

**ҚАРШИ МУҲАНДИСЛИК-ИҚТИСОДИЁТ ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
PhD.03/30.09.2020.Т.111.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

БУХОРО МУҲАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

САФАРОВ АЛИШЕР БЕКМУРОДОВИЧ

**БУХОРО ВИЛОЯТИНИНГ ИҚЛИМИЙ ШАРОИТЛАРИГА
МОСЛАШТИРИЛГАН САМАРАДОР ШАМОЛ ЭНЕРГЕТИК
ҚУРИЛМАСИНИ ЯРАТИШ**

**05.05.06 – Қайта тикланадиган энергия турлари асосидаги
энергия қурилмалари**

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

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

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

**Contents of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on
technical sciences**

Сафаров Алишер Бекмуродович

Бухоро вилоятининг иқлимий шароитларига мослаштирилган
самарадор шамол энергетик қурилмасини яратиш..... 3

Сафаров Алишер Бекмуродович

Создание эффективной ветроэнергетической установки,
адаптированной к климатическим условиям Бухарской области 21

Safarov Alisher Bekmurodovich

Creation of an efficient wind power plant adapted to the climatic
conditions of the Bukhara region 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works..... 43

**ҚАРШИ МУҲАНДИСЛИК-ИҚТИСОДИЁТ ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
PhD.03/30.09.2020.Т.111.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

БУХОРО МУҲАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

САФАРОВ АЛИШЕР БЕКМУРОДОВИЧ

**БУХОРО ВИЛОЯТИНИНГ ИҚЛИМИЙ ШАРОИТЛАРИГА
МОСЛАШТИРИЛГАН САМАРАДОР ШАМОЛ ЭНЕРГЕТИК
ҚУРИЛМАСИНИ ЯРАТИШ**

**05.05.06 – Қайта тикланадиган энергия турлари асосидаги
энергия қурилмалари**

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

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.4.PhD/Г777 рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация иши Бухоро муҳандислик-технология институтида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:

Садуллаев Насулло Нематович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Тоиров Олимжон Зувурович
техника фанлари доктори, профессор

Уришев Боборахим Уришевич
техника фанлари доктори, доцент

Етакчи ташкилот:

**Тошкент ирригация ва қишлоқ
хўжалигини механизациялаш
муҳандислари институти**

Диссертация ҳимояси Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти ҳузуридаги PhD.03/30.09.2020.Т.111.03 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил 24 июнь соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 180100, Қарши шаҳри, Мустақиллик кўчаси, 225-уй. Тел.: (99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-9, e-mail: kiei_info@edu.uz.)

Диссертация билан Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (№ 6 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 180100, Қарши шаҳри, Мустақиллик кўчаси, 225-уй. Тел.: (99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-95, e-mail: kiei_info@edu.uz.)

Диссертация автореферати 2021 йил 9 июнь куни тарқатилди.
(2021 йил 9 июнь даги № 1 рақамли реестр баённомаси).



КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Жаҳонда ёқилғи-энергия ресурсларини тежаш, энергия узлуксизлиги ва ишончлилигини оширишда қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш етакчи ўринлардан бирини эгалламоқда. «Дунё миқёсида 2021 йилдан 2030 йилгача бўлган даврда иссиқхона газлари ва чиқиндиларни камида 40 % га камайтириш, қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш улушини 32% га, энергия самарадорлигини 32,5% га ошириш режалаштирилганлигини ҳисобга олсак»¹, энергия узлуксизлиги ва ишончлилигини оширадиган шамол энергетик қурилмаларни амалиётга жорий этишни тақозо этади. Шу жиҳатдан ҳудудларнинг иқлим шароитларига мослаштирилган шамол энергетик қурилмаларидан фойдаланиш муҳим аҳамиятга эга ҳисобланади.

Жаҳонда кичик қувватли энергия истеъмолчилари учун оптимал шамол энергетик қурилмалари конструкциясини яратиш ва уларнинг параметрларини илмий асослашга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада, иқлим шароитларига мослаштирилган шамол энергетик қурилмаларини яратиш, уларнинг технологик иш жараёни ва энергетик параметрларини асослашга алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамиз энергетика тармоқларида шамол энергиясидан фойдаланиш имкониятларини кенгайтириш, энергия тежамкор технологиялар асосида такомиллашган шамол энергетик қурилмаларини ишлаб чиқиш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан, «...қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш, ишлаб чиқаришнинг энергия сиғимини қисқартириш, қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантириш соҳасида инновация технологияларини, илмий-техникавий ишланмаларни жорий этиш ва энергия самарадорлигини ошириш...»² бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, жумладан, шамол энергиясидан фойдаланиб электр энергияси ишлаб чиқаришга мўлжалланган энергетик қурилмаларини яратишнинг илмий-техник ечимларини ишлаб чиқиш ҳамда оптимал параметрларини асослаш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сон «2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида»ги ва 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422-сон «Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланадиган энергия манбаларини

¹ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017-йил 7-февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони.

ривожлантиришнинг тезкор чора тадбирлари тўғрисида»ги қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация иши муайян даражада хизмат қилади.

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

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Шамол энергиясидан фойдаланиб электр энергияси ишлаб чиқаришга мўлжалланган энергетик қурилмаларни яратишнинг илмий-техник ечимларини ишлаб чиқиш ва тадқиқ этиш билан хорижда П.П. Безруких, В.Т. Чонг, Ванг Чо, Кооксун Ли, Н.Е. Жуковский, Я.И. Шефтер, Е.М. Фатеев, Ж.М. Дарриус, С.Ж. Савониус, А.М. Рашам, К.М. Азад, Е.В. Соломин, В.В. Елистратов, С.Г. Обухов шуғулланишган.

Республикамизда муқобил энергия манбаларидан фойдаланиш, шамол энергетик қурилмаларининг самарадорлигини ошириш ва такомиллаштириш бўйича тадқиқотлар Қ.Р. Аллаев, Р.А. Захидов, Ў.А. Таджиев, К.Т. Алимходжаев, У.Ғ. Деҳқонов ва бошқалар томонидан бажарилган.

Мазкур тадқиқотлар натижасида марказлашган энергия таъминотидан узокда жойлашган ҳудудларда шамол электр станцияларини лойиҳалаш ишларида фойдаланиб келинаётган бўлсада, аммо республикамизнинг жанубий ҳудудларига мослаштирилган ўзгарувчан ва кучсиз шамол оқимларида ишлашга мўлжалланган шамол энергетик қурилмаларини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотлар етарлича ўтказилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режаси билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Бухоро муҳандислик технология институтининг илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ № ОТ-Ф2-62 «Саноат корхонаси интеллектуал электр тармоғини умумлашган самарадорлик кўрсаткичи асосида яратиш назариясини ривожлантириш» мавзусидаги фундаментал лойиҳаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади кучсиз шамол оқимларида ишлайдиган вертикал ўқли шамол энергетик қурилмасини ишлаб чиқиш ва параметрларини асослашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

Бухоро вилоятининг турли баландликдаги шамол энергияси ресурслар салоҳиятини баҳолаш;

иқлим шароитларига мослаштирилган янги турдаги вертикал ўқли шамол энергетик қурилмасини ишлаб чиқиш;

вертикал ўқли шамо­л энер­ге­тик қу­рил­ма­си­нинг кон­струк­тив ўл­ча­м­ла­ри ва энер­ге­тик па­ра­метр­ла­ри­нинг ша­мо­л оқи­ми тез­ли­ги­га боғ­лиқ­ли­ги­ни та­в­си­ф­лов­чи ма­те­ма­тик мо­де­ли­ни иш­лаб чи­қи­ш;

ша­мо­л қу­рил­ма­си­нинг бар­қарор ва ўз­гар­мас ай­лан­ти­рув­чи мо­мент­ни аниқ­лаш­да йў­нал­ти­рув­чи сир­т­лар­нинг оп­ти­мал ге­омет­рик па­ра­метр­ла­ри­ни аниқ­лаш;

таш­қи йў­нал­ти­рув­чи сир­т­лар­нинг оп­ти­мал ге­омет­рик ўл­ча­м­ла­ри­ни йў­нал­ти­рил­ган ша­мо­л оқи­ми тез­ли­ги ўз­га­ри­ши­га боғ­лиқ­ли­ги­ни аниқ­лаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида кучсиз ша­мо­л оқи­м­ла­ри­да иш­лов­чи вер­ти­кал ўқ­ли ша­мо­л энер­ге­тик қу­рил­ма­си ва у­нинг те­х­но­ло­гик иш жа­раё­ни олин­ган.

Тадқиқотнинг предмети кучсиз ша­мо­л оқи­м­ла­ри­да иш­лов­чи ша­мо­л энер­ге­тик қу­рил­ма­си­нинг па­ра­метр­ла­ри ва вер­ти­кал ўқ­нинг ай­ла­ниш со­ни­га боғ­лиқ ра­виш­да улар­ни ўз­га­риш қо­ну­ни­ят­ла­ри ҳисоб­ла­на­ди.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жа­раё­ни­да ма­те­ма­тик мо­дел­лаш­ти­риш, ма­те­ма­тик ста­ти­сти­ка на­за­рия­си, эҳ­ти­мол­лар на­за­рия­си ва та­ж­ри­ба­лар­ни ре­жа­лаш­ти­риш усул­ла­ри­дан фой­да­ла­нил­ган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйи­да­гилар­дан иборат:

таш­қи йў­нал­ти­рув­чи сир­т­лар­га эга бўл­ган, ички қа­ра­ма­қар­ши ай­ланув­чи ша­мо­л ғил­ди­рак­ла­ри­нинг пар­рак­ла­ри вер­ти­кал ўқ­қа нис­ба­тан пар­рак­лар ораси­да­ги масо­фа кен­гли­ги­да қия­лаш­ти­рил­ган ҳам­да ста­тор ва ро­то­ри қа­ра­ма­қар­ши то­мон­га ай­ланув­чи, ак­си­ал кўп қут­бли ге­не­ра­тор­ли вер­ти­кал ўқ­ли ша­мо­л энер­ге­тик қу­рил­ма­си иш­лаб чи­қил­ган;

ша­мо­л энер­гия­си­нинг по­тен­ци­а­ли­ни ҳисоб­га ол­ган ҳол­да ўз­га­рув­чан ва куч­сиз ша­мо­л оқи­м­ла­ри­да элек­тр энер­гия­си олиш им­ко­ни­ни бе­ра­ди­ган ста­тор ва ро­то­ри қа­ра­ма­қар­ши то­мон­га ай­ланув­чи ша­мо­л элек­тр ге­не­ра­тор­ининг кон­струк­ция­си та­ко­мил­лаш­ти­рил­ган;

қу­рил­ма­га йў­нал­ти­ри­лаёт­ган ша­мо­л оқи­ми­нинг уз­лу­ксиз­ли­ги­ни таъ­мин­лаш ва ша­мо­л пар­рак­ла­ри­га акс таъ­сир қилув­чи куч­лар­ни ка­май­ти­риш усу­ли таш­қи йў­нал­ти­рув­чи сир­т­лар­нинг ге­омет­рик ўл­ча­м­ла­ри ва улар ор­қали ўз­гар­ти­рил­ган ша­мо­л оқи­ми тез­ли­ги­ни ҳисоб­га ол­ган ҳол­да асо­слан­ган;

куч­сиз ша­мо­л оқи­м­ла­ри­да иш­лай­ди­ган вер­ти­кал ўқ­ли ша­мо­л энер­ге­тик қу­рил­ма­си­нинг тур­ли ба­лан­д­лик­лар­да­ги ша­мо­л оқи­ми­нинг тез­ли­ги­ни ҳисоб­га ол­ган ҳол­да қув­ва­ти, иш­лаб чи­қара­ди­ган энер­гия­си ва ша­мо­л энер­гия­си­дан фой­да­ла­ниш ко­эф­фи­ци­ент­ла­ри аниқ­лан­ган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйи­да­гилар­дан иборат:

мар­каз­лаш­ти­рил­ган элек­тр таъ­ми­но­ти­дан узоқ­да жой­лаш­ган чек­ка ҳу­дуд­лар­да­ги истеъ­мо­л­чи­лар учун куч­сиз ша­мо­л оқи­м­ла­ри­да бар­қарор иш­лай­ди­ган вер­ти­кал ўқ­ли ша­мо­л энер­ге­тик қу­рил­ма­си иш­лаб чи­қил­ган;

та­ко­мил­лаш­ган элек­тр ге­не­ра­тор­нинг ста­тор ва до­имий маг­нит­лар­дан таш­кил топ­ган ро­то­ри бир би­ри­га нис­ба­тан қа­ра­ма­қар­ши то­мон­га ай­ла­ни­ши­дан қу­рил­ма ҳаж­ми­нинг их­чам­ла­ши­ши, меҳ­нат, энер­гия ва ре­сурс сар­ф­ла­ри­нинг ка­май­и­ши аниқ­лан­ган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги изланишларнинг замонавий усул ва ўлчаш воситаларидан фойдаланган ҳолда ўтказилганлиги, тажриба натижаларини қайта ишлаш ва текширишда математик моделлаштириш усуллариининг қўлланилганлиги, тажрибаларнинг табиий шароитда ўтказилганлиги, назарий ва экспериментал тадқиқотларнинг ўзаро адекватлиги, бажарилган тадқиқотлар асосида ишлаб чиқилган иқлим шароитлари учун мослаштирилган кучсиз шамол оқимларида ишловчи вертикал ўқли шамол энергетик қурилмаси синовларининг ижобий натижалари ва амалиётга жорий этилганлиги билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий-амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти турли баландликлардаги шамол энергияси ресурслар салоҳиятини баҳолаш алгоритми асосида, иқлим шароитларига мослаштирилган шамол энергетик қурилмасининг параметрлари асосланганлиги ҳамда олинган математик моделлар ва аналитик боғланишларни бошқа турдош қурилмаларнинг параметрларини асослашда қўллаш мумкинлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ишлаб чиқилган шамол энергетик қурилмаси ресурс салоҳияти юқори бўлган ҳудудларда талаб даражасида ишлаши, бунда ёқилғи-энергетик ресурслар харажатларини камайтириши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Бухоро вилоятининг иқлим шароитларига мослаштирилган самарадор шамол энергетик қурилмасини ишлаб чиқиш ҳамда параметрларини асослаш бўйича олинган натижалар асосида:

иқлим шароитлари учун мослаштирилган кучсиз шамол оқимларида ишловчи вертикал ўқли шамол энергетик қурилмаси учун Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги Интеллектуал мулк агентлигининг фойдали моделига патент олинган (№ FAP 01607, 23.03.2021 й.). Натижада, ўзгарувчан ва кучсиз шамол оқимларида энергия ишлаб чиқаришни ўртача 20% га ошириш имконияти яратилган;

шамол тезлиги паст бўлган ҳудудлар учун самарали ишлаш имкониятини берадиган статор ва ротори қарама-қарши томонга айланувчи шамол электр генераторининг конструкцияси такомиллаштирилган (Қишлоқ хўжалиги вазирлигининг 2020 йил 26 октябрдаги 02/021-3461-сон маълумотномаси). Натижада, шамол тезлиги 2,5-8,0 м/с бўлган ораликда электр энергиясини ишлаб чиқариш ишончлилиги ва узлуксизлиги таъминланишига эришилган;

статор ва ротори қарама-қарши томонга айланувчи, аксиал кўп кутбли генераторли кучсиз шамол оқимларида ишончли ишлайдиган вертикал ўқли шамол энергетик қурилмаси Бухоро вилояти Шофиркон туманидаги «Вухого zarhal teks» фермер хўжалигида жорий этилган (Қишлоқ хўжалиги вазирлигининг 2020 йил 26 октябрдаги 02/021-3461-сон маълумотномаси). Натижада, 4 кВт қувватли шамол энергетик қурилмасида йилига 7600 кВт·соат электр энергияси ишлаб чиқаришга ҳамда марказлашган электр

таъминоти тизимига нисбатан йиллик 85 млн.сўм маблағни тежаш имконияти яратилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 2 та халқаро ва 3 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 20 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрлар 11 та мақола, жумладан 8 таси республика ва 3 таси хорижий журналларда нашр этилган ҳамда Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг фойдали моделга 1 та патенти олинган.

Диссертация тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, умумий хулосалар, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 120 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазибалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, диссертация мавзуси бўйича хорижий тадқиқотлар шарҳи келтирилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Шамол энергиясидан фойдаланишнинг замонавий ҳолати ва ривожланиш истиқболлари**» деб номланган биринчи бобида шамол энергияси ресурслар салоҳиятини баҳолаш услубиётининг таҳлили, кучсиз шамол оқимларда шамол энергетик қурилмаларини қўллаш соҳасидаги илмий тадқиқотлар ҳолати, конструктив ечимлар таҳлили натижалари келтирилган. Шамол энергетик қурилмаларига ташқи йўналтирувчи сиртларни қўллаш ва мақбул геометрик ўлчамларни аниқлаш услубиёти ҳамда шамол энергетик қурилмаларига қўлланиладиган паст частотали электр генераторлар бўйича олиб борилган илмий тадқиқотлар таҳлиллари келтирилган. Юқоридагиларга асосан тадқиқотнинг мақсад ва вазибалари белгилаб олинган.

Диссертациянинг «**Шамол энергияси салоҳиятини баҳолаш ва шамол энергетик қурилмасинининг математик ифодалари**» деб номланган иккинчи боби турли баландликдаги шамол энергияси салоҳиятини баҳолаш услубиёти, кучсиз шамол оқимларда самарали ишлайдиган шамол энергетик қурилмасининг конструктив ўлчамлари ва энергетик параметрларининг шамол оқими тезлигига боғлиқлик математик моделларини ишлаб чиқишга бағишланган.

Шамол энергетик қурилмаларидан самарали фойдаланишда ҳудуднинг шамол энергияси салоҳиятини аниқ баҳолаш муҳим талаблардан бири ҳисобланади. Ўлчанган шамол тезлиги маълумотларини статистик қайта ишлаш орқали турли баландликдаги шамол энергияси салоҳиятини ишончли баҳолашда Вейбул ва Релей эҳтимоллик тақсимот функцияларидан кенг фойдаланилади. Шамол тезлиги хусусиятларини баҳолашда Вейбул ва Релей тақсимотининг зичлик ва тақсимланиш интегралли функциялари аниқланиши лозим. Қуйидаги математик ифодалардан фойдаланилди:

Вейбул тақсимоти:

$$f(\bar{v}) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^k}, \quad 0 \leq \bar{v} \leq \infty \quad (1)$$

$$F(\bar{v}) = \int_0^{\infty} f(\bar{v}) d\bar{v} = 1 - e^{-\left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^k}, \quad 1 \leq k \leq 10 \quad (2)$$

Релей тақсимоти:

$$f(\bar{v}) = \frac{2\bar{v}}{c^2} \cdot e^{-\left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^2}, \quad 0 \leq \bar{v} \leq \infty \quad (3)$$

$$F(\bar{v}) = \int_0^{\infty} f(\bar{v}) d\bar{v} = 1 - e^{-\left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^2}, \quad k = 2 \quad (4)$$

бунда k – шакл параметри (ҳудуднинг жойлашувига боғлиқ); c – функция тақсимланиши масштабини аниқлайдиган параметр (шамол ўртача тезлигига боғлиқ параметр, м/с).

Турли баландликда шамол оқимининг тезлиги ўзгариши ҳаво оқимининг зичлиги, босими ва ҳароратига боғлиқ бўлиб, баландлик ошиб борган сари шамол тезлиги ҳам ўзгаради. Шамол тезлиги ўзгаришининг баландликка боғлиқлик математик ифодаси қуйидагича:

$$V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^\alpha, \quad (5)$$

бунда V_2 – маълум баландликда ўлчанган шамол тезлиги, м/с; V_1 – бошланғич баландликда ўлчанган шамол тезлиги, м/с; H_1 – бошланғич баландлик, м; H_2 – танланган баландлик, м; α – шамолни кесувчи кўрсаткич.

Вейбул ва Релей эҳтимоллик тақсимоти функциясидан аниқланган параметрлари (k , c) орқали шамол оқимидан олинадиган солиштирма қувват ва энергияси қийматларини аниқлашимиз мумкин. Бу параметрлар қуйидаги математик ифодалар орқали аниқланди:

Вейбул тақсимоти:

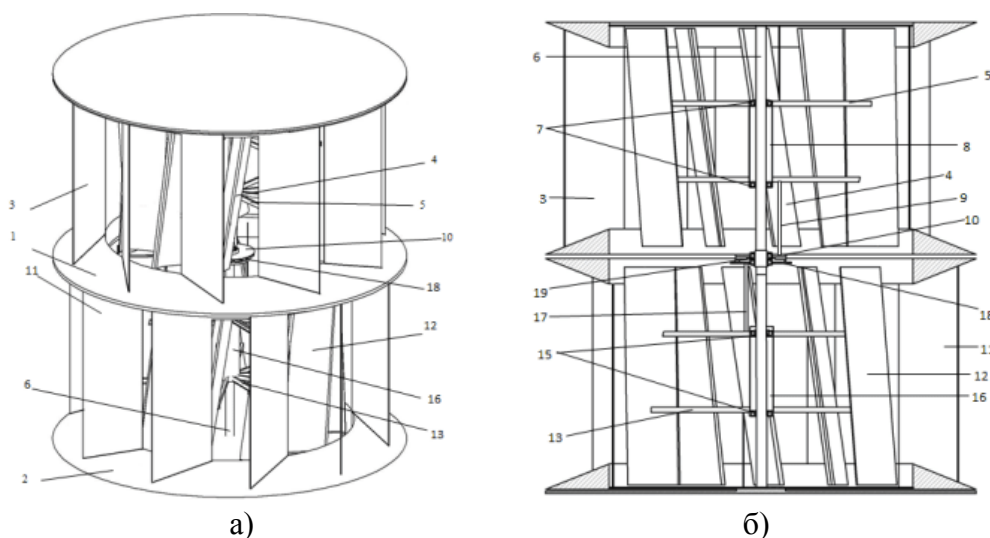
$$P_B = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right), \quad (6)$$

Релей тақсимоти:

$$P_P = \frac{3}{\pi} \rho c^3 \left(\frac{\pi}{4}\right)^{\frac{3}{2}}, \quad (7)$$

бунда P_B ва P_P – Вейбул ва Релей эҳтимоллик тақсимоти функциясида аниқланган солиштирма қувват, Вт/м²; ρ – ҳаво оқимининг зичлиги, кг/м³; Γ – гамма функция.

Республикамизнинг иқлим шароитларига мослаштирилган ўзгарувчан ва кучсиз шамол оқимларида самарали ишлайдиган вертикал ўқли шамол энергетик қурилмаси ишлаб чиқилди. Қурилма конструкциясининг умумий схемаси 1-расмда акс этган.



1-устки шамол турбинаси; 2-пастки шамол турбинаси; 3-ташқи йўналтирувчи сиртлар (устки); 4-устки айланувчи шамол парраклари; 5- махсус профиллар (парракни ушлаш учун устки қисм); 6-умумий вал; 7,15-конуссимон подшипниклар; 8,16- қувур (устки ва пастки); 9,17- метал профил (устки ва пастки); 10-генератор ротори; 11-ташқи йўналтирувчи сиртлар (пастки); 12-пастки айланувчи шамол парраклари; 13-махсус профиллар (парракни ушлаш учун пастки қисм); 18-генератор статори.
 а – ташқи кўриниши; б – қурилманинг фронтал қирқим кўриниши

1-расм. Шамол энергетик қурилмасининг умумий схемаси

Шамол энергетик қурилмаси кучсиз шамол оқимларида самарали ишлашида қурилмага ташқи йўналтирувчи сиртлар қўлланилди. Ташқи йўналтирувчи сирт қувурчаларига кирувчи ва ундан чиқувчи шамол оқими тезликларининг сирт қувурчалари геометрик ўлчамларига боғлиқлик математик ифодаси куйидагича:

$$\frac{V_1}{V_2} \approx \frac{W_2 \cdot H_2}{W_1 \cdot H_1} = \frac{\left[\frac{D_2 - D_1}{2 \operatorname{tg} \theta} + m \right] \cdot H_2}{\left[\frac{D_2 - D_1}{2 \operatorname{tg} \beta} + m \right] \cdot H_1} = \left(\frac{k + \operatorname{tg} \theta}{k + \operatorname{tg} \beta} \right) \cdot \left(\frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \theta} \right) \cdot \left(\frac{H_2}{H_1} \right) \quad (8)$$

бунда D_1, D_2 – шамол оқимини йўналтирилувчи сирт қувурчалари айланасининг ташқи ва ички диаметрлари, м; θ, β – йўналтирувчи сиртларни вертикал ўққа нисбатан ўрнатилиш бурчаклари; m – шамол оқимини йўналтирилувчи сирт қувурчалари орасидаги минимум масофа, м; k – конструкция коэффиценти.

Қурилмада шамол оқими таъсирида ҳосил бўлувчи механик ҳаракатининг параметрларини аниқлашда куйидаги математик ифодалардан фойдаланилди:

$$\begin{cases} M_M = \frac{1}{2} \rho S R \left[\sum_{i=1}^{i=m} C_d (V \cos(\alpha_i) - \omega_M R)^2 \right] \\ P_M = \omega_M \cdot M_M \\ \omega_M = \frac{a \cdot V}{R} \\ J \frac{d\omega_M}{dt} = M_M - M_r - k \omega_M \end{cases} \quad (9)$$

бунда M_M – механик момент, Н·м; ω_M – механик тезлик, рад/с; J – қурилманинг инерция моменти, кг·м²; k – ишқаланиш коэффиценти; R – ички айланувчи шамол гилдиракнинг радиуси, м; V – шамол тезлиги, м/с; C_d – карусел типдаги шамол парракларнинг пешона қаршилиқ

коэффициенты (2,3 га тенг деб қабул қилинган)³; α_i – шамол парраклари тез айланувчанлик коэффициенти; α_i – шамол оқими шамол парракларига урилиш бурчаги; m – шамол парраклари сони.

Шамол энергетик қурилмасига қўлланилган электр генераторининг конструкциясини тайёрлашда ва энергетик параметрларини аниқлашда куйидаги дифференциал тенгламалар ва математик ифодалардан фойдаланилди:

$$\begin{cases} U_d = R_s i_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega L_q i_q \\ U_q = R_s i_q + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega L_d i_d + \omega \psi_{PM} \\ L_d = L_q = m \mu_0 \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{N k_w}{p}\right)^2 \cdot \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{g'} \\ P_g = \frac{3}{2} \omega [\psi_{PM} + (L_d - L_q) i_d] i_q \\ M_r = \frac{3}{2} p [\psi_{PM} + (L_d - L_q) i_d] i_q \\ \omega = p \cdot (\omega_{1M} + \omega_{2M}) \\ J \frac{d\omega_M}{dt} = M_M - M_g - k \omega_M \end{cases} \quad (10)$$

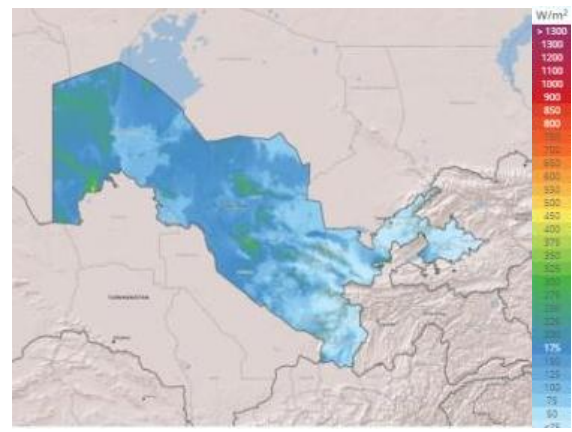
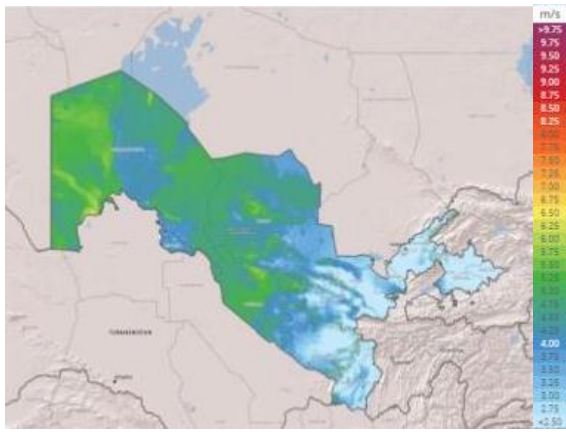
бунда M_M – механик момент, Н·м; M_g – электромагнит момент, Н·м; P_g – электромагнит қувват, Вт; ω – генераторнинг магнит майдон айланиш тезлиги, рад/с; k – ишқаланиш коэффициенти; p – магнитларнинг жуфт кутблар сони; L_d ва L_q – d ва q ўқдаги индуктивлик, Гн; U_d ва U_q – d ва q ўқдаги статор кучланиши, В; i_d ва i_q – d ва q ўқдаги статор токи, А; ψ_{PM} – магнит оқим, Вб; ω_{1M} – генератор роторининг айланиш тезлиги, рад/с; ω_{2M} – генератор статорининг айланиш тезлиги, рад/с; N – статор чулғамининг ўрамлар сони; m – фазалар сони; R_1 – статорнинг ташқи диаметри, м; R_2 – статорнинг ички диаметри, м; g' – сирт конфигурацияси учун d ва q ўқларидаги эквивалент хава оралиғи, м.

Диссертациянинг «Шамол энергетик қурилмасининг аналитик тадқиқоти» деб номланган учинчи бобида турли баланкликлардаги шамол энергияси ресурслари салоҳиятини баҳолаш, шамол энергетик қурилмасига қўлланилган ташқи йўналтирувчи сиртларнинг геометрик мақбул ўлчамини аниқлаш услуби ҳамда электр генератор чиқиш параметрларининг шамол оқими тезлигига боғлиқлик натижалари келтирилган.

2-расмда географик ахборот тизимлари (GIS) технологияси асосида ишлаб чиқилган минтақамизнинг шамол энергетик харитаси маълумотлари келтирилган⁴.

³ R.D. Blevins. Applied Fluid Dynamic Handbook, Krieger, Florida (2003). pp.180

⁴ <https://globalwindatlas.info/area/Uzbekistan>



а)

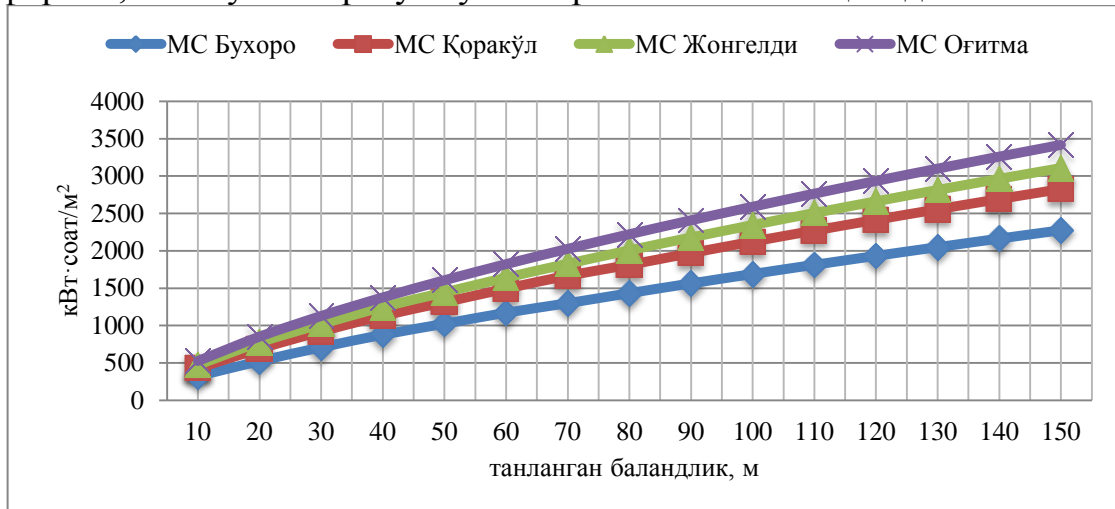
б)

а – 10 м баландликдаги шамол ўртача тезлиги маълумотлари; б – 10 м баландликдаги шамол оқимининг солиштирма қувват маълумотлари

2-расм. Минтақамизнинг шамол энергетик харитаси

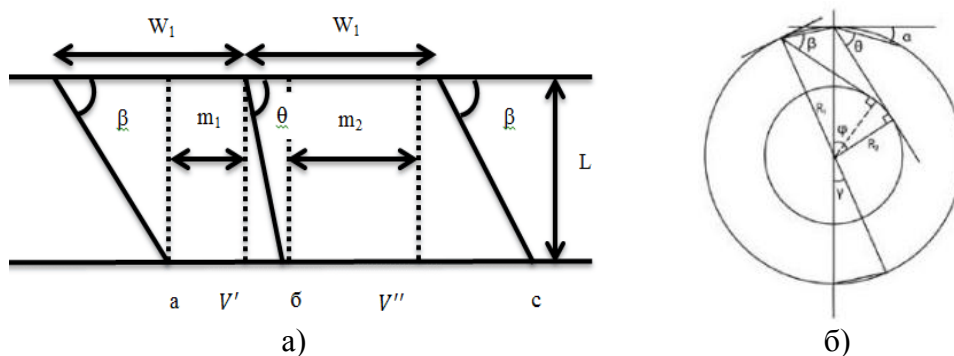
Бунга кўра Бухоро, Навоий вилоятлари ҳамда Қорақалпоғистон Республикаси ҳудудларида шамол энергиясидан фойдаланиш имкониятлари юқори эканлигини кўришимиз мумкин.

Бухоро вилоятининг турли нукталари ва турли баландликдаги шамол оқимининг энергияси қийматлари Вейбул эҳтимоллик тақсимот функциясидан фойдаланиб баҳоланди (3-расмга қаранг). Минтақада шамол энергиясидан фойдаланиш имкониятлари юқори бўлган ҳудудлар, Ғиждувон, Шофиркон, Пешку ва Қоракўл туманлари эканлиги аниқланди.



3-расм. Турли баландликда шамол оқимининг солиштирма энергияси қийматлари

Шамол энергетик қурилмасига қўлланилган ташқи йўналтирувчи сиртларнинг геометрик мақбул ўлчамларини аниқлаш услуби ишлаб чиқилди. 4-расмда шамол энергетик қурилмасига қўлланилган ташқи йўналтирувчи сиртларнинг геометрик ўлчамлари белгиланиш схемаси келтирилган. Бунда шамол оқими V тезлик билан йўналтирувчи сирт қувурчаларига кирганда ундан чиқишидаги тезликлари V' ва V'' икки бурчак β ва θ , сирт юзалари орасидаги минимум масофалар m_1 ва m_2 га боғлиқ бўлиши аниқланди.



а – йўналтирувчи сиртларнинг соддалаштирилган схемаси; б – йўналтирувчи сиртларнинг устки қисмидан кўриниши

4-расм. Ташқи йўналтирувчи сиртларнинг геометрик ўлчамлари белгиланиш схемаси

Йўналтирувчи сиртларнинг вертикал ўққа нисбатан ўрнатилиш β ва θ бурчакларнинг минимум ва максимум қийматларини аниқлаш математик ифодаси қуйидагича:

$$\cos(\alpha + \theta_{\text{мин}}) = \cos(\alpha + \beta_{\text{мин}}) = \frac{R_2}{R_1}, \quad (11)$$

$$\theta_{\text{мин}} = \beta_{\text{мин}} = \arccos\left(\frac{R_2}{R_1} - \alpha\right), \quad (12)$$

$$\alpha = 90^\circ - \frac{(180^\circ - \frac{360^\circ}{N})}{2}, \quad (13)$$

$$\theta_{\text{макс}} = \beta_{\text{макс}} = 90^\circ - \alpha, \quad (14)$$

Иккита йўналтирувчи сирт орасидаги минимум масофаларни қуйидаги математик ифодалар орқали аниқлаймиз:

$$m_1 = \frac{W_1 \text{tg}\beta - L}{\text{tg}\beta}, \quad (15)$$

$$m_2 = \frac{W_1 \text{tg}\theta - L}{\text{tg}\theta}, \quad (16)$$

$$L = \frac{D_1 - D_2}{2}, \quad (17)$$

Шамол оқими кирадиган сирт қувурчасининг энини ҳисоблаш математик ифодаси қуйидагича:

$$W_1 = \sqrt{2R_1^2 - 2R_1^2 \cos\left(\frac{360^\circ}{N}\right)}, \quad (18)$$

бунда R_1 – йўналтирувчи сиртларнинг ташқи радиуси.

Геометрик қонун асосида қуйидаги шартларни қабул қиламиз:

$$(m_1 + m_2) \cdot \frac{N}{2} < \pi D_2, \quad (19)$$

$$m_1 \geq d > 0; \quad m_2 > 0$$

бунда d – ички айланувчи шамол паррагининг ўлчами, м.

Йўналтирувчи сирт қувурчалари орқали йўналтирилган шамол оқимининг тезликларини аниқлаш математик ифодалари қуйидагича:

4-расм (а) даги а ва б соҳа учун

$$V' = V_{\text{ш}} \cdot \left(\frac{\frac{L}{\text{tg}\beta} + m_1}{\frac{L}{\text{tg}\theta} + m_1}\right) \cdot \frac{H_2}{H_1}, \quad (20)$$

4-расм (а) даги б ва с соҳа учун

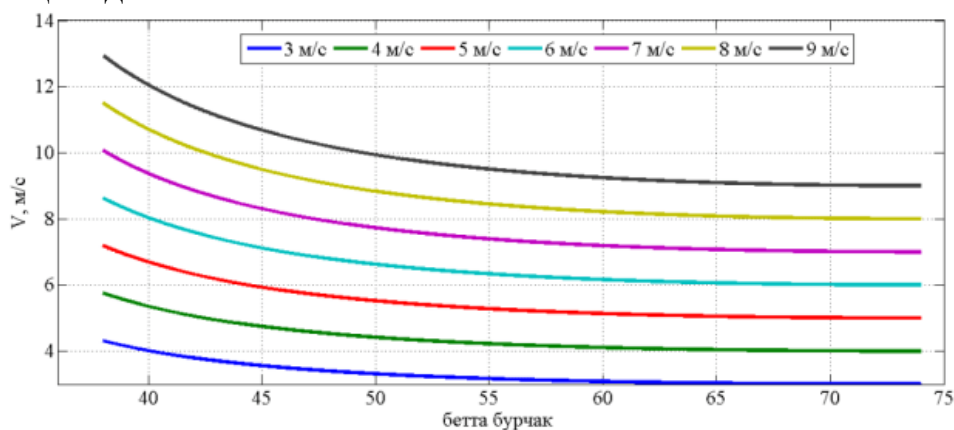
$$V'' = V_{\text{ш}} \cdot \left(\frac{\frac{L}{\text{tg}\theta} + m_2}{\frac{L}{\text{tg}\beta} + m_2}\right) \cdot \frac{H_2}{H_1}, \quad (21)$$

бунда V – йўналтирувчи сирт қувурчаларига кирадиган шамол оқимининг тезлиги, м/с; сирт қувурчаларининг ташқи ва ички баландликлари $H_1 = H_2$ деб қабул қилинган.

Ташқи йўналтирувчи сирт қувурчалар орқали йўналтирилган шамол оқими тезликларини умумий ҳолатга келтириб ҳисоблаймиз. Ушбу ифода қуйидагича аниқланади:

$$V = \frac{v' + v''}{2}, \quad (22)$$

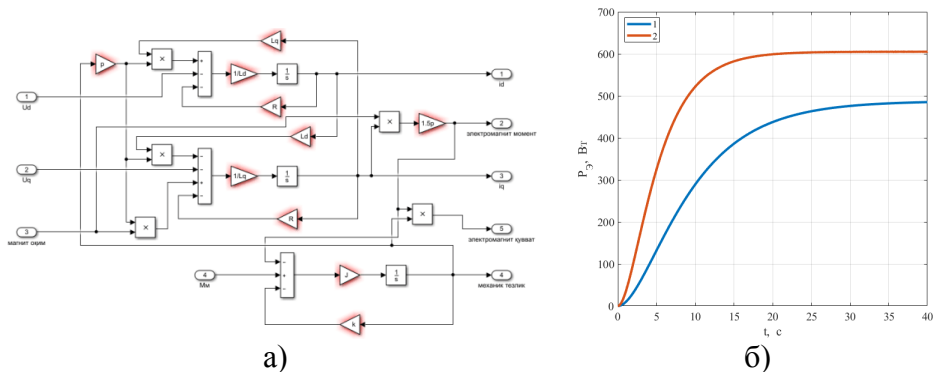
5-расмда келтирилган натижалар, ташқи йўналтирувчи сиртлар орқали йўналтирилган шамол оқими тезлиги ўзгаришининг минимал ва максимал қийматлари йўналтирувчи сиртларнинг вертикал ўққа нисбатан ўрнатилиш β ва θ бурчаклари, m_1 ва m_2 йўналтирувчи сиртлар орасидаги минимум масофаларга боғлиқ бўлиши тадқиқ қилинди. Бунда йўналтирувчи сиртларнинг ташқи диаметри 1,4 м, ички диаметри 1 м, йўналтирувчи сиртлар сони 12 та бўлганда β ва θ бурчаклар (38° - 74°) ҳамда m_1 ва m_2 сиртлар орасидаги масофалар (0,104-0,303) ораликларда ўзгариши геометрик қонунлар ва юқорида келтирилган математик ифодалар орқали ҳисобланди. Демак, йўналтирувчи сиртларнинг геометрик мақбул ўлчамлари $\beta = 38^\circ$, $\theta = 74^\circ$, $m_1 = 0,104$ м, $m_2 = 0,303$ м бўлганда, йўналтирувчи сиртлар орқали йўналтирилган шамол оқими тезлигини 50% гача ошириш имкони мавжуд эканлиги аниқланди.



5-расм. Шамол тезлиги ўзгаришининг ($V_{ш}, \beta, \theta, m_i$) параметрларга боғлиқлик эгри чизиқлари

Шамол энергетик қурилмаси Solidworks дастурида 3d конструкцияси лойиҳаланди ҳамда шамол оқими ҳаракати симуляцияси баҳоланди.

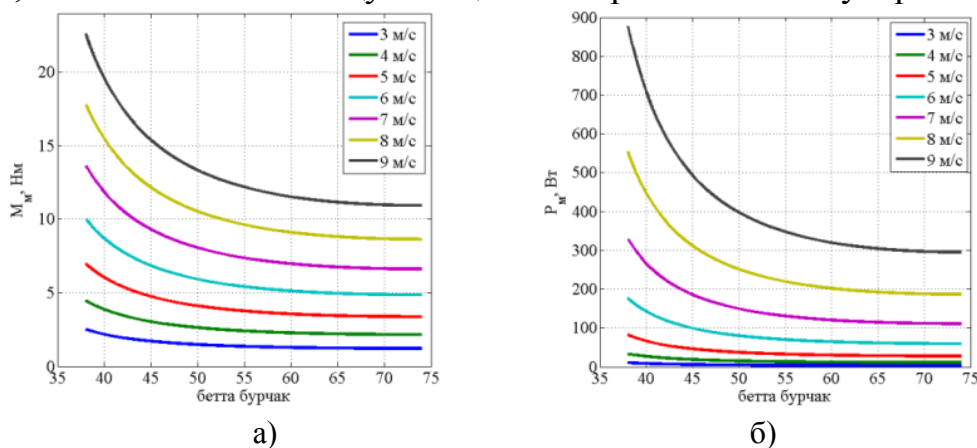
6-расмда статор ва ротори тескари айланадиган электр генераторнинг Matlab/Simulink дастурида қурилган математик модели ва чиқиш параметрининг динамик режимдаги натижалари келтирилган. Электр генераторнинг статор ва ротори бир-бирига нисбатан тескари айланганда, генератор статори қўзғалмас бўлган ҳолатдагига нисбатан самарадорлигини 20% гача ошириш мумкинлиги аниқланди.



а – генераторнинг Matlab/Simulink дастурида қурилган модели; б – генераторнинг электромагнит қувватнинг динамик режимдаги солиштириш натижалари

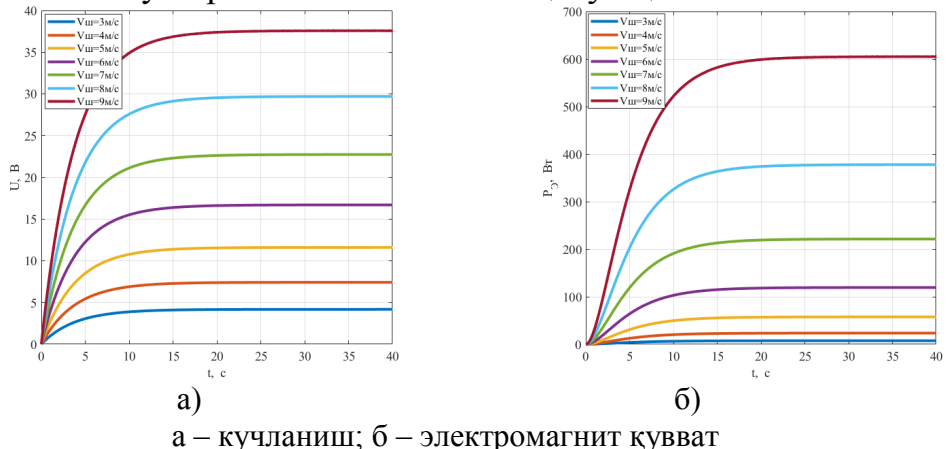
6-расм. Электр генераторнинг математик модели

Шамол тезлигининг механик момент ва механик қувватга боғлиқлик натижалари 7-расмда келтирилган. Ташқи йўналтирувчи сиртларнинг геометрик мақбул ўлчамлари $\beta = 38^\circ$, $\theta = 74^\circ$, $m_1 = 0,104$ м, $m_2 = 0,3030$ м бўлганда, механик момент ва қувват қийматлари максимал бўлар экан.



7-расм. Шамол тезлигининг механик момент (а) ва механик қувват (б) га боғлиқлик эгри чизиқлари

Matlab/Simulink амалий дастурида моделлаштирилган шамол энергетик қурилмасининг динамик режимдаги чиқиш параметрларининг шамол тезлиги ўзгаришига боғлиқлик натижалари келтирилган (8-расмга қаранг). Бунда шамол оқимининг ўзгариш тезлиги 3-9 м/с қабул қилинган.



а – кучланиш; б – электромагнит қувват

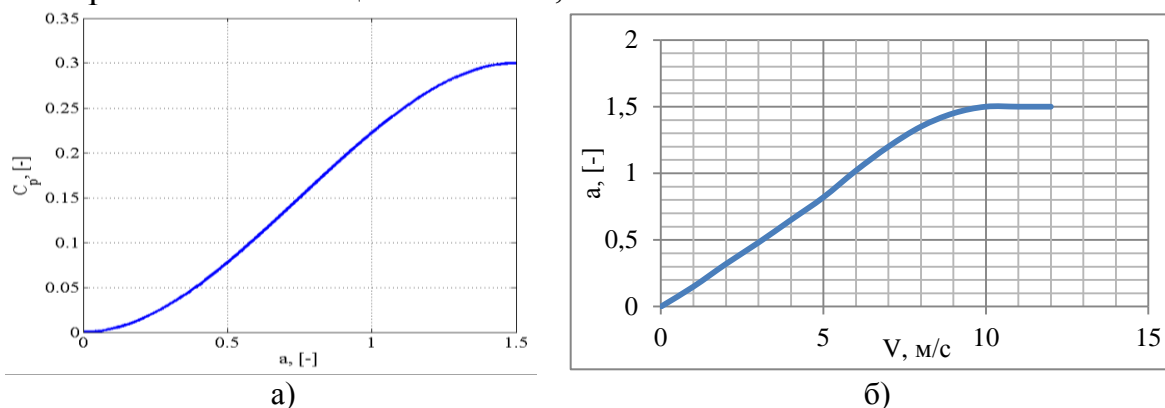
8-расм. Matlab/Simulink амалий дастурида шамол энергетик қурилмасининг динамик режимдаги чиқиш параметрларининг қийматлари келтирилган эгри чизиқлар

Шамол энергетик қурилмаларининг ишлаш самарадорлиги шамол энергиясидан фойдаланиш коэффициентини (C_p) орқали аниқланади⁵.

$$C_p = \left(\frac{3C_{p\max}}{a_{\max}^2} \right) a^2 - \left(\frac{2C_{p\max}}{a_{\max}^3} \right) a^3 \quad (23)$$

$$a = \frac{30\pi n R}{V} \quad (24)$$

бунда n – шамол парракларининг ҳаракатининг механик тезлиги, об/мин; R – шамол турбинаси радиуси, м. V – йўналтирувчи сиртлар орқали йўналтирилган шамол оқими тезлиги, м/с.



9-расм. Шамол энергиясидан фойдаланиш коэффициентининг шамол парраклари тез айланувчанлик коэффициентига боғлиқлик эгри чизиғи (а); шамол парраклари тез айланувчанлик коэффициентининг шамол тезлигига боғлиқлик эгри чизиғи (б)

Диссертациянинг «Шамол энергетик қурилмасининг техник-иқтисодий самарадорлигини баҳолаш» деб номланган тўртинчи бобида ишлаб чиқилган шамол энергетик қурилмасинининг тажриба-синов натижалари, тажриба натижаларини қайта ишлаш асосида олинган эмпирик боғлиқликлар, амалиётда жорий этиш бўйича маълумотлар ва иқтисодий самарадорлик кўрсаткичлари келтирилган.

Эксперимент натижаларини қайта ишлаш асосида йўналтирувчи сиртлар орқали йўналтирилган шамол оқими тезлиги ўзгаришини аниқловчи эмпирик тенгламалар олинди.

$$V' = 0.404 \cdot V_{\text{ш}}^{1.033} \cdot \text{tg}(\beta)^{-0.052} \cdot m_1^{-0.707} \quad (25)$$

$$V'' = 0.669 \cdot V_{\text{ш}}^1 \cdot \text{tg}(\beta)^{0.306} \quad (26)$$

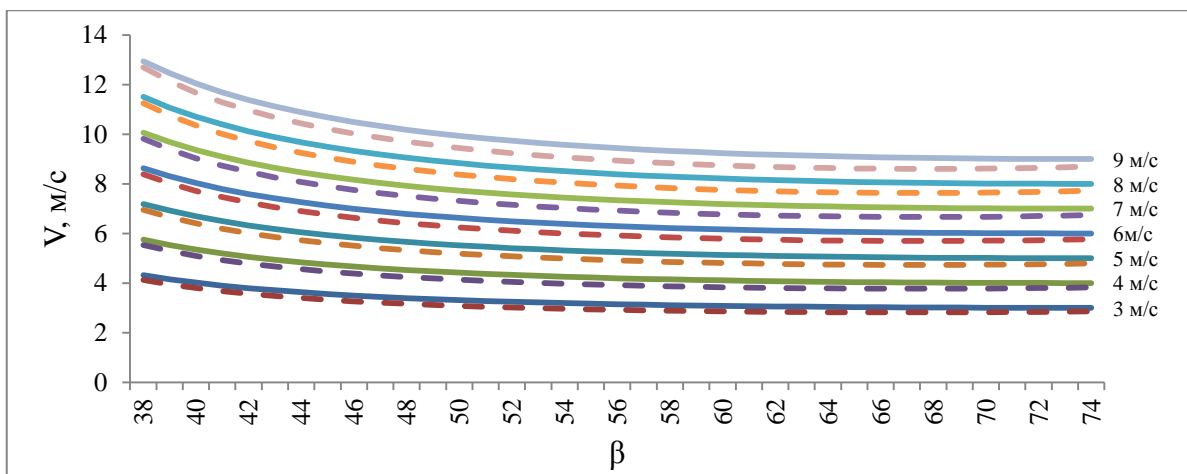
Бунда куйидаги бошланғич шартлар қабул қилинади:

(25) ифода учун: $3 \leq V_{\text{ш}} \leq 9$ м/с; $38^\circ \leq \beta \leq 74^\circ$; $\theta = 74^\circ$; $0,104 \leq m_1 \leq 0,303$ м,

(26) ифода учун: $3 \leq V_{\text{ш}} \leq 9$ м/с; $38^\circ \leq \beta \leq 74^\circ$; $\theta = 74^\circ$; $m_2 = 0,303$ м.

Регрессия тенгламаларининг аҳамиятлилиги Фишернинг F-критерияси ёрдамида баҳоланди. Ҳисоблаб чиқилган қийматларни жадвалдаги қийматлар билан таққослаймиз. Аҳамиятлик даражаси 0,05 га ва эркинлик даражаларининг $\gamma_1 = 63$, $\gamma_2 = 59$ сонида Фишер F-мезонининг ҳисоблаб чиқилган қиймати V' ҳолат учун ($F_{\text{ҳис}} = 1,03$) ва V'' ҳолат учун ($F_{\text{ҳис}} = 0,98$) жадвалдаги қийматидан ($F_{\text{жад}} = 1,53$) кичик, демак, тузилган регрессия тенгламалари аҳамиятли. Ҳисоблашнинг нисбий хатолиги $\pm 6\%$ га тенг.

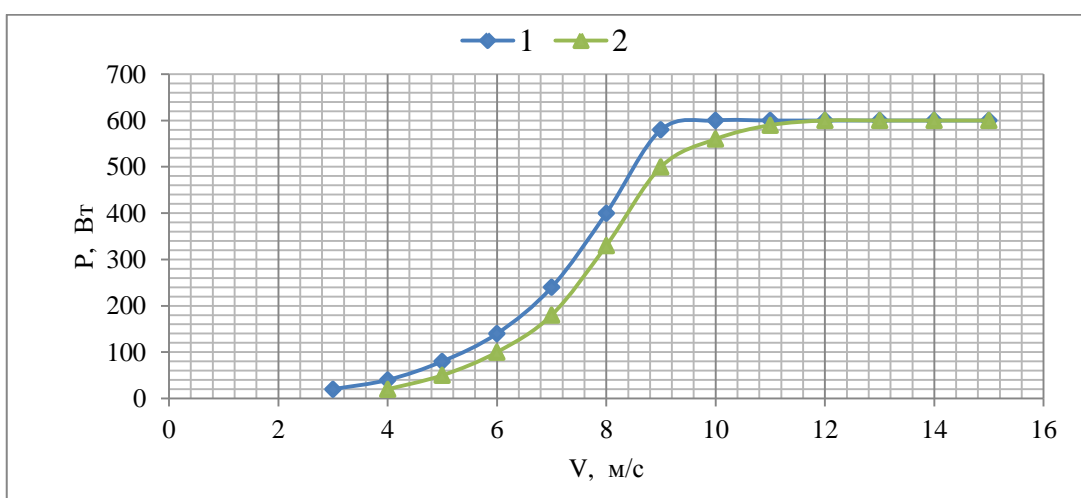
⁵ J.F. Manwell., J.G. McGowan., A.L. Rogers. Wind Energy Explained: Theory, Design and Application 2nd Edition, 2009 John Wiley & Sons Ltd., pp. 705



10-расм. Эксперимент натижаларни қайта ишлаш орқали назарий ва эксперимент натижаларни монандлигини баҳолаш

Олиб борилган назарий ва экспериментал тадқиқотлар натижаларига асосланиб, ташқи йўналтирувчи сиртларнинг геометрик мақбул ўлчамлари ташқи диаметри $D_1 = 1,4$ м, ички диаметри $D_2 = 1$ м, йўналтирувчи сиртлар сони 12 та, йўналтирувчи сиртларнинг вертикал ўққа нисбатан ўрнатилиш бурчаклари $\beta = 38^\circ$, $\theta = 74^\circ$, сиртлар орасидаги минимум масофалар $m_1 = 0,104$ м, $m_2 = 0,303$ м бўлганда, ишлаб чиқилган шамол энергетик қурилмаси кучсиз шамол оқимларида самарадор ишлаши аниқланди.

Ишлаб чиқилган шамол энергетик қурилмасини энг яқин аналог қурилмалар билан солиштириш натижалари 11-расмда келтирилган. 1 – эгри чизиқда ишлаб чиқилган шамол энеретик қурилмаси, 2 – эгри чизиқ энг яқин аналог Хитой давлатида ишлаб чиқилган «GWV-600W»⁶ типли шамол энергетик қурилмаси. Солиштириш натижаларига асосан ишлаб чиқилган шамол энергетик қурилмаси кучсиз шамол оқимларида ишлаш самарадорлиги юқори эканлиги аниқланди.



11-расм. Ишлаб чиқарилган шамол энергетик қурилмасини аналог қурилма билан солиштириш натижалари

⁶ http://www.greatwatt.com/products.asp?Product_ID=21

1-жадвал**Ишлаб чиқарилган шамол энергетик қурилмаси дизел генератор ва электр тармоқни олиб келишдаги иқтисодий самарадорлик кўрсаткичлари билан таққосланди**

Кўрсаткичлар	Ишлаб чиқилган шамол энергетик қурилмаси	Дизел генератор	Электр тармоқ
Ўрнатилган қувват, кВт	4	4	-
Электр тармоқни келтиришда сарфланган харажатлар, млн.сўм	-	-	800
Бир йилда ўртача ишлаб чиқариладиган электр энергия миқдори, кВт·соат	7600	7000	-
Қурилманинг баланс нархи, млн.сўм	36	5	-
Амортизация ажратмалари, млн.сўм	1,04	0,145	27,84
Жорий таъмирлаш харажатлари, млн.сўм	1,08	0,15	7,68
Ёқилғи харажатлари, млн.сўм	-	19,25	-
Эксплуатацион харажатлар, млн.сўм	2,62	19,55	35,52
Ишлаб чиқарилган электр энергияси нархи, 1 кВт·соат сўм	365	2790	-

Ишлаб чиқилган 4 кВт қувватли шамол энергетик қурилмаси бир йилда тахминан, ўртача 4,3 т дизел ёқилғиси тежалиши ва 12,92 тоннадан зиёдроқ карбонат ангидрид (CO_2) гази атмосферага чиқариб юборилишининг олди олинганлиги аниқланди.

Диссертациянинг иловаларида Вейбул эҳтимоллик тақсимот функциясидаги шакл ва масштаб параметрларни ҳисоблаш натижалари, шамол тезлиги такрорланувчанлиги (роза ветров) маълумотлари, турли баландликдаги шамол энергиясини салоҳиятини аниқлаш ЭҲМ дастури имкониятлари ҳамда жорий этиш далолатномалари келтирилган.

ХУЛОСА

Диссертация мавзуси бўйича олиб борилган назарий ва амалий тадқиқотлар натижасида қуйидаги умумий хулосалар шакллантирилди:

1. Бухоро вилоятининг метеомаълумотларини статик қайта ишлаш орқали турли баландликдаги шамол энергияси ресурслар салоҳиятини ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилиб, ЭҲМ дастури учун гувоҳнома олинган. Гиждувон, Шофиркон, Пешку, Олот, Қоракўл ҳудудларида шамол энергиясидан фойдаланиш имкониятлари юқори эканлиги аниқланган.

2. Ташқи йўналтирувчи сирт қувурчалари орқали йўналтирилган шамол оқими ўзгариш тезлиги $V_{ум}$ ни аниқлашда йўналтирувчи сиртларни вертикал ўққа нисбатан қиялик бурчаклари β ва θ , сиртлар орасидаги минимум масофалар m_1 ва m_2 ларга боғлиқ ҳолда аниқлаш имконини берадиган аналитик ифодалар олинган.

3. Ташқи йўналтирувчи сиртларнинг вертикал ўққа нисбатан ўрнатилиш бурчаклари $\beta=38^\circ$ ва $\theta=74^\circ$, йўналтирувчи сиртлар орасидаги минимум масофалар $m_1=0,104$ м, $m_2=0,303$ м бўлганда шамол турбинасида барқарор ва ўзгармас айлантирувчи моментни максимал қийматига эришиш шартлари аниқланган.

4. Ишлаб чиқилган шамол энергетик қурилмасига ташқи йўналтирувчи сиртлар ҳамда статор ва ротори бир-бирига нисбатан тескари айланадиган паст частотали электр генераторни қўлланилиши ҳисобига, кучсиз шамол оқимларида энергия ишлаб чиқариш ҳажми 20% гача ошириш имкони яратилган.

5. Кучсиз шамол оқимларида барқарор ишловчи шамол энергетик қурилмасининг янги конструкцияси ишлаб чиқилган ва унинг конструктив ўлчамлари ҳамда электр генераторнинг техник-иктисодий кўрсаткичларига боғлиқлиги ўрганилган.

6. Ташқи йўналтирувчи сирт қувурчаларида олинган тажриба натижалари умумлаштирилиб, сирт қувурчаларида шамол оқими тезлиги ўзгариш қийматини аниқлаш учун хатолиги $\pm 6\%$ бўлган юқори аниқликдаги эмпирик тенгламалар ишлаб чиқилган.

7. Статор ва ротори бир-бирига нисбатан тескари айланадиган кўп қутбли электрогенератор тайёрлаш технологияси ишлаб чиқилди ҳамда генераторнинг турли шамол оқими тезлигига боғлиқлик энергетик параметрлар қийматининг ўзгариши ўрганилган.

8. Қуввати 4 кВт бўлган шамол энергетик қурилмасининг жорий этишдаги иқтисодий самарадорлиги «Соф дисконт» усулидан фойдаланиб баҳоланган. Бунда соф жорий қиймат 70 млн.сўмни, статик қоплаш муддати 2,13 йил ва динамик қоплаш муддати 4,16 йил эканлиги аниқланди. Шамол энергетик қурилмасини Бухоро вилоятининг иқлим шароитларида тахминан, 6,321 т.ш.ё тежалиши ва 12,92 тоннадан зиёд карбонат ангидрид (CO_2) гази атмосферага чиқариб юборилишининг олдини олиш имконини беради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/30.09.2020.Т.111.03 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ КАРШИНСКОМ ИНЖЕНЕРНО-
ЭКОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

САФАРОВ АЛИШЕР БЕКМУРОДОВИЧ

**СОЗДАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
УСТАНОВКИ, АДАПТИРОВАННОЙ К КЛИМАТИЧЕСКИМ
УСЛОВИЯМ БУХАРСКОЙ ОБЛАСТИ**

05.05.06 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

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

Тема диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2020.4.PhD/Т777.

Диссертация выполнена в Бухарском инженерно-технологическом институте.

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

Научный руководитель:	Садуллаев Насулло Нематович доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Тоиров Олимжон Зувурович доктор технических наук, профессор Уришев Боборахим Уришевич доктор технических наук, доцент
Ведущая организация:	Ташкентский институт инженеров иригации и механизации сельского хозяйства

Защита диссертации состоится 24 июня 2021 года в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета PhD.03/30.09.2020.Т.111.03 при Каршинском инженерно-экономическом институте. (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик, 225. Тел: (99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-95, e-mail: kiei_info@edu.uz.)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Каршинского инженерно-экономического института (зарегистрировано № 6). (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик, 225. Тел: (99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-95, e-mail: kiei_info@edu.uz.)

Автореферат диссертации разослан 9 июня 2021 года.
(реестр протокола рассылки № 1 от 9 июня 2021 года).



ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире использование возобновляемых источников энергии занимает одно из ведущих мест по экономии топливно-энергетических ресурсов, повышению надежности и бесперебойности энергоснабжения. «Учитывая, что запланированное увеличение доли использования возобновляемых источников энергии на 32%, энергоэффективности на 32,5%, уменьшение выбросов и парниковых газов как минимум на 40% на мировом уровне в период с 2021 по 2030 года»¹, требует внедрения на практике ветроэнергетических установок, повышающих бесперебойность и надежность энергии. В связи с этим, использование ветроэнергетических установок, адаптированных к климатическим условиям региона имеет важное значение.

В мире ведутся научно-исследовательские работы, направленные на создание оптимальных конструкций ветроэнергетических установок для энергопотребителей малой мощности и научное обоснование их параметров. В связи с этим, особое внимание уделяется созданию ветроэнергетических установок адаптированных к климатическим условиям, обоснованию процесса технологической работы и энергетических параметров.

В республике достигнуты определенные результаты по принятию комплексных мер и расширению использования энергии ветра в энергетических сетях, разработки усовершенствованных ветроэнергетических установок на основе энергосберегающих технологий. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы, определены задачи: «...внедрения инновационных технологий, научно-технических разработок в сфере развития возобновляемой энергетики и повышения энергоэффективности, расширение производства и локализации энергосберегающего оборудования и приборов, в том числе путем трансфера технологий и создания инженерных центров...»². При реализации этих задач, большое значение имеет создание научно-технических решений по созданию ветроэнергетических установок предназначенных для выработки электроэнергии с использованием энергии ветра, а также обоснованию оптимальных параметров.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-3012 от 26 мая 2017 года «О Программе мероприятий по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, энергоэффективности в экономике и социальной сфере на 2017-2021 годы» и № ПП-4422 от 22 августа 2019 года «Об оперативных мерах по повышению энергоэффективности экономического и социального секторов, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников

¹ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en

² Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

энергии», а также других нормативно-правовых документов, принятых в данной области.

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

Степень изученности проблемы. Научные исследования, направленные на разработку научно-технических решений по созданию энергетических установок, предназначенных для выработки электроэнергии с использованием энергии ветра, были проведены известными учеными П.П. Безруких, В.Т. Чонг, Ванг Чо, Кооксун Ли, Н.Е. Жуковским, Я.И. Шефтером, Е.М. Фатеевым, Ж.М. Дарриусом, С.Ж. Савониусом, А.М. Рашам, К.М. Азад, Е.В. Соломин, В.В. Елистратовым, С.Г. Обуховым и др.

В республике научные исследования по использованию возобновляемых источников энергии, улучшению и увеличению эффективности ветроэнергетических установок были проведены К.Р. Аллаевым, Р.А. Захидовым, У.А. Таджиевым, К.Т. Алимходжаевым, У.Г. Дехконовым и другими учеными.

Несмотря на положительные результаты данных исследований по использованию энергии ветра и проектированию ветроэлектростанций в районах, удаленных от централизованного электроснабжения, недостаточно проведены исследования по разработке ветроэнергетических установок, предназначенных для работы при переменных и слабых потоках ветра, адаптированных к южным регионам нашей республики.

Связь диссертационного исследования с планом научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательской работы Бухарского инженерно-технологического института в рамках фундаментального проекта ОТ-Ф2-62 «Развитие теории построения интеллектуальной сети промышленного предприятия на основе обобщенного показателя эффективности системы электроснабжения».

Целью исследования является разработка ветроэнергетической установки с вертикальной осью, работающей при малых потоках ветра и обоснование её параметров.

Задачи исследования:

оценка потенциала ветроэнергетических ресурсов на разных высотах в Бухарской области;

разработка нового типа ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения, адаптированной к климатическим условиям;

разработка математической модели, описывающей зависимость конструктивных размеров и энергетических параметров ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения от скорости потока ветра;

определение оптимальных геометрических параметров внешних направляющих поверхностей при определении стабильного и постоянного крутящего момента ветроэнергетической установки;

определение зависимости изменчивости направленного потока ветра от оптимальных геометрических размеров внешних направляющих поверхностей.

Объектом исследования является ветроэнергетическая установка с вертикальной осью, работающая при слабых потоках ветра и ее процесс технологической работы.

Предметом исследования являются закономерности изменения в зависимости от количества оборотов вертикальной оси и параметров ветроэнергетической установки, работающей при слабых потоках ветра.

Методы исследования. В процессе исследования применены методы математического моделирования, теория математической статистики, теория вероятностей и экспериментального планирования.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана ветроэнергетическая установка, содержащая внешние направляющие поверхности с вертикальной осью, на которой установлены ветряные колеса с лопастями, наклоненными относительно к вертикальной оси на ширину расстояния между лопастями, вращающимися в разные стороны, а также многополюсный аксиальный генератор, статор и ротор которого вращаются в противоположные стороны;

усовершенствована конструкция электрогенератора ветроэнергетической установки, статор и ротор которого вращаются в противоположные стороны, позволяя получать электроэнергию при переменных и слабых потоках ветра с учетом потенциала энергии ветра;

обоснован способ обеспечения непрерывного ветрового потока, направленного на установку и уменьшение сил противодействия, влияющих на лопасти с учётом геометрических размеров внешних направляющих поверхностей и изменяющейся скорости ветрового потока проходящего через них;

определены коэффициенты использования энергии ветра, выработки энергии и мощности, с учётом скорости потока ветра на различных высотах в ветроэнергетической установке с вертикальной осью, работающей при слабых потоках ветра.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана ветроэнергетическая установка с вертикальной осью, стабильно работающая при слабых потоках ветра, для потребителей отдаленных районов, расположенных вдали от централизованного электроснабжения;

установлено уменьшение габаритов установки, сокращение трудозатрат, энергии и ресурсов за счет противоположного вращения статора и

состоящего из постоянных магнитов ротора усовершенствованного электрогенератора.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования подтверждается тем, что исследования проводились с использованием современных методов и средств измерений, с применением методов математического моделирования при обработке и проверке результатов эксперимента, проведением экспериментов в естественных условиях, взаимной адекватности теоретических и экспериментальных исследований. Разработанная ветроэнергетическая установка с вертикальной осью, работающая при малых потоках ветра, адаптированная к климатическим условиям, обоснована положительными результатами исследования и внедрением в практику.

Научная и практическая значимость результатов исследования:

научная значимость результатов исследования заключается в том, что параметры ветроэнергетической установки, адаптированной к климатическим условиям, основаны на алгоритме оценки потенциала ветроэнергетических ресурсов на разных высотах, а также на полученных математических моделях и аналитических связях, могут быть использованы для обоснования параметров других ветроустановок.

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что разработанная ветроэнергетическая установка работает на уровне востребованности в районах с высоким ресурсным потенциалом, что снижает затраты на топливно-энергетические ресурсы.

Внедрение результатов исследования. На основе обоснования параметров полученных результатов, а также разработки ветроэнергетической установки адаптированной к климатическим условиям Бухарской области:

получен патент на полезную модель Агентства по интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистан (№ FAP 01607, 23.03.2021 й.) для ветроэнергетической установки с вертикальной осью, адаптированной к климатическим условиям, работающей при малых потоках ветра. В результате создана возможность увеличения производства энергии в среднем на 20% при переменных и слабых потоках ветра;

усовершенствована конструкция электрогенератора ветроэнергетической установки, статор и ротор которого вращаются в противоположные стороны, что обеспечивает эффективную работу в районах с низкой скоростью ветра (справка Министерства сельского хозяйства от 26 октября 2020 года, 02/021-3461). В результате была достигнута надежность и бесперебойность выработки электроэнергии при скорости ветра в диапазоне 2,5-8,0 м/с;

вертикальноосевая ветроэнергетическая установка с аксиальным многополюсным генератором, статор и ротор которого вращаются в противоположные стороны, надежно работающая при слабых потоках ветра, внедрена на фермерском хозяйстве «Вухого zarhal teks», расположенном в Шафирканском районе Бухарской области (справка Министерства сельского

хозяйства от 26 октября 2020 года, 02/021-3461). В результате ветроэнергетическая установка мощностью 4 кВт может вырабатывать 7600 кВт·ч электроэнергии в год и сэкономить 85 миллионов сумов в год по сравнению с централизованной системой электроснабжения.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждались на 2-х международных и 3-х республиканских научных конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 20 научных работ, из них в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации доктора философии (PhD) 11, в том числе 8 в республиканских и 3 в зарубежных журналах, а также получен 1 патент на полезную модель Агентства по Интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении приводится обоснование актуальности и востребованности исследования, охарактеризованы цели и задачи, объект и предметы исследования, показаны соответствия приоритетных направлений в развитии науки и технологий в нашей республике, обзор зарубежных исследований на тему диссертации, описываются научная новизна и практические результаты исследования, раскрыты научная и практическая значимости полученных результатов и внедрение результатов исследований на практике, сведения об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Современное состояние и перспективы использования энергии ветра»** представлен анализ методологии оценки потенциала ветроэнергетических ресурсов, состояние исследований в области ветроэнергетических установок, применяемых при слабых потоках ветра, анализ результатов конструктивных решений. Представлено применение внешних направляющих поверхностей в ветроэнергетической установке и методика определения оптимальных геометрических размеров, а также анализ научных исследований тихоходных электрических генераторов применительно к ветроэнергетическим установкам. На основании вышеизложенного определены цели и задачи исследования.

Вторая глава диссертации, озаглавленная **«Оценка потенциала ветровой энергии и математические выражения ветроэнергетического устройства»**, посвящена методологии оценки ветроэнергетического потенциала на различных высотах, разработке математических моделей зависимости скорости потока ветра от конструктивных размеров ветроэнергетической установки и энергетических параметров.

Одним из важных требований при эффективном использовании ветроэнергетической установки является точная оценка ветроэнергетического потенциала региона. Для надежной оценки ветроэнергетического потенциала на различных высотах при статической переработке данных средней скорости ветра, широко применяются функции распределения вероятностей Вейбулла и Релея. При оценке характеристик скорости ветра следует определять интегральные функции плотности и распределения Вейбулла и Релея. Были использованы следующие математические выражения:

Распределение Вейбулла:

$$f(\bar{v}) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^k}, \quad 0 \leq \bar{v} \leq \infty \quad (1)$$

$$F(\bar{v}) = \int_0^{\bar{v}} f(\bar{v}) d\bar{v} = 1 - e^{-\left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^k}, \quad 1 \leq k \leq 10 \quad (2)$$

Распределение Релея:

$$f(\bar{v}) = \frac{2\bar{v}}{c^2} \cdot e^{-\left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^2}, \quad 0 \leq \bar{v} \leq \infty \quad (3)$$

$$F(\bar{v}) = \int_0^{\bar{v}} f(\bar{v}) d\bar{v} = 1 - e^{-\left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^2}, \quad k = 2 \quad (4)$$

где k - параметр формы (в зависимости от расположения региона); c - параметр, определяющий масштаб распределения функции (параметр зависящий от средней скорости ветра м/с).

Изменение скорости ветра на различных высотах зависит от плотности, давления и температуры воздушного потока, то есть с увеличением высоты также увеличивается и скорость ветра. Математическое выражение зависимости изменения скорости ветра от высоты имеет следующий вид:

$$V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^\alpha, \quad (5)$$

где V_2 - скорость ветра, измеренная на определенной высоте м/с; V_1 - скорость ветра, измеренная на начальной высоте, м/с; H_1 - начальная высота, м; H_2 - выбранная высота, м; α - коэффициент возрастания скоростей ветра на разных высотах.

Определив параметры (k , c) при помощи функции вероятностей распределения Вейбулла и Релея, можно рассчитать удельную мощность и энергию потока ветра. Эти параметры определяются следующими математическими выражениями:

Распределение Вейбулла:

$$P_B = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right), \quad (6)$$

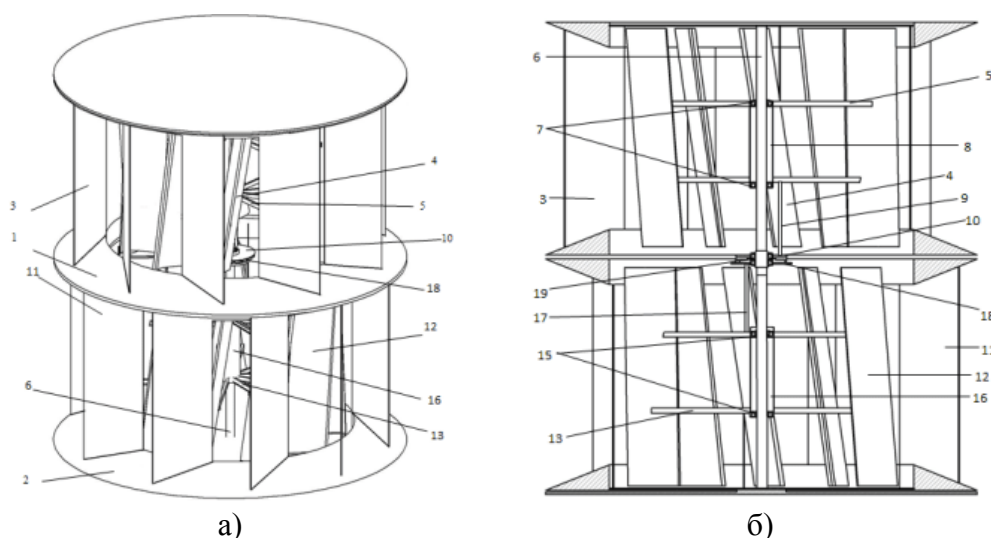
Распределение Релея:

$$P_P = \frac{3}{\pi} \rho c^3 \left(\frac{\pi}{4}\right)^{\frac{3}{2}}, \quad (7)$$

где P_B и P_P - удельная мощность, определенная при помощи функции распределения вероятностей Вейбулла и Релея, Вт/м²; ρ - плотность воздушного потока, кг/м³; Γ - гамма-функция.

Разработана ветроэнергетическая установка с вертикальной осью, адаптированная к климатическим условиям нашей республики и эффективно

работающая при переменных и слабых потоках ветра. Общая схема установки представлена на рисунке 1.



1-верхняя турбина; 2-нижняя турбина; 3-внешние направляющие поверхности (верхние); 4-вращающиеся лопасти (верхние); 5- специальные профили (для закрепления верхних лопастей); 6-общий вал; 7,15-конические подшипники; 8,16- труба (верхняя и нижняя); 9,17- металлический профиль (верхний и нижний); 10-ротор; 11-внешние направляющие поверхности (нижние); 12- вращающиеся лопасти (нижние); 13-специальные профили (для закрепления нижних лопастей); 18-статор.

а - внешний вид; б - вид установки с разрезом спереди

Рисунок 1. Общая схема ветроэнергетической установки

Для эффективной работы ветроэнергетической установки были применены внешние направляющие поверхности. Математическое выражение зависимости скоростей ветрового потока, входящего и выходящего из канала внешних направляющих поверхностей, от геометрических размеров канала внешних направляющих имеет следующий вид:

$$\frac{v_1}{v_2} \approx \frac{W_2 \cdot H_2}{W_1 \cdot H_1} = \frac{\left[\frac{D_2 - D_1}{2 \operatorname{tg} \theta} + m \right] \cdot H_2}{\left[\frac{D_2 - D_1}{2 \operatorname{tg} \beta} + m \right] \cdot H_1} = \left(\frac{k + \operatorname{tg} \theta}{k + \operatorname{tg} \beta} \right) \cdot \left(\frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \theta} \right) \cdot \left(\frac{H_2}{H_1} \right) \quad (8)$$

где D_1, D_2 - наружный и внутренний диаметры поверхностных каналов, на которые направлен ветровой поток; θ, β - углы между поверхностными каналами, на которые направлен поток ветра; m - минимальное расстояние между поверхностными каналами, на которое направлен ветровой поток; k - коэффициент конструкции.

Для определения параметров механического движения, создаваемого установкой под действием потока ветра, использовались следующие математические выражения:

$$\begin{cases} M_M = \frac{1}{2} \rho S R \left[\sum_{i=1}^{i=m} C_d (V \cos(\alpha_i) - \omega_M R)^2 \right] \\ P_M = \omega_M \cdot M_M \\ \omega_M = \frac{a \cdot V}{R} \\ J \frac{d\omega_M}{dt} = M_M - M_\Gamma - k \omega_M \end{cases} \quad (9)$$

где M_m – механический момент, Н·м; ω_m – механическая скорость, рад/с; J – момент инерции установки, кг·м²; k – коэффициент трения; R – радиус внутреннего вращающегося ветроколеса, м; V – скорость ветра, м/с; C_d – коэффициент сопротивления (принимается равным 2,3)³; a – коэффициент быстрого вращения ветряных лопастей; α_1 – угол между лопастью и потоком ветра; m – количество лопастей.

При проектировании конструкции и определении энергетических параметров электрогенератора, применяемого к ветроэнергетической установке, были использованы следующие дифференциальные уравнения и математические выражения:

$$\begin{cases} U_d = R_s i_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega L_q i_q \\ U_q = R_s i_q + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega L_d i_d + \omega \psi_{PM} \\ L_d = L_q = m \mu_0 \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{Nk_w}{p}\right)^2 \cdot \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{g'} \\ P_3 = \frac{3}{2} \omega [\psi_{PM} + (L_d - L_q) i_d] i_q \\ M_r = \frac{3}{2} p [\psi_{PM} + (L_d - L_q) i_d] i_q \\ \omega = p \cdot (\omega_{1M} + \omega_{2M}) \\ J \frac{d\omega_m}{dt} = M_m - M_3 - k\omega_m \end{cases} \quad (10)$$

где M_m – механический момент, Н·м; M_r – электромагнитный момент, Н·м; P_3 – мощность электромагнитного излучения, Вт; ω_m – механическая скорость, рад/с; ω – скорость вращения магнитного поля генератора, рад/с; J – момент инерции генератора, кг·м²; k – коэффициент трения; p – количество пар полюсов магнитов; L_d и L_q – индуктивность по осям d и q , Гн; U_d и U_q – напряжение статора по осям d и q , В; i_d и i_q – ток статора по осям d и q , А; ψ_{PM} – магнитный поток, Вб; ω_{1M} – частота вращения ротора генератора, рад/с; ω_{2M} – частота вращения статора генератора, рад/с; N – количество витков обмотки статора; m – количество фаз; R_1 – наружный диаметр статора, м; R_2 – внутренний диаметр статора, м; g' – эквивалентный воздушный зазор по осям d и q для конфигурации поверхности, м.

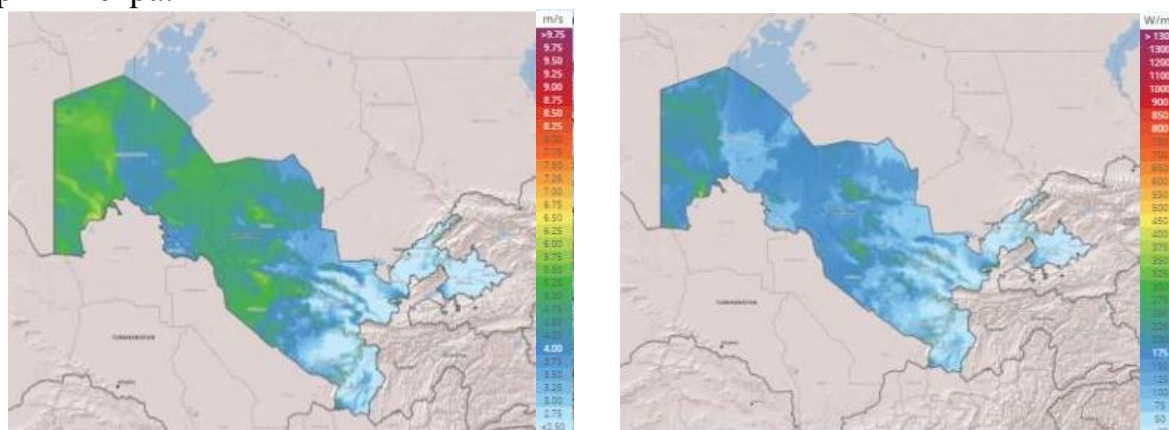
В третьей главе диссертации, озаглавленной «**Аналитическое исследование ветроэнергетического оборудования**», представлена оценка ветроэнергетических ресурсов на различных высотах, метод определения геометрически оптимальных размеров внешних направляющих поверхностей, применяемых к ветроэнергетической установке, а также результаты зависимости выходных параметров генератора от скорости потока ветра.

На рисунке 2 представлена ветровая карта региона, разработанная на основе технологий географических информационных систем (GIS)⁴. Согласно рисунку можно увидеть, что в Бухарской, Навоийской областях и

³ R.D. Blevins. Applied Fluid Dynamic Handbook, Krieger, Florida (2003). pp.180

⁴ <https://globalwindatlas.info/area/Uzbekistan>

Республике Каракалпакстан есть большой потенциал для использования энергии ветра.



а) - данные о средней скорости ветра на высоте 10 м; б) - данные удельной мощности ветрового потока на высоте 10 м

Рисунок 2. Ветровая карта нашего региона

При помощи функции вероятностей распределения Вейбулла было оценено значение удельной энергии в различных точках и на различных высотах Бухарской области (см. Рисунок 3). Было установлено, что Гиждуванский, Шафирканский, Пешкусский и Каракульский районы имеют самый высокий потенциал энергии ветра в регионе.

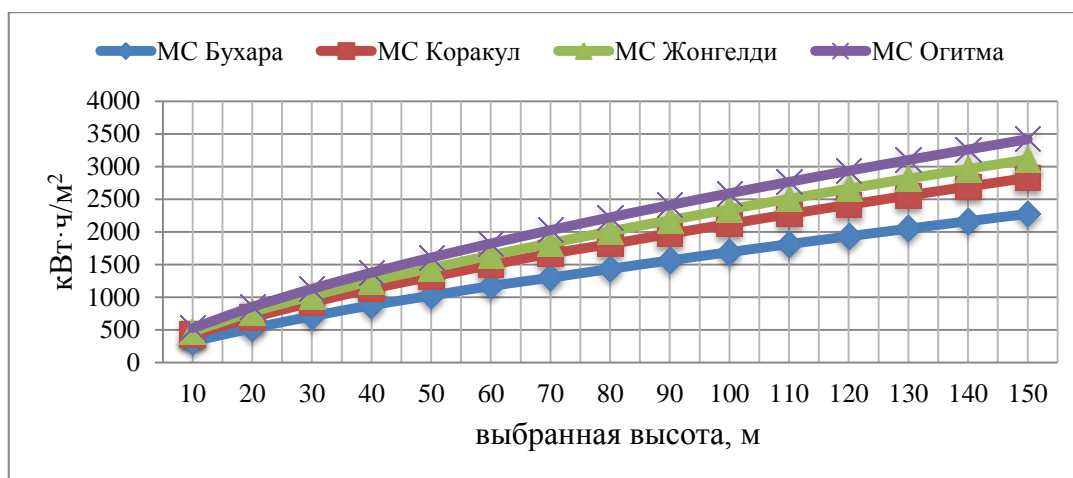
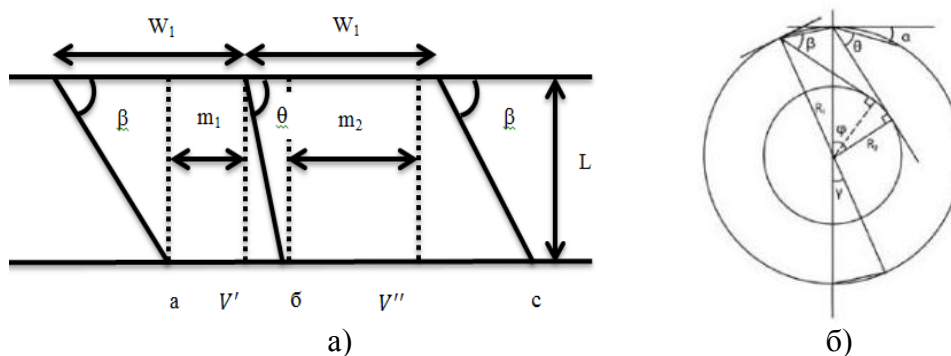


Рисунок 3. Значения удельной энергии потока ветра на различных высотах

Разработан метод определения геометрически оптимальных размеров внешних направляющих поверхностей, применяемых в ветроэнергетической установке. На рис. 4 показана схема определения геометрических размеров внешних направляющих поверхностей, применяемых в ветроэнергетической установке. Было определено, что при входе ветра в канал внешних направляющих поверхностей со скоростью V , выходит из них со скоростями V' и V'' , которые зависят от минимальных расстояний между направляющими поверхностями m_1 и m_2 , и двух углов β и θ между поверхностями.



а - упрощенная схема направляющих поверхностей; б - вид сверху на направляющие поверхности

Рисунок 4. Схема геометрических размеров внешних направляющих поверхностей

Математическое выражение для определения минимального и максимального значения углов β и θ относительно вертикальной оси направляющих поверхностей выглядит следующим образом:

$$\cos(\alpha + \theta_{\text{мин}}) = \cos(\alpha + \beta_{\text{мин}}) = \frac{R_2}{R_1}, \quad (11)$$

$$\theta_{\text{мин}} = \beta_{\text{мин}} = \arccos\left(\frac{R_2}{R_1} - \alpha\right), \quad (12)$$

$$\alpha = 90^\circ - \frac{(180^\circ - 360^\circ)}{N}, \quad (13)$$

$$\theta_{\text{макс}} = \beta_{\text{макс}} = 90^\circ - \alpha, \quad (14)$$

Минимальное расстояние между двумя направляющими поверхностями определяется при помощи следующих математических выражений:

$$m_1 = \frac{W_1 \text{tg}\beta - L}{\text{tg}\beta}, \quad (15)$$

$$m_2 = \frac{W_1 \text{tg}\theta - L}{\text{tg}\theta}, \quad (16)$$

$$L = \frac{D_1 - D_2}{2}, \quad (17)$$

Математическое выражение для расчета ширины канала, образованного направляющими поверхностями, в который входит поток ветра, выглядит следующим образом:

$$W_1 = \sqrt{2R_1^2 - 2R_1^2 \cos\left(\frac{360^\circ}{N}\right)}, \quad (18)$$

где R_1 - внешний радиус направляющих поверхностей.

Исходя из геометрического закона, принимаем следующие условия:

$$(m_1 + m_2) \cdot \frac{N}{2} < \pi D_2, \quad (19)$$

$$m_1 \geq d > 0; \quad m_2 > 0$$

где d – размер хорды лопасти, м.

Для определения скорости потока ветра, направленного через внешние направляющие поверхности используются следующие математические выражения:

Рисунок 4 (а) для участка а и б

$$V' = V_{\text{ш}} \cdot \left(\frac{\frac{L}{\text{tg}\beta} + m_1}{\frac{L}{\text{tg}\theta} + m_1}\right) \cdot \frac{H_2}{H_1}, \quad (20)$$

Рисунок 4 (а) для участка б и с

$$V'' = V_{\text{ш}} \cdot \left(\frac{\frac{L}{\text{tg}\theta} + m_2}{\frac{L}{\text{tg}\beta} + m_2}\right) \cdot \frac{H_2}{H_1}, \quad (21)$$

где V - скорость ветрового потока, поступающего в канал образованный направляющими поверхностями, м/с; внешняя и внутренняя высота направляющего канала принималась равной $H_1 = H_2$.

Рассчитаем общую скорость ветрового потока, направленного через канал внешних направляющих поверхностей. Это выражение определяется следующим образом:

$$V = \frac{v' + v''}{2}, \quad (22)$$

Результаты исследования, приведенные на рисунке 5, показывают зависимость изменения скорости потока ветра, проходящего через внешние направляющие поверхности от минимального и максимального значения углов β и θ по отношению к вертикальной оси и минимальные расстояния между направляющими поверхностями m_1 и m_2 . Согласно этому, пользуясь геометрическими законами и математическими выражениями было установлено, что внешний диаметр направляющих поверхностей составил 1,4 м, внутренний диаметр 1 м, углы β и θ (38° - 74°), расстояния между направляющими поверхностями m_1 и m_2 (0,104-0,303) м при количестве внешних направляющих поверхностей 12 штук. Следовательно, когда геометрически оптимальные размеры направляющих поверхностей составили $\beta=38^\circ$, $\theta=74^\circ$, $m_1=0,104$ м, $m_2=0,303$ м, было обнаружено, что можно увеличить скорость направленного ветрового потока через внешние направляющие поверхности до 50%.

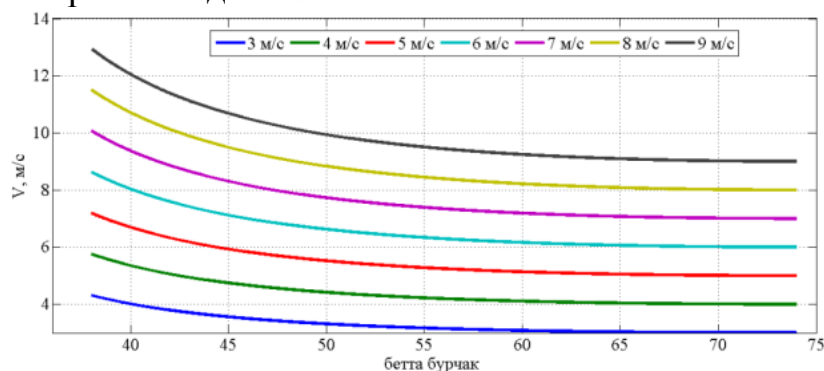
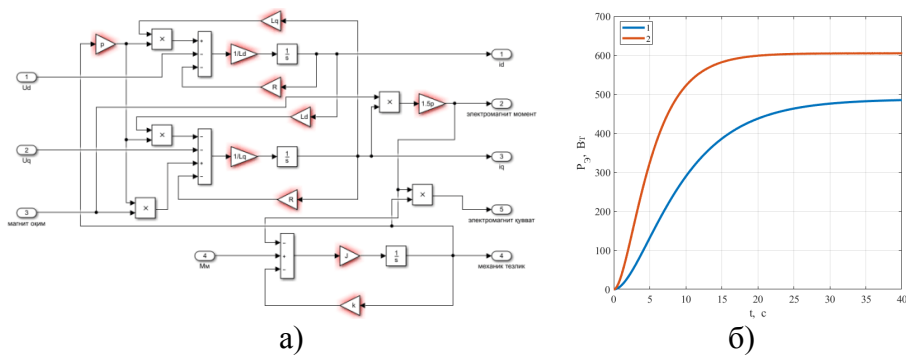


Рисунок 5. Кривые зависимости параметров изменения скорости ветра ($V_{ш}$, β , θ , m_i)

В программе Solidworks была разработана трехмерная конструкция ветроэнергетической установки и проведена оценка моделирования движения ветрового потока.

На рисунке 6 показана построенная в программе Matlab/Simulink математическая модель генератора, статор и ротор которого вращаются в противоположные стороны, и результаты выходных параметров в динамическом режиме. Было обнаружено, что когда статор и ротор генератора вращаются в противоположные стороны относительно друг друга, эффективность генератора может быть увеличена до 20% по сравнению с неподвижным статором.



а - модель генератора, построенного в программе Matlab/Simulink;
 б - результаты сравнения электромагнитной мощности генератора в динамическом режиме

Рисунок 6. Математическая модель электрогенератора

На рисунке 7 приведены результаты зависимости скорости ветра от механического момента и механической мощности. Было установлено, что при геометрически оптимальных размерах, равными $\beta=38^\circ$, $\theta=74^\circ$, $m_1=0,104$ м, $m_2=0,303$ м, механическая мощность и механический момент получают свое максимальное значение.

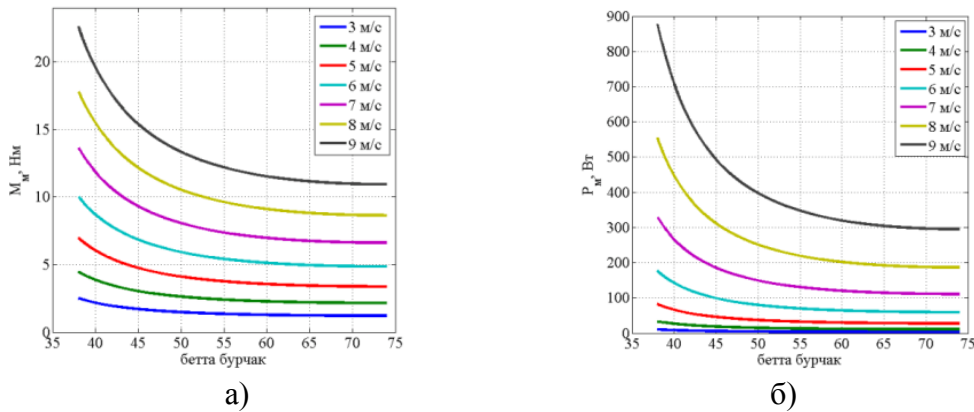
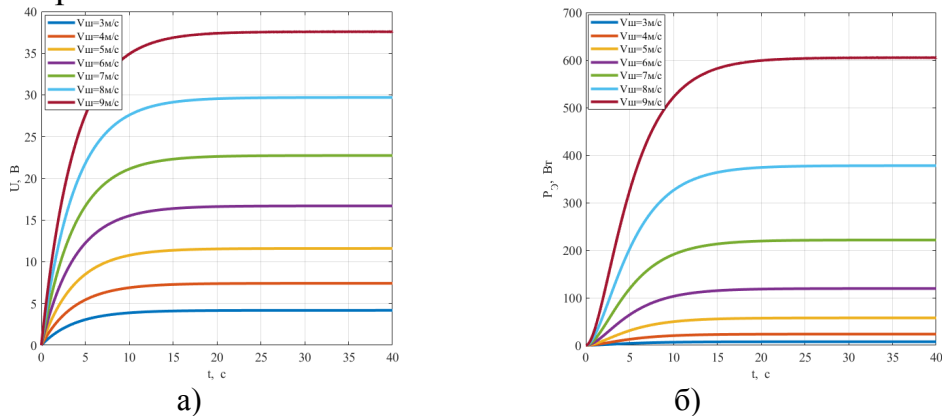


Рисунок 7. Зависимость скорости ветра от механического момента (а) и механической мощности (б)

На рисунке 8 приведены значения выходных параметров ветроэнергетической установки в динамическом режиме в зависимости от изменения скорости ветра, взятые при помощи программного обеспечения Matlab/Simulink. В этом случае скорость изменения потока ветра принимается равной 3-9 м/с.



а-напряжение; б-электромагнитная мощность

Рисунок 8. Кривые значений выходных параметров ветроэнергетической установки в динамическом режиме взятые в программе Matlab/Simulink

Производительность ветроэнергетических установок определяется коэффициентом использования энергии ветра (C_p)⁵.

$$C_p = \left(\frac{3C_{p\max}}{a_{\max}^2} \right) a^2 - \left(\frac{2C_{p\max}}{a_{\max}^3} \right) a^3 \quad (23)$$

$$a = \frac{30\pi n R}{V} \quad (24)$$

где n - механическая скорость лопастей, об/мин; R - радиус турбины, м.
 V - скорость потока ветра, направленного через внешние направляющие поверхности, м/с.

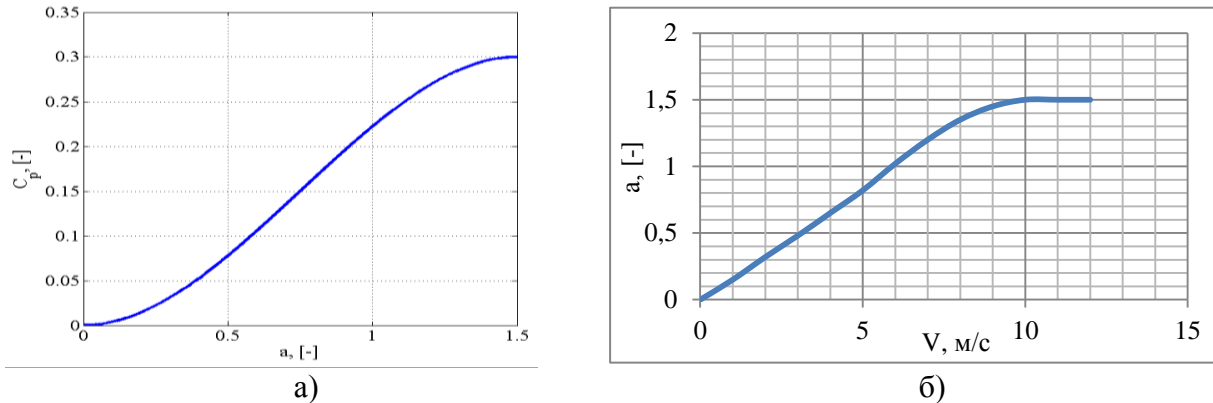


Рисунок 9. Кривая зависимости коэффициента использования энергии ветра от коэффициента быстроходности лопастей (а); кривая зависимости быстроходности лопастей от скорости ветра(б)

В четвертой главе диссертации, озаглавленной «**Оценка технико-экономической эффективности ветроэнергетической установки**», представлены экспериментальные результаты ветроэнергетической установки, эмпирические зависимости, основанные на обработке экспериментальных результатов, данные о внедрении на практике и показатели экономической эффективности.

Эмпирические уравнения, определяющие изменение скорости направленного ветрового потока через направляющие поверхности

$$V' = 0.404 \cdot V_{\text{ш}}^{1.033} \cdot \text{tg}(\beta)^{-0.052} \cdot m_1^{-0.707} \quad (25)$$

$$V'' = 0.669 \cdot V_{\text{ш}}^1 \cdot \text{tg}(\beta)^{0.306} \quad (26)$$

Принимаются следующие начальные условия:

для выражения (25): $3 \leq V_{\text{ш}} \leq 9$ м/с; $38^\circ \leq \beta \leq 74^\circ$; $\theta = 74^\circ$; $0,104 \leq m_1 \leq 0,303$ м.

для выражения (26): $3 \leq V_{\text{ш}} \leq 9$ м/с; $38^\circ \leq \beta \leq 74^\circ$; $\theta = 74^\circ$; $m_2 = 0,303$ м.

Значимость уравнений регрессии оценивалась с использованием F-критерия Фишера. Сравниваем рассчитанные значения со значениями в таблице. При расчетном значении уровня значимости 0,05 и расчетных значениях степеней свободы $\gamma_1=63$, $\gamma_2=59$, расчетное значение F-критерия Фишера для состояния V' , ($F_{\text{расч.}}=1,03$) и для состояния V'' , ($F_{\text{расч.}} = 0,98$), по сравнению с табличным значением ($F_{\text{табл.}} = 1,53$) мало, поэтому уравнения структурированной регрессии имеют большое значение. Относительная погрешность расчета составляет ± 6 %.

⁵ J.F. Manwell., J.G. McGowan., A.L. Rogers. Wind Energy Explained: Theory, Design and Application 2nd Edition, 2009 John Wiley & Sons Ltd., pp. 705

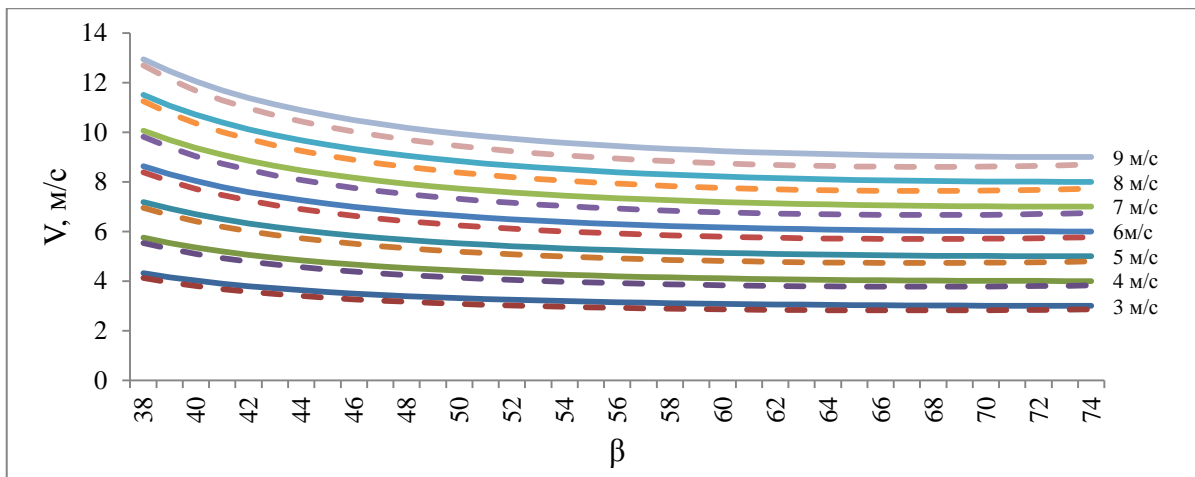


Рисунок 10. Обработка результатов экспериментов при помощи оценки адекватности теоретических и экспериментальных результатов

По результатам теоретических и экспериментальных исследований геометрически оптимальными размерами внешних опорных поверхностей являются наружный диаметр $D_1=1,4$ м, внутренний диаметр $D_2=1$ м, количество направляющих поверхностей 12, углы установки направляющих поверхностей относительно вертикальной оси $\beta=38^\circ$, $\theta=74^\circ$, при минимальных расстояниях между направляющими $m_1=0,104$ м, $m_2=0,303$ м, разработанная ветроэнергетическая установка эффективно работает при слабых потоках ветра.

Результаты сравнения разработанного ветроэнергетического устройства с ближайшими аналогами представлены на рисунке 11. 1 – кривая ветроэнергетической установки, разработанной нами, 2 – кривая ближайшего аналога ветроэнергетической установки типа «GWV-600W»⁶, разработанной в Китае. В результате сравнения установлено, что разработанная ветроэнергетическая установка имеет высокую эффективность при слабых потоках ветра.

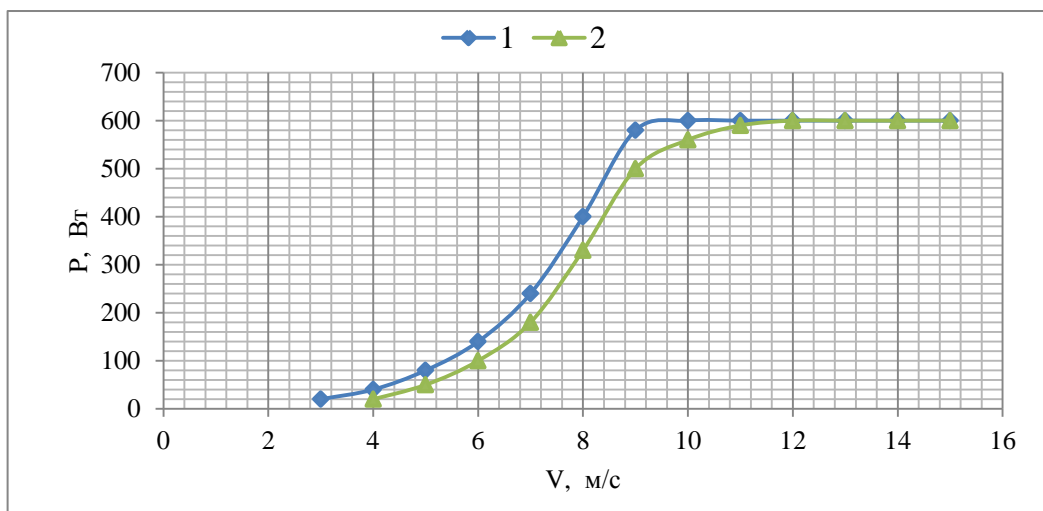


Рисунок 11. Результаты сравнения разработанной нами ветроэнергетической установки с аналогом

⁶ http://www.greatwatt.com/products.asp?Product_ID=21

Таблица 1

Сравнение эффективности разработанной ветроэнергетической установки по отношению к дизельному генератору и прокладки линий электропередач

Показатели	Разработанная ветроэнергетическая установка	Дизельный генератор	Линия электропередач
Установленная мощность, кВт	4	4	-
Затраты для прокладки линий электропередач, млн.сум	-	-	800
Среднегодовая выработка электроэнергии, кВт·ч	7600	7000	-
Стоимость устройства, млн.сум	36	5	-
Амортизационные отчисления, млн.сум	1,04	0,145	27,84
Затраты на промежуточный ремонт, млн. сум	1,08	0,15	7,68
Затраты на топливо, млн.сум	-	19,25	-
Эксплуатационные затраты, млн.сум	2,62	19,55	35,52
Стоимость выработанной электроэнергии за 1 кВт·ч, сум	365	2790	-

Выяснилось, что разработанная ветроэнергетическая установка мощностью 4 кВт позволяет сэкономить около 4,3 тонн дизельного топлива в год и предотвращает выброс в атмосферу более 12,92 тонны углекислого газа (CO₂).

В приложении к диссертации содержатся результаты расчета параметров формы и масштаба функции распределения вероятностей Вейбулла, данные о повторяемости скорости ветра, возможности компьютерной программы для определения потенциала энергии ветра на разных высотах, а также акт внедрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате теоретических и практических исследований по теме диссертации были сформированы следующие общие выводы:

1. Разработан алгоритм расчета потенциала ветроэнергетических ресурсов на разных высотах путем статической обработки метеорологических данных Бухарской области и получено авторское свидетельство для программы ЭВМ. Было установлено, что на территории Гиждуванского, Шафирканского, Пешкунского, Алатского и Каракульского районов возможность использования энергии ветра высока.

2. Получены аналитические выражения для определения изменившейся скорости потока ветра $V_{\text{общ}}$, направленного через канал внешних направляющих поверхностей, установленных под углом наклона β и θ по отношению к вертикальной оси и минимальным расстоянием между ними m_1 и m_2 ;

3. Определены условия достижения максимального значения стабильного крутящего момента в ветряной турбине при установке внешних направляющих поверхностей под углом $\beta=38^\circ$ и $\theta=74^\circ$ по отношению к вертикальной оси и минимального расстояния между направляющими поверхностями $m_1=0,104$ м, $m_2=0,303$ м.

4. Создана возможность увеличения выработки энергии на 20% за счет применения в разработанной ветроэнергетической установке внешних направляющих поверхностей и тихоходного генератора, статор и ротор которого вращаются в противоположные стороны.

5. Разработана новая конструкция ветроэнергетической установки, стабильно работающей при малых потоках ветра, исследованы ее конструктивные размеры и зависимость от технико-экономических показателей электрогенератора.

6. Обобщив экспериментальные данные, полученные в канале внешних направляющих поверхностей, разработаны высокоточные эмпирические уравнения с погрешностью в $\pm 6\%$ для определения измененных значений потока ветра в канале внешних направляющих поверхностей.

7. Разработана технология изготовления многополюсного электрогенератора, статор и ротор которого вращаются в противоположные стороны, а также изучено изменение значения энергетических параметров генератора в зависимости от различных скоростей потока ветра.

8. Экономическая эффективность внедрения ветроэнергетической установки мощностью 4 кВт оценивалась с использованием «дисконтированной прибыли». Было установлено, что чистая приведенная стоимость составляет 70 миллионов сумов, период статической окупаемости 2,13 года, а период динамической окупаемости 4,16 года. Выяснилось, что ветроэнергетическая установка в климатических условиях Бухарской области сэкономит около 6,321 т.у.т и предотвратит выброс более 12,92 тонны углекислого газа (CO_2) в атмосферу.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/30.09.2020.T.111.03 ON AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT KARSHI ENGINEERING-ECONOMICS
INSTITUTE**

BUKHARA ENGINEERING-TECHNOLOGICAL INSTITUTE

SAFAROV ALISHER BEKMURODOVICH

**CREATION OF AN EFFICIENT WIND POWER PLANT ADAPTED TO
THE CLIMATIC CONDITIONS OF THE BUKHARA REGION**

05.05.06 - Power plants on the basis of renewable energy

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

Karshi – 2021

The theme of doctoral dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under №. B2020.4.PhD/T777.

The doctoral dissertation has been prepared at the Bukhara engineering-technological institute.

The abstract of the dissertation is in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the website of the Scientific council (www.qmii.uz) and on Information-educational portal «ZiyoNet» at the adress (www.ziyo.net.uz).

Scientific adviser:	Sadullayev Nasullo Nematovich doctor of technical sciences, professor
Official opponents:	Toirov Olimjon Zuvurovich doctor of technical sciences, professor Urishev Boborakhim Urishevich doctor of technical sciences, docent
Leading organization:	Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers

The defense of dissertation will take place 24 june 2021 at 10⁰⁰ at a meeting of the Scientific council number PhD.03/30.09.2020.T.111.03at the Karshi engineering-economics institute. (Address: 180100, Karshi, Mustakillik street, 225. Phone: (99875) 224-02-89; fax: (99875) 224-13-95, e-mail: kiei_info@edu.uz.)

The doctoral dissertation can be found at the Information resource centerof the Karshi engineering-economics institute (registered with № 6). (Address: 180100, Karshi, Mustakillik street, 225. Phone: (99875) 224-02-89, fax: (99875) 224-13-95, e-mail: kiei_info@edu.uz.)

Abstract of dissertation was sent 9 june 2021.
(register of the distribution protocol № 1 from 9 june 2021).



G.N. Uzakov
Chairman of scientific council for awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

Kh.A. Davlonov
Scientific secretary of the scientific council for awarding scientific degrees, doctor of philosophy (PhD) of technical sciences

B. Urishev
Chairman of Scientific seminar under the scientific council for awarding of scientific degrees, doctor of technical sciences, docent

INTRODUCTION (abstract of Phd thesis)

The aim of the research work is to develop a wind power plant with a vertical axis operating at low wind flows and to substantiate its parameters.

The tasks of the research:

assessment the potential of wind energy resources at different heights in the Bukhara region;

development of a new type of wind turbine with a vertical axis of rotation, adapted to climatic conditions;

development of a mathematical model describing the dependence of the structural dimensions and energy parameters of the wind power plant on the wind speed;

determination of the optimal geometric parameters of the external guide surfaces when determining the stable and constant torque of the wind power plant;

determine the dependence of the variability of the directed wind flow on the optimal geometric dimensions of the outer guiding surfaces.

The object of the research work is a vertical axis wind power plant operating at low wind currents and its operation technology process.

Scientific novelty of the research work is as follows:

a developed wind power plant containing external guide surfaces with a vertical axis, on which wind wheels are installed with blades inclined relative to the vertical axis by the width of the distance between the blades rotating in different directions, as well as a multi-pole axial generator, the stator and rotor of which rotate in opposite directions;

improved design of the wind power generator, the stator and rotor of which rotate in opposite directions, making it possible to obtain electricity with variable and weak wind flows, taking into account the potential of wind energy;

substantiated a method for ensuring a continuous wind flow directed at the installation and reducing the counteracting forces affecting the blades, taking into account the geometric dimensions of the outer guiding surfaces and the changing speed of the wind flow passing through them;

the coefficients of the use of wind energy, energy and power generation are determined, taking into account the speed of the wind flow at different heights in a wind power plant with a vertical axis, operating at weak wind flows.

Implementation of the research results.

Based on the substantiation of the parameters of the results obtained, as well as the development of a wind power plant adapted to the climatic conditions of the Bukhara region:

received a patent for a useful model of the Intellectual Property Agency under the Ministry of Justice of the Republic Uzbekistan (No. FAP 01607, 23.03.2021) for a wind turbine with a vertical axis, adapted to climatic conditions, operating at low wind flows. As a result, it is possible to increase energy production by an average of 20% with variable and weak wind flows;

the design of the electric generator of the wind power plant has been improved, the stator and rotor of which rotate in opposite directions, which ensures

efficient operation in areas with low wind speeds (reference number of the Ministry of agriculture 02/021-3461 dated October 26, 2020). As a result, the reliability and uninterrupted power generation was achieved at a wind speed in the range of 2,5-8,0 m/s;

A vertical axis wind power plant with an axial multi-pole generator whose stator and rotor rotate in opposite directions, reliably operating in low wind flows, was introduced at the «Buxoro zarhal teks» farm located in the Shafirkan district of the Bukhara region (reference number of the Ministry of agriculture 02/021-3461 dated October 26, 2020). As a result, a wind power plant with a capacity of 4 kW can generate 7600 kW·h of electricity per year and save 85 million soums per year compared to a centralized power supply system.

The structure and scope of the thesis. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a bibliography and annexes. The volume of the thesis is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I-бўлим (I часть; part I)

1. Садуллаев Н.Н., Сафаров А.Б. Ўзгарувчан ва кучсиз шамол оқимларида ишловчи самарадор шамол генераторларини яратиш // «Энергия ва ресурс тежаш муаммолари». Тошкент, 2018. №(3-4), б. 328-334 (05.00.00; №21).

2. Садуллаев Н.Н., Нематов Ш.Н., Сафаров А.Б. Бухоро вилояти худудида шамол энергиясидан фойдаланиш имкониятлари тадқиқоти // «Фан ва технологиялар тараққиёти». Бухоро, 2018, №2, б. 87-91 (05.00.00; №24).

3. Сафаров А.Б. Вейбулл эҳтимоллик тақсимот функциясидан фойдаланиб Бухоро вилояти худудининг шамол энергетикаси салоҳиятини таҳлил қилиш // «ТошДТУ хабарлари». Тошкент, 2018, №4, б. 93-98 (05.00.00; №16).

4. Садуллаев Н.Н., Сафаров А.Б. Бухоро вилояти худудининг шамол энергияси салоҳиятини икки параметрли Вейбулл ва Релей тақсимот функцияларидан фойдаланиб статик таҳлил қилиш // «Informatika va energetika muammolari». Тошкент, 2019. №4, б. 68-79 (05.00.00; №5).

5. Садуллаев Н.Н., Сафаров А.Б. Бухоро вилоятининг чекка худудларида энергия истеъмоли ва экологик муаммоларни ҳал қилишда шамол энергиясидан фойдаланиш имкониятлари // «Фан ва технологиялар тараққиёти», Бухоро, 2019. №5, б. 138-144 (05.00.00; №24).

6. Sadullayev N.N., Safarov A.B., Nematov Sh.N., Mamedov R.A. Statistical Analysis of Wind Energy Potential in Uzbekistan's Bukhara Region Using Weibull Distribution // «Applied Solar Energy.-USA». 2019, Vol. 55, Issue 2, pp. 126–132 (05.00.00; №4).

7. Sadullayev N.N., Safarov A.B., Nematov Sh.N. Analysis of Wind Energy Potential in Using Weibull Distribution in Bukhara Region, Uzbekistan // “International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology”. Volume 6, Issue 1, 2019. pp. 7846 – 7853(05.00.00; №8).

8. Sadullayev N.N., Safarov A.B., Nematov Sh.N., Mamedov R.A., Abdujabarov A.B. Opportunities and Prospects for the Using Renewable Energy Sources in Bukhara Region // «Applied Solar Energy.-USA». 2020, Vol. 56, Issue 4, pp. 291–301 (05.00.00; №4).

9. Садуллаев Н.Н., Сафаров А.Б., Нематов Ш.Н., Мамедов Р.А. Бухоро вилояти худудида шамол энергиясидан фойдаланиш имкониятларини тадқиқ этиш натижалари // «Инновацион технологиялар», Қарши, 2020. 2(38), б.16-22 (05.00.00; №38).

10. Садуллаев Н.Н., Сафаров А.Б. Вертикал ўқли шамол энергетик қурилмаларининг ишлаш самарадорлигини оширишда ташқи йўналтирувчи сиртларни қўллаш методикаси // «Фан ва технологиялар тараққиёти», Бухоро, 2020. №4, б. 133-145 (05.00.00; №24).

11. Садуллаев Н.Н., Сафаров А.Б., Давлонов Х.А. Бухоро вилоятининг иқлимий шароитларига мослаштирилган самарадор шамол энергетик қурилмасини яратиш // «Инновацион технологиялар», Қарши, 2020. махсус сон, б. 26-32 (05.00.00; №38).

II -бўлим (II часть; part II)

12. Sadullayev N.N., Safarov A.B., Nematov Sh.N., Mamedov R.A. Research on Facilities of Power Supply of Small Power Capability Consumers of Bukhara Region by using Wind and Solar Energy // «International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering». 2019, Vol. 8, Issue 9S2, pp. 229 – 235. (Scopus, www.ijitee.org).

13. Sadullayev N.N., Safarov A.B., Nematov Sh.N., Mamedov R.A. Increase Power Efficient and Reliability of Electrosupply of Consumers of Low Power // «GIS Business». Volume 14, Issue 4, 2019. pp. 42 – 52

14. Садуллаев Н.Н., Сафаров А.Б., Болтаев И.Й. Бухоро вилояти худудида шамол энергиясидан фойдаланиш истиқболлари // «Инновацион техника ва технологиялар тадбиғи фаол тадбиркорликни ривожлантиришнинг устивор йўналиши сифатида» республика илмий анжумани материаллари. Бухоро, 2018. б. 330-335

15. Сафаров А.Б., Латипов С.Т., Рўзиев Ж.Ў. Бухоро вилояти худудининг турли баландликларида шамол энергияси салоҳиятини баҳолаш // «Замонавий ишлаб чиқаришда муҳандислик ва технологик муаммоларнинг инновацион ечимлари» республика илмий анжуман материаллари. Бухоро, 2019. №3, б. 321-322

16. Садуллаев Н.Н., Тоиров З., Сафаров А.Б. Бухоро вилояти худудида энергия истеъмоли ва экологик муаммоларни ҳал қилишда қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш истиқболлар // «Замонавий ишлаб чиқаришда муҳандислик ва технологик муаммоларнинг инновацион ечимлари» республика илмий анжуман материаллари. Бухоро, 2019. №3, б. 358-360

17. Садуллаев Н.Н., Сафаров А.Б., Нематов Ш.Н. Расчёт потенциала ветровых потоков по выработке электроэнергии в произвольной местности // ЭХМ дастури «DGU 20191346».

18. Садуллаев Н.Н., Нематов Ш.Н., Сафаров А.Б. Шамол энергияси қурилмаси // Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги интеллектуал мулк агентлиги. Фойдали моделга патент № FAP 01607.

19. Сафаров А.Б. Разработка и анализ эффективного генератора для ветровых энергетических установок малой мощности // «Инновационные пути решения актуальных проблем развития пищевой и нефтегазохимической промышленности» материалы международной научно-практической конференции. Бухара, 2020. №3, с. 135- 137

20. Sadullayev N.N., Safarov A.B., Mamedov R.A., Qodirov D. Assessment of wind and hydropower potential of Bukhara region // IOP Con. Series: Earth and Environmental Science 614(2020) 012036 (Scopus, DOI: [10.1088/1755-1315/614/1/012036](https://doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012036)).

Автореферат «Инновацион технологиялар» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва унинг ўзбек, рус, инглиз (тезис) тилларидаги матнлари мослиги текширилди (04.03.2021 й.).

Босишга рухсат этилди: 03.06.2021 йил
Бичими 60x84¹/₈, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 2,8 Адади: 100.
Буюртма: № 23

ҚарМИИ «INTELLEKT» нашриёти МИУда чоп этилган.
Қарши шаҳри, Мустақиллик кўчаси, 225-уй.

