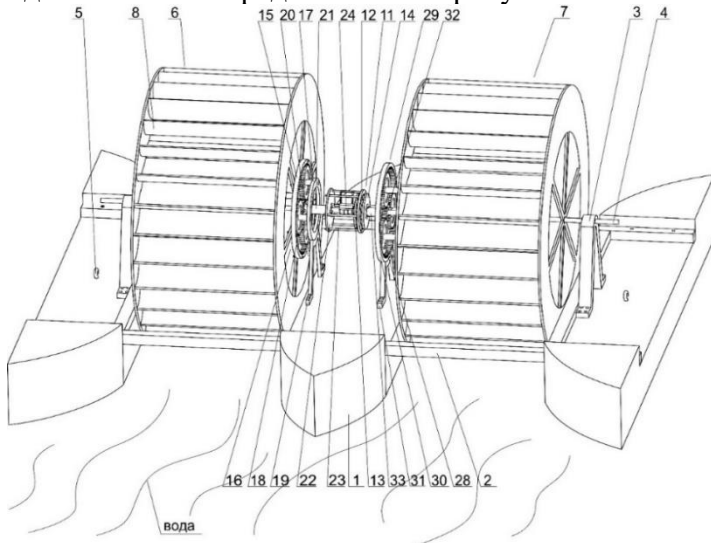


Рис. 6. Общий вид установки.

1 - поплавок; 2 - металлическая рама;
3 - опора; 4 - горизонтальный вал;
5 - крюк; 6, 7 - водяные колеса;
8 - лопасти; 9, 10 - цилиндрические подшипники; 11 - тихоходный магнитоэлектрический генератор;
12 - якорь; 13, 14 - индукторы;
16, 29 - планетарные редукторы,
21, 33 - фланцевые соединения;
22 - металлический диск, 24 - щетки с контактными кольцами

Согласно геометрическому расположению величины, наружного D_a и внутреннего D_i диаметров водяного колеса связано уравнением:

$$D_i = D_a - 2a \quad (1)$$

Высота лопасти водяного колеса "а" вычисляется исходя из расхода потока воды и внешнего диаметра нижнебойного водяного колеса. Из научных трудов следует, что для потока воды с расходом воды $Q \leq 0,5$ м³/с, принято данное уравнение [18]:

$$a = \frac{D_a}{4} \quad (2)$$

Линейная скорость водяного колеса определяется по следующей формуле [19]:

$$U = 2,33 \cdot \sqrt{H} = 2,33 \cdot \sqrt{\frac{v^2}{2 \cdot g}} \quad (3)$$

Частота вращения нижнебойного водяного колеса вычисляется по его наружному диаметру и линейной скорости [20]:

$$n = \frac{60 \cdot U}{D_a \cdot \pi} \quad (4)$$

U_a – линейная скорость, м/с;

Угловая скорость нижнебойного водяного колеса вычисляется при помощи следующего выражения:

$$\omega_M = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} = \frac{\pi \cdot n}{60} \quad (5)$$

где, n – число оборотов в минуту водяного колеса, об/мин;

Количество лопастей нижнебойного водяного колеса вычисляется по следующей формуле [21]:

$$z = \frac{D_a \cdot \pi}{t} \quad (6)$$

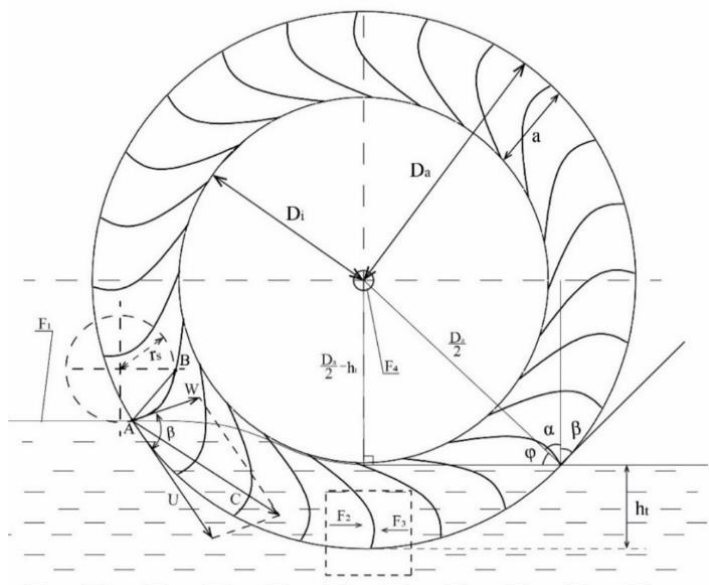


Рис.7. Схема геометрических параметров конструкции водяного колеса

Зависимость углов β и φ определяется с помощью следующих геометрических закономерностей:

$$\begin{cases} \alpha + \beta = 90^\circ \\ \varphi + \alpha = 90^\circ \\ \alpha = 90^\circ - \beta \\ \alpha = 90^\circ - \varphi \\ \varphi = \beta \end{cases} \quad (7)$$

Для достижения снижения потерь при вращение водяного колеса, необходимо определить глубину h_t погружения изогнутой лопасти, описывающейся расчётным кружком с радиусом r_s форма которой значительно уменьшает коэффициент лобового сопротивления при взаимодействии с водой по отношению к аналогам с прямыми лопастями взаимосвязаны уравнением [22]:

$$r_s = \frac{\left(\frac{D_a}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_i}{2}\right)^2}{D_a \cdot \cos \beta + D_i} \quad (8)$$

Выход лопасти из воды имеет решающее значение для оптимального угла лопасти. Угол наклона лопасти зависит от глубины погружения лопасти под водой и внешнего диаметра водяного колеса, который вычисляется по формуле:

$$\beta = \cos^{-1} \left(\sqrt{1 - \left(1 - \frac{h_t}{D_a}\right)^2} \right) \quad (9)$$

где: h_t – глубина погружения лопасти в воду, м; D_a – внешний диаметр колеса, м.

Глубина погружения лопасти — это показатель, который зависит от скорости вращения водяного колеса n , толщины самой лопасти b_{sch} , внешнего радиуса водяного колеса R_a , расхода потока воды Q , приведенном в научном труде [23] имеет следующий вид:

$$h_t = \left(R_a - \frac{1,05 \cdot b_{sch} \cdot z}{2\pi} \right) - \sqrt{\left(R_a - \frac{1,05 \cdot b_{sch} \cdot z}{2\pi} \right)^2 - \frac{Q \cdot 60}{n \cdot B \cdot \pi}} \quad (10)$$

Основываясь на уравнении (1), получим математическое уравнение, рассчитывающее расход потока воды:

$$Q = \frac{n \cdot B \cdot ((\pi \cdot D_a - 1,05 \cdot b_{sch} \cdot z) \cdot \left(\frac{D_a - D_a \cdot \sin \beta}{2}\right) - \pi \cdot \left(\frac{D_a - D_a \cdot \sin \beta}{2}\right)^2)}{60} \quad (11)$$

Формула позволяющая определить силу, воздействующую на переднюю часть лопасти водяного колеса, имеет следующий вид [24]:

$$F = \rho \cdot Q \cdot (V - U) \quad (12)$$

Гидравлическая потеря, возникающая во время преобразования кинетической энергии потока воды в механическую энергию вращения водяного колеса, являющаяся следствием потери мощности имеет следующий вид [25]:

$$F_1 = 0,1 \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (13)$$

Ударные потери F_2 , образующиеся в следствие взаимодействия поступающего потока воды с лопастями водяного колеса имеет следующий вид [26]:

$$F_2 = \varepsilon \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot \frac{w^2}{2g} \quad (14)$$

Кроме того в процессе преобразования кинетической энергии потока воды существуют потери, взаимосвязанные с силой F_3 влияющей с обратной стороны лопасти которая препятствует вращению водяного колеса. Для оценки силы F_3 используется методита вычисления силы сопротивления погруженных движущихся тел. В рассматриваемом случае в качестве погруженного тела представлена лопасть водяного колеса перпендикулярная потоку воды. Следствие этого, F_3 можно выразить как:

$$F_3 = \frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot A \cdot (V - U)^2 \quad (15)$$

где, C_d – коэффициент лобового сопротивления, A – площадь лопасти, ρ – плотность воды, V – скорость потока воды, U – тангенциальная скорость.

Потери энергии на трение возникают в результате рассеяния мощности, вызванного силами трения как на опорах вала из-за веса колеса, так и на дне канала из-за сопротивления воды, находящейся в лопастях, движущихся вниз по течению.

Потери мощности, вызванные трением в подшипниках, могут быть описаны с учетом силы трения, действующей между валом и колесом, оказывающим давление на него:

$$F_4 = M \cdot w_m = W \cdot f \cdot r \cdot w_m \quad (16)$$

$$W = W_k + W_b$$

где, M – противоположный крутящий момент, обусловленный трением, w_m – скорость вращения колеса (рад/с), W_k – вес колеса, кг; W_b – вес воды, воздействующий на лопасти; f – коэффициент трения равный 0,0015; r – расстояние уровня вала над поверхностью воды, м.

Сила, возникающая в следствие вычитания вышеуказанных типов потерь при вращении водяного колеса, представлена следующим образом:

$$F_0 = F - (F_1 + F_2 + F_3 + F_4) \quad (17)$$

Общий механический крутящий момент, генерируемый на лопастях горизонтально установленного водяного колеса, рассчитывается по следующему уравнению [27]:

$$M = F_0 \cdot \frac{D_a}{2} \quad (18)$$

Механическая мощность водяного колеса вычисляется согласно следующей формуле:

$$P_M = M \cdot \omega_M \quad (19)$$

Мощность, создаваемая потоком воды, определяется с помощью следующего уравнения:

$$P_0 = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (20)$$

Коэффициент полезного действия (КПД) представляет собой отношение механической мощности, вырабатываемой водяным колесом, к мощности потока воды и определяется по следующей формуле:

$$\eta = \frac{P_M}{P_0} \quad (21)$$

Результаты и анализ. В процессе исследования были получены данные, позволяющие рассчитать коэффициент полезного действия гидроэнергетической установки, эффективно функционирующей в условиях низкого напора водотоков. К числу этих данных относятся такие параметры, как угол наклона лопасти на выходе из воды, расход воды, количество лопастей, гидравлические потери и механическая мощность и др.

На рисунке 8 представлена кривая, иллюстрирующая зависимость глубины погружения лопасти в воду h_t от угла наклона лопасти при выходе из воды β . Кривая показывает, что максимальное значение глубины погружения лопасти достигается при угле наклона лопасти $\beta = 37^\circ$.

На рисунке 9 показана зависимость скорости вращения водяного колеса n от скорости потока воды V . Кривая на рисунке 9 демонстрирует, что с увеличением скорости потока воды возрастает и скорость вращения водяного колеса. В частности, при скорости потока воды $V = 4$ м/с скорость вращения водяного колеса достигает 40 об/мин.

На рисунке 10 отображены графические зависимости механического момента M_M от расхода водного потока Q . Установлено, что при скорости потока воды 4 м/с расход составляет $0,4$ м³/с, а механический момент достигает максимального значения $M_M = 400$ Нм.

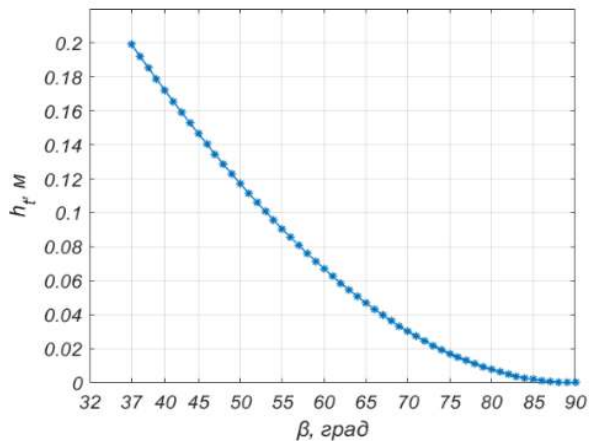


Рис. 8. График зависимости глубины погружения лопасти от угла наклона лопасти на выходе из воды

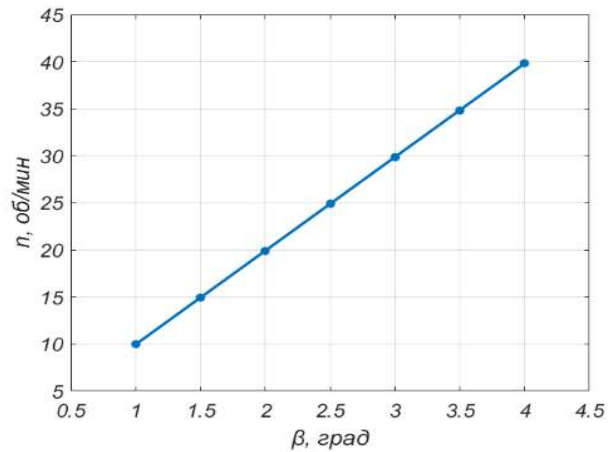


Рис. 9. График зависимости скорости вращения нижнебойного водяного колеса от скорости потока воды

Также на рисунке 11 представлены кривые, иллюстрирующие зависимость механического момента от угла наклона лопасти во взаимодействии с водой. Было установлено, что максимальное значение механического момента наблюдается при угле наклона лопасти $\beta = 37^\circ$.

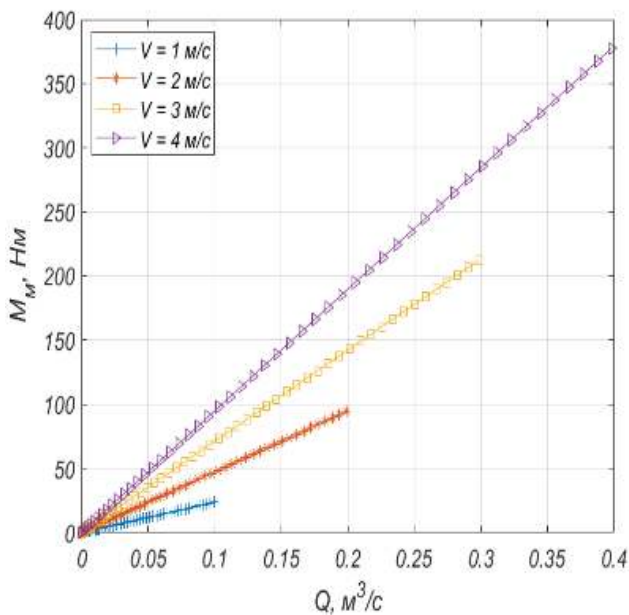


Рис. 10. Зависимость расхода потока воды от механического момента

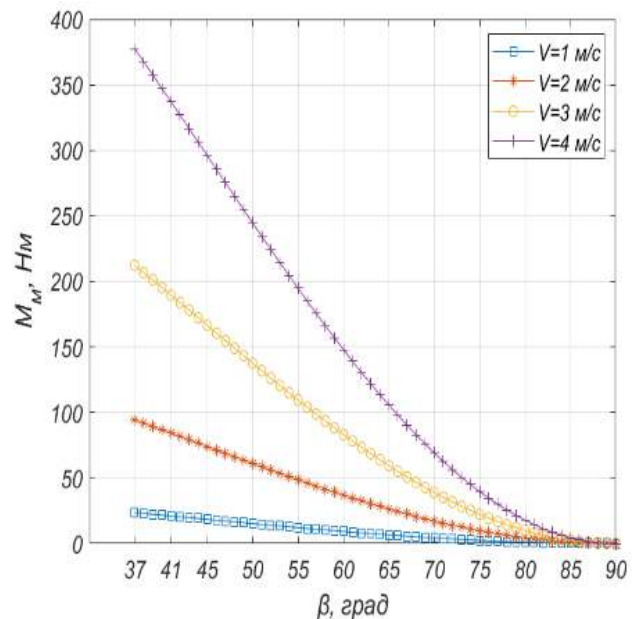


Рис. 11. Зависимость механического момента от угла наклона лопасти на выходе из воды

На рисунке 12 изображены графики зависимости угла наклона лопасти при выходе из воды β от механической мощности P_m . Согласно теоретическим расчетам, максимальное значение механической мощности достигается при угле наклона лопасти на выходе из воды $\beta = 37^\circ$.

На рисунке 13 показана зависимость коэффициента полезного действия от угла наклона лопасти водяного колеса. Установлено, что максимальное значение коэффициента полезного действия нижнебойного водяного колеса составило 32% при этом наружный диаметр составил $D_a = 1$ м, глубина погружения лопасти $h_t = 0,2$ м и угол наклона лопасти на выходе из воды $\beta = 37^\circ$.

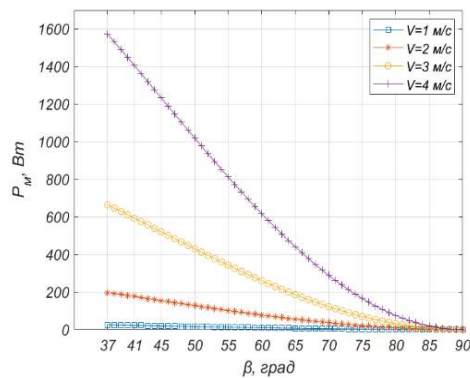


Рис. 12. Графики зависимости механической мощности от угла наклона лопасти на выходе из воды

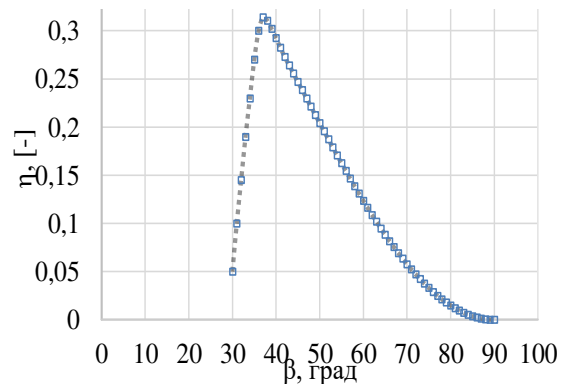


Рис. 13. Графики зависимости коэффициента полезного действия от угла наклона лопасти

Заключение

1. Создана микрогидроэлектростанция с использованием понтонов, предназначенных для решения проблем с изменчивым уровнем потока воды и одновременно выполняют функцию направляющих. Лопасти водяного колеса расположены под оптимальным углом для снижения сопротивления при выходе из потока воды (FAP 01884). В результате такая конструкция обеспечивает повышение эффективности гидроэнергетической установки на 1,5...2% при эксплуатации в условиях низконапорных водотоков.
2. Разработано аналитическое выражение для расчета коэффициента полезного действия микрогидроэлектростанции η , адаптированной к низконапорным водотокам, в зависимости от скорости водного потока V , количества оборотов нижнебойного водяного колеса n , количества лопастей Z , расхода потока воды Q , результирующей силы, воздействующей на лопасти $F_{\text{общ}}$, а также угловой скорости водяного колеса ω_m и угла взаимодействия лопастей с водой β .
3. Угол взаимодействия лопастей с водой β был определен с учетом безударного входа воды в пространство лопастей при взаимодействии с поверхностью нижнего бьефа и составляет 37° при выходе из водного потока.
4. Установлены условия, при которых возможно достижение максимального коэффициента полезного действия до $\eta=32\%$ для гидроэнергетической установки с наружным диаметром $D_a = 1\text{ м}$ и глубиной погружения лопасти $h_t = 0,2\text{ м}$. В соответствии с этими условиями, расход воды варьируется от $Q=0,1...0,5\text{ м}^3/\text{с}$, а скорость потока составляет от 1 до 4 м/с. Оптимальный угол наклона лопастей, способствующий увеличению силы взаимодействия с передней частью лопасти и снижению силы, препятствующей движению водяного колеса с обратной стороны, составляет $\beta=37^\circ$.
5. Применение данной микрогидроэлектростанции, адаптированной для работы в условиях водотоков ирригационной системы Аму-Бухарского канала с низким напором, обеспечивает надежное и бесперебойное электроснабжение локальных потребителей, находящихся вдали от централизованных источников электроэнергии.

Список использованной литературы:

1. N.N. Sadullayev, A.B. Safarov, Sh.N. Nematov, R.A. Mamedov, A.B. Abdujabarov, "Opportunities and prospects for the use of renewable energy sources in Bukhara region", *Applied solar energy*, vol. 56, № 4, pp. 410-421, 2020.
2. C. Penche, "European Small Hydropower Association – ESHA", *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant*, vol. 2, № 7, pp. 43-49, 2004.
3. [https://www.ren21.net/gsr-2023/Renewables Global Status Report 2023](https://www.ren21.net/gsr-2023/Renewables%20Global%20Status%20Report%202023)
4. <https://energystats.enerdata.net/>
5. <https://www.hydropower.org/publications/2023-hydropower-status-report>

6. Sadullayev N.N., Safarov A.B., Mamedov R.A., Kodirov D. Assessment of wind and hydropower potential of Bukhara region // IOP Con. Series: Earth and Environmental Science 614(2020) 012036 (DOI: 10.1088/1755-1315/614/1/012036)
7. S. J. Williamson, B. H. Stark, J.D. Booker, “Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis”, *Renewable Energy*, vol. 61, pp. 43-50. 2014.
8. J.R.Gandhi, H. Jha, S. N. Jha, D.S.Patel, “Renewable Energy Based Floating Power Generator (Rivers and Canals)”. *International Journal of Engineering Research and Applications*. vol. 6, pp. 49-59, 2016.
9. G. Muller, R. Jenkins, W. Batten, “Potential, performance limits and environmental effect of floating water mills”. *Bundesanstalt für Wasserbau*. pp. 707-712. 2010.
10. E. Quaranta, G. Müller, “Sagebien and Zuppinger water wheels for very low head hydropower applications”, *Journal of Hydraulic Research*. pp. 1-11, 2018.
11. G. Muller, C. Wolter, “The breast-shot waterwheel: design and model tests”, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Engineering Sustainability*, vol. 157, pp. 1-9, 2004.
12. D. Adanta, B. Budiarto, S. Arifianto, S. Nasution. “Effect of blades number on undershot waterwheel performance with variable inlet velocity”, 4th International Conference on Science and Technology (ICST). 2018, pp. 1-6.
13. S.R. Turnock, G. Muller, R. F. Nicholls-Lee, et al, “Development of a floating tidal energy system suitable for use in shallow water”. 7th European Wave and Tidal Energy Conference, 09. 2007, pp. 1-9.
14. Д.Б. Кодиров, “Энергоэффективная микрогидроэлектростанция для низконапорных водотоков”, PhD диссертация, Ташкент, 2018.
15. О.О. Бозаров, “Разработка микро-ГЭС с реактивным гидроагрегатом для сельскохозяйственных потребителей”, PhD диссертация, Ташкент, 2020.
16. Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У. “Свободнопоточная микрогидроэлектростанция”, Патент РУз, № IAP 03639, 2008.
17. Р.А. Мамедов, Н.Н. Садуллаев, А.Б. Сафаров, Г.Ж.Ражабова. “Гидроэнергетическая установка”, Патент РУз № FAP 01884, 2022.
18. W. Müller. “*Die Eisernen Wasserräder - Berechnung, Konstruktion und Wirkungsgrad*”, Germany, (University of Wisconsin – Madison), 1899.
19. D. Adanta, M. Kurnianto, “Effect of the number of blades on undershot waterwheel performance for straight blades”. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science – Germany, 02.2020, pp 1-6
20. M.M. Mukhammadiev, E.K. Mamadiyrov, B.U. Urishev, S.M. Mukhammadiev, “Technological model of micro power facilities based on renewable energy sources with the energy storage”. *Applied Solar Energy*, vol. 48(2), pp. 152-156, 2012.
21. E. Quaranta, G. Müller, “Sagebien and Zuppinger water wheels for very low head hydropower applications”. *Journal of Hydraulic Research*, vol.56, pp. 526-536, 2018.
22. H. Matthias, “*Analyse des Zuppinger-Wasserrades – Hydraulische Optimierungen unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte*” Germany, (Universität Stuttgart Germany), 2018.
23. D.M. Nuembergk, F. Trostdorf, G. Treiber, “Untersuchung zum Wirkungsgrad eines Zuppinger-Wasserrades mit einer kreisförmigen Überfallschütze”. *Wasserbaukolloquium 2009: Wasserkraft im Zeichen des Klimawandels*, pp. 359-368, 2009.
24. M. Denny, “The efficiency of overshot and undershot water wheels”. *European journal of physics* vol. 25, pp. 193–202, 2004.
25. F. Chaudy, “*Machines hydrauliques*”, Published by Vve. C. Dunod et P. Vicq (in), 1896.
26. E. Garuffa, “*Macchine motrici ed operatrici a fluido*”. Italy: Published by U. Hoepli, 1897.
27. D. Kodirov, O. Tursunov, S. Khushiev, et al, “Mathematical description of water flow quantity for microhydroelectric station”. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 12.2020, pp 1-9.