

**ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ PhD.03/27.02.2020.Т.106.02
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ
ҚУЁШ ЭНЕРГИЯСИ ХАЛҚАРО ИНСТИТУТИ**

РАХИМОВ ЭРГАШАЛИ ЮЛДАШЕВИЧ

**ЎЗБЕКИСТОННИНГ ГЕЛИОЭНЕРГЕТИК РЕСУРСЛАРИНИ
БАҲОЛАШ УЧУН МАЪЛУМОТЛАР БАЗАСИНИ ШАКЛЛАНТИРИШ
ВА ВЕРИФИКАЦИЯЛАШ**

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

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

ФАРҒОНА – 2021

УДК 620.92; 620.98

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

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

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

Рахимов Эргашали Юлдашевич

Ўзбекистоннинг гелиоэнергетик ресурсларини баҳолаш учун
маълумотлар базасини шакллантириш ва верификациялаш 3

Рахимов Эргашали Юлдашевич

Формирование и верификация базы данных для оценки
гелиоэнергетических ресурсов Узбекистана 21

Rakhimov Ergashali Yuldashevich

Formation and verification of a database for estimating helioenergetical
resources in Uzbekistan 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 43

**ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ PhD.03/27.02.2020.Т.106.02
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ
ҚУЁШ ЭНЕРГИЯСИ ХАЛҚАРО ИНСТИТУТИ**

РАХИМОВ ЭРГАШАЛИ ЮЛДАШЕВИЧ

**ЎЗБЕКИСТОННИНГ ГЕЛИОЭНЕРГЕТИК РЕСУРСЛАРИНИ
БАҲОЛАШ УЧУН МАЪЛУМОТЛАР БАЗАСИНИ ШАКЛЛАНТИРИШ
ВА ВЕРИФИКАЦИЯЛАШ**

**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 мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида № В2020.4.PhD/Т924 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Физика-техника институти ва Куёш энергияси халқаро институтида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:

Авезова Нилуфар Раббанакуловна
техника фанлари доктори

Расмий оппонентлар:

Уришев Бобораҳим
техника фанлари доктори, доцент

Пайзуллаханов Муҳаммаде-Султанхан Сайдивалиханович
техника фанлари доктори

Ётақчи ташкилот:

И.А. Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети

Диссертация ҳимояси Фарғона политехника институти ҳузуридаги фалсафа доктори илмий даражасини берувчи PhD.03/27.02.2020.Т.106.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «10» июль соат 1000 даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 150107, Фарғона ш. Фарғона к. 86 уй. Тел: (+99873) 241-12-06, факс (+99873) 241-12-06, e-mail: ilmiy-kengash@ferpi.uz, кичик мажлислар зали.

Диссертация билан Фарғона политехника институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (№ 2-А рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 150107, Фарғона ш. Фарғона к. 86 уй. Фарғона политехника институти. Тел: (+99873) 241-12-06.

Диссертация автореферати 2021 йил «25» 06 куни тарқатилди.
(2021 йил «24» 06 даги № 1 рақамли реестр баённомаси).



С.Ф. Эргашев

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш раиси т.ф.д., доцент

М.О. Ўзбеков

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш илмий котиби, PhD

Ё.С. Аббасов

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, т.ф.д. доцент

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда сў ўн йилликда қайта тикланувчи энергия манбаларидан амалий фойдаланиш миқёсини кенгайтириш асосида энергия самарадорлигини ошириш ва аҳолини «экологик тоза» энергия билан таъминлаш етакчи ўринлардан бирини эгалламоқда^{1,2}. Дунё миқёсида ривожланган мамлакатлар ушбу соҳаларда сезиларли даражада ўсишга эришган бўлишига қарамай, бугунги кунда энг долзарб бўлган умумий мақсадларга эришиш, хусусан, Париж битимида кўзда тутилган ҳароратнинг ўртача ортисини 1,5°C атрофида ушлаб туриш, саноат даражасида 2,0°C дан ошмаслигини таъминлаш вазифасининг қатъий бажарилишини тақозо этмоқда³. Бу борада «... қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш асосида 2050 йилгача атмосферага CO₂ чиқишини 90% гача камайтириш» бўйича илмий тадқиқотлар олиб бориш муҳим аҳамиятга эга ҳисобланади⁴.

Жаҳонда қайта тикланувчи энергия манбалари асосидаги энергия тизимларининг умумий ва техник салоҳиятини баҳолаш билан бир қаторда, уларнинг ишлаб чиқариш қувватларини турли иқлимий ўзгаришларни инобатга олган ҳолда қисқа ва узоқ муддатли илмий башоратлашга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда⁵. Бу борада, иқтисодиётнинг турли тармоқларида амалий қўллаш учун муайян географик ҳудудда қуёш энергиясининг салоҳиятини юқори аниқликда ишончли баҳолаш, қуёшлий қурилмалар ва улар асосидаги энергия тизимларини лойиҳалаштириш ҳамда ишлаб чиқариш қувватларини башоратлашга алоҳида эътибор берилмоқда⁶.

Республикамызда энергетика соҳасида қайта тикланувчи энергия манбаларидан ҳисобланувчи қуёш ва шамол энергиясидан фойдаланишни кенгайтириш, энергия самарадор қурилмалардан фойдаланиш ва энергия сарфини камайтириш, шу орқали келажак авлод учун углеводород захирасини сақлаб қолиш ва экологик вазиятни юмшатиш юзасидан кенг қамровли чоратadbирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан, «... иқтисодиётнинг ресурс ва энергия ҳажмдорлигини камайтириш, ишлаб чиқаришда энергия тежамкор технологияларни жорий қилиш, қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш...»⁷ бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларини амалга оширишда, жумладан, қайта тикланадиган энергия манбалари асосидаги энергия тизимларини режалаштириш ва лойиҳалашда, мамлакатимиз ҳудудида гелиоэнергетик ресурсларни ишончли баҳолаш,

¹ IRENA/ADFD Project Facility: Lessons from the selection process. October 2020.

² Попель О.С., Фортов В.Е. Возобновляемая энергетика в современном мире. М.: Изд. дом МЭИ, 2015.

³ <https://unfccc.int/ru/peregovornyy-process-i-vstrechi/parizhskoe-soglashenie/parizhskoe-soglashenie>

⁴ <https://www.irena.org/climatechange>

⁵ REN21. 2020. Renewables 2020 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-948393-00-7.

⁶ J.A. Duffie and W.A. Beckman. Solar Engineering of Thermal Processes, New Jersey, 2013.

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

куёший курилмаларнинг ишлаб чиқариш қувватларини юқори аниқликда илмий башоратлаш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ПФ-4947-сон Фармони, Ўзбекистон Республикасининг 2019 йил 25 майдаги «Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш тўғрисида»ги 539-сон Қонуни, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 22 августдаги «Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида»ги ПҚ-4422-сон қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация иши муайян даражада хизмат қилади.

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

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Жаҳонда бугунги кунда ер атмосферасининг шаффофлигини ўрганиш, қуёш энергиясидан фойдаланиш, актинометрик маълумотлар базасини йиғиш, қайта ишлаш ва таҳлил қилиш, шу асосда ЭҲМ учун ясси қуёш энергетик курилмаларнинг ишлаб чиқарувчанлигини аниқловчи дастурий таъминотни ишлаб чиқиш, шунингдек турли иқлим шароитида улардан фойдаланиш учун мавжуд техник салоҳият хариталарини тайёрлашга йўналтирилган илмий тадқиқотлар дунёнинг кўплаб етакчи илмий марказлари ва олий ўқув юртларида, хусусан: Висконсин университети (АҚШ), Калифорния университети (АҚШ), Миллий қайта тикланувчи энергия лабораторияси (АҚШ), Institute of solar technologies (Швейцария), Universidad de Valladolid (Испания), Ilmatieteen laitos (Финляндия), National Institute of Solar Energy (Ҳиндистон), Tartu Ülikool (Эстония), Жаҳон банки ва халқаро молия корпорацияси, Қайта тикланадиган энергия халқаро агентлигида, NASA POWER (NASA Prediction of World-wide Energy Resource) лойиҳасида (АҚШ), Shanghai Center for Urban Environmental Meteorology ва Энергия тадқиқотлари институтида (Хитой), Юқори хароратлар қўшма институти (Россия), Москва давлат университети (Россия), Амалий физика институти (Молдова), Қирғизистон Улутгук университети (Қирғизистон), Физика-техника институти ҳамда Ўзбекистон миллий университети (Ўзбекистон) ва бошқаларда амалга оширилмоқда.

Ер юзасининг турли нуқталарига ва ихтиёрий йўналишда ўрнатилган қия текислик сиртига тушувчи йиллик, ўртача ойлик, ўртача кунлик қуёш нурланишини ҳисоблаш усуллари ҳамда улар асосида гелиоэнергетик курилмаларнинг самарадорлигини аниқлаш услубияти, ер усти кузатувларини

сунъий йўлдош маълумотлари билан таққослаш, шунингдек, қуёш энергияси салоҳиятининг атласларини ишлаб чиқишда бир қатор таниқли хорижий олимлар, жумладан J.A. Duffie, W.A. Beckman, S.A. Klein, M. Sengupta, A. Habte, S. Kurtz, S. Wilbert, R. Urraca, O.C. Попел, С.В. Киселева, С.Е. Фрид ва бошқалар катта ҳисса қўшишган.

Ўзбекистон Республикасида қуёш энергияси салоҳиятини баҳолаш ҳамда гелиоэнергетик ресурслар кўрсаткичларини аниқлаш бўйича илмий муаммоларни ҳал қилишда Б.П. Вейнберг, Р.Б. Байрамов, А.Д. Ушакова, Г.Я. Умаров, С.Н. Саидов, Р.А. Захидов, Р.Р. Авезов, В.Е. Чуб, Д.А. Абдуллаев, Ю.В. Петров, Х.Т. Эгамбердиев, Б.М. Холматжанов ва бошқалар томонидан ҳам кўплаб тадқиқотлар ўтказилган ҳамда салмоқли натижаларга эришилган.

Маҳаллий олимлар томонидан ушбу соҳада амалга оширилган ишлар сонининг етарлича эканлигига қарамасдан, Ўзбекистонда бутун мамлакат ҳудудини қамраб оладиган сўнгги 15 йиллик актинометрик маълумотлар базаси ва уларни тўпловчи марказ мавжуд эмас ҳамда бундай турдаги тадқиқотлар амалга оширилмаган.

Мазкур диссертация ишида Ўзбекистон Республикаси ҳудудида ясси гелиоэнергетик қурилмалар ресурс кўрсаткичларини баҳолаш ва илмий башоратлаш мақсадида қисқа вақт қадами билан олинган сунъий йўлдош ва ер усти кузатувларига асосланган кўп йиллик актинометрик маълумотларни тўплаш, қайта ишлаш ва верификациялаш бўйича натижалар тақдим этилган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Физика-техника институти илмий-тадқиқот изланишлари ЁФА-Атех-2018-144 рақамли «Ўзбекистон Республикасининг муайян ҳудудларида ясси қуёший энергетик қурилмаларнинг ишлаб чиқарувчанлигини аниқлаш учун математик модел ишлаб чиқиш ва амалга ошириш» (2018-2019) ёшлар ва ФА-Атех-2018-517+513+362 рақамли «Марказий электр узатиш тармоқларига фотоэлектрик тизимни интеграция қилиш» (2018-2020) амалий ҳамда Қуёш энергияси халқаро институтида бажарилган БВ-М-ФЗ-003 рақамли «Иссиқлик таъминоти тизимларида қуёш энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини оширишнинг илмий ва муҳандислик асослари» (2017-2020) фундаментал лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади ясси гелиоэнергетик қурилмалар ресурс кўрсаткичларини баҳолаш ва илмий башорат қилиш учун қисқа вақт қадами билан олинган сунъий йўлдош ва ер усти кузатувларига асосланган узоқ муддатли актинометрик маълумотларни тўплаш, қайта ишлаш, верификациялаш ҳамда уларни визуаллаштиришдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

Осиё тараққиёт банки кўмагида ўрнатилган ҳамда кузатишларни қисқа вақт қадами билан олиб бориш имкониятига эга бўлган 6 та автоматлаштирилган метеостанциялардан 2013-2017 йиллар учун олинган актинометрик маълумотларни йиғиш ва таҳлил қилиш;

Ўзбекистон ҳудуди учун сунъий йўлдош кузатувлари асосидаги халқаро моделлар ва маълумотлар базаларидан олинган сўнгги 12 йил давомидаги актинометрик маълумотлар базасини йиғиш, таҳлил қилиш ва верификациялаш;

Ўзбекистоннинг муайян ҳудудларидаги ясси гелиоэнергетик қурилмалар (фотоэлектрик панел ва ясси қуёший сув иситгич коллектори)нинг ресурс кўрсаткичларини баҳолаш учун қисқа вақт қадами билан ўлчанган ўртача соатлик, ўртача кунлик актинометрик ва иқлимий маълумотларни олиш учун математик модел ва дастур ишлаб чиқиш;

қуёш нурланишининг табиий, ялпи ва техник салоҳияти рақамли хариталарини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида Ўзбекистоннинг муайян ҳудудларидаги ясси гелиоэнергетик қурилмалар (фотоэлектрик панел ва ясси қуёший сув иситгич коллектори)нинг ресурс кўрсаткичлари олинган.

Тадқиқотнинг предмети ер усти ва сунъий йўлдош кузатувлари, шунингдек, улардан Ўзбекистон ҳудуди учун олинган актинометрик ва иқлимий маълумотларни верификациялашдан иборат.

Тадқиқот усуллари. Диссертация ишида горизонтал сиртга тушувчи умумий қуёш нурланишининг ўртача ойлик суткалик йиғинди қийматларини верификациялашда нисбий, ўртача ва тизимли хатолик (RMS), ўртача квадратик оғиш усули (RMSE), шунингдек тузатилган детерминация коэффициенти ($Adj. R^2$) қўлланилган. Маълумотлар тўпламларининг ер усти кузатувлари билан умумий корреляция даражасини аниқлаш учун Пирсоннинг корреляция ва нуқтавий графиклари қўлланилган. Рақамли хариталарни яратишда эркин фойдаланиш учун очиқ бўлган QGIS (эркин платформалараро геоахборот тизими) дастури ҳамда интерполяцияни амалга ошириш учун учбурчакли тартибсиз тармоқ (TIN) усулидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

Ўзбекистон ҳудудидаги ясси гелиоэнергетик қурилмалар (фотоэлектрик панел ва ясси қуёший сув иситгич коллектори)нинг ресурс кўрсаткичларини илк бор юқори аниқликда, қисқа вақт қадами билан баҳолаш услуги таклиф қилинган;

NASA POWER маълумотлар базасидаги Ўзбекистон ҳудуди учун мавжуд актинометрик маълумотлар ер усти актинометрик станциялари кузатувлари маълумотлари билан илк бор верификацияланган ҳолда уларнинг нисбий хатолиги 3-8% ни ташкил этиши исботланган;

горизонтал сиртга тушаётган умумий қуёш нурланишининг суткалик йиғинди миқдори ҳамда атроф-муҳитнинг максимал ва минимал ҳарорати кўрсаткичлари бўйича ер усти кузатувлари ва NASA POWER маълумотлар базасидан олинган қийматлар орасидаги корреляцион боғлиқлик ифодалари илк бор таклиф қилинган;

республика ҳудудида ўртача соатлик, кунлик актинометрик ҳамда иқлимий кўрсаткичлар бўйича кўп йиллик сунъий йўлдош (NASA POWER, ERA5 ва SARAH-E) ва ер усти кузатувларидан олинган маълумотлар орасидаги ўртача нисбий хатолик 10%ни ташкил этиши илк бор аниқланган;

Ўзбекистон ҳудуди учун ясси гелиоэнергетик қурилмаларнинг башоратланган ресурс кўрсаткичларини аниқлаш бўйича верификацияланган актинометрик ҳамда иқлимий маълумотларни инобатга олган ҳолда математик модел таклиф этилган ва унга асосан республика гелиоэнергетик ресурсларининг рақамли хариталари ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

кўп йиллик сунъий йўлдош ва ер усти кузатувлари ҳамда реанализ асосида Ўзбекистон Республикаси ҳудудлари учун актинометрик ва иқлимий маълумотлар базаси яратилган;

кўп йиллик сунъий йўлдош ва ер усти кузатувлари асосида Ўзбекистон Республикаси ҳудудлари учун актинометрик маълумотларни аниқлаш бўйича дастур ишлаб чиқилган;

хусусий ва саноат тармоқларининг суткалик ва мавсумий истеъмол режимлари асосида қуёш электр станцияларининг ишлаб чиқариш қувватини башоратлаш бўйича дастур ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги қуёшнинг фотоэлектрик станцияларида содир бўладиган физик жараёнларни математик моделлаштириш, йирик ҳажмли маълумотлар базаларининг статистик таҳлилини амалга ошириш ва улар асосида мамлакатимиз ҳудудларининг гелиоэнергетик ресурсларини баҳолаш учун илмий асосланган дастлабки илмий башоратлар натижаларининг PVSyst, Transys, SolarGis каби дунёга маълум моделларнинг башорат натижаларига мос келиши билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти қуёш энергияси асосидаги энергетик тизимларни режалаштириш, лойиҳалаш ва ишлаб чиқариш қувватларини илмий башоратлашда фойдаланиш учун илк бор қисқа вақт қадами билан ўлчанган актинометрик маълумотлар базаси верификацияланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти Ўзбекистоннинг гелиоэнергетик ресурсларининг рақамли харитаси ишлаб чиқилганлиги ва шу асосда Республиканинг муайян ҳудудлари учун ясси гелиоэнергетик қурилмалар (фотоэлектрик панел ва ясси қуёшнинг сув иситкич коллектори)нинг ресурс кўрсаткичлари баҳоланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ўзбекистоннинг гелиоэнергетик ресурсларини ўрганиш ва ер усти кузатувларининг актинометрик маълумотларини верификациялаш бўйича олинган натижалар асосида:

қисқа вақт қадами билан олиб борилган ер усти кузатувларига асосан, Ўзбекистоннинг қуёш энергияси салоҳияти ҳамда қуёш фотоэлектрик станцияларининг ресурс кўрсаткичлари таҳлил қилинган ва баҳоланган. Натижада, олинган баҳолаш услубияти ва кўрсаткичлари хорижий тадқиқотчилар томонидан фойдаланилган (халқаро журналларда ҳаволалар: Journal of Cleaner Production, Volume 223, 801-814, (2019), IF: 7.246; Sustainability, 11(10), 2988, (2019), IF: 2.576; Innovative Energy & Research, 8:1, (2019), IF: 1.36; Book: Sustainable Food Drying Techniques in Developing

Countries: Prospects and Challenges (2020) ва бошқалар) ва ўз навбатида Ўзбекистоннинг қуёш энергияси салоҳияти ҳақидаги янгиланган, юқори аниқликдаги ва ишончли маълумотларни олиш имконияти яратилган;

«Ўзбекистон Республикаси минтақалари учун сунъий йўлдош ва ер усти кузатувларидан олинган узоқ муддатли кузатишларга асосланган актинометрик маълумотларни аниқлаш дастури» (№ DGU 05676, 10.09.2018) дастурий маҳсулоти Россия фундаментал тадқиқотлар фонди томонидан молиялаштирилган №18-51-41005 «Кремний ва бошқа турдаги гетероструктурали фотоэлектрик ва фото-иссиқлик қуёш энергияси ўзгартиргичлари ва энергия қурилмаларининг самарадорлигини иқлим шароитларини ҳисобга олган ҳолда ҳисобий-назарий ва тажрибавий ўрганиш» фундаментал лойиҳасини (2017-2020) бажаришга жорий этилган (Россия фанлар академиясининг Юқори ҳароратлар қўшма институти томонидан 02.11.2020 йилда берилган №11402-11-93-11-сонли маълумотномаси). Натижада, сўнгги 12 йил давомида Ўзбекистон ҳудуди учун қисқа вақт қадами билан олинган ер усти кузатувлар актинометрик маълумотларини тўплаш ва уларни халқаро маълумотлар базалари ва моделлари билан верификациялаш имконияти яратилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқотнинг асосий натижалари 8 та халқаро ва 6 та республика миқёсидаги илмий-амалий анжуманларда муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 26 та илмий иш чоп этилган, шу жумладан 6 та илмий мақола Scopus базасидаги, 2 та мақола Ўзбекистон Республикаси Вазирлар маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссияси томонидан эътироф этилган нашрларда чоп этилган, шунингдек, 3 та дастурий маҳсулот учун муаллифлик гувоҳномалари олинган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, умумий хулосалар, чоп этилган ишлар рўйхати, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 116 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, 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 «**Жаҳонда ва Ўзбекистонда қуёш энергиясидан фойдаланиш имкониятлари**»га бағишланган биринчи бобида жаҳонда ва Ўзбекистонда қайта тикланувчи энергия манбалари (ҚТЭМ)дан амалда

фойдаланиш ҳолати ва ривожланиш тенденцияси, Ўзбекистон Республикасининг географик жойлашуви ва иқлим хусусиятлари, Ўзбекистонда ҚТЭМ, ушбу соҳадаги меъёрий-ҳуқуқий қонунчилик, қуёш энергияси (ҚЭ) соҳасидаги тадқиқотлар ҳолати ва эришилган натижалар, гелиоэнергетик ресурсларни баҳолашда актинометрик маълумотларнинг ўрни ўрганилган. Олиб борилган илмий таҳлил асосида диссертация ишининг мақсад ва вазифалари шакллантирилган.

Ишда ихтиёрий йўналишда ва горизонтга нисбатан α бурча остида ўрнатилган сиртнинг бирлик юзасига тушувчи йиғинди қуёш нурланиши (ҚН)ни аниқлаш бўйича кенг тарқалган баҳолаш усулларида икки тури қараб чиқилган: а) изотроп осмон муҳити усули, б) КТ (муаллифлар фамилиялари бош ҳарфлари) усули^{6,8}.

КТ усули бўйича баҳолаш қуйидаги формулалар асосида амалга оширилади:

$$\bar{H}_T = \bar{H}_b \bar{R}_b + \bar{H}_d \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) + \bar{H}_p \left(\frac{1 - \cos \alpha}{2} \right); \quad (1)$$

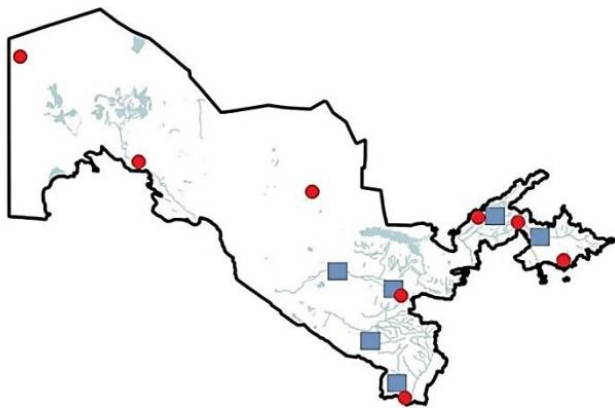
$$\frac{\bar{H}_T}{H} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{H} \right) \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{H} \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \alpha}{2} \right).$$

бунда

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\varphi - \alpha)}{d \cos \varphi} \left\{ \left(a - \frac{\bar{H}_d}{H} \right) \left(\sin \omega_s' - \frac{\pi \omega_s'}{180} \cos \omega_s' \right) + \frac{b}{2} \left[\frac{\pi \omega_s'}{180} + \sin \omega_s' (\cos \omega_s' - 2 \cos \omega_s'') \right] \right\} + \frac{\bar{H}_d}{H} \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \alpha}{2} \right). \quad (2)$$

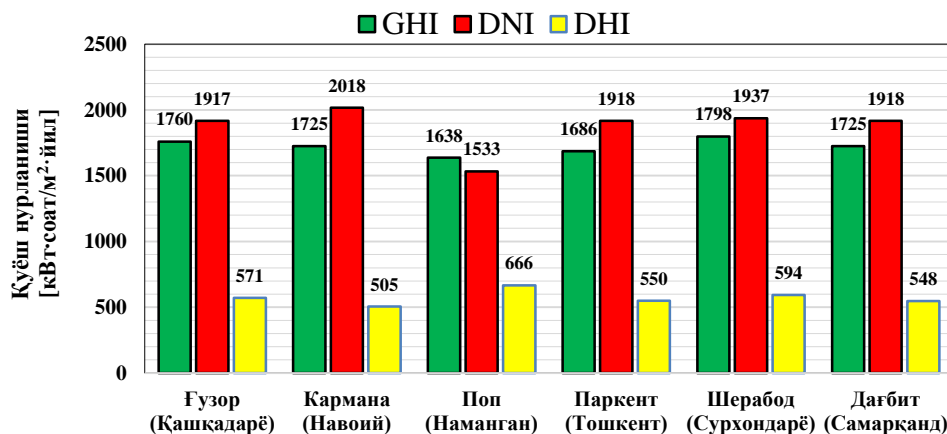
Диссертациянинг «**Ер усти ва сунъий йўлдош узок муддатли кузатувлари асосида олинган актинометрик маълумотларни йиғиш, қайта ишлаш ва верификациялаш**» деб номланган иккинчи боби Ўзбекистон ҳудудида мавжуд бўлган ер усти актинометрик метеостанциялари, уларнинг ҳолати, ушбу метеостанцияларда ўлчанадиган актинометрик маълумотлар таҳлилига, ҳамда олинган маълумотларни сунъий йўлдош кузатувлари ва реанализ натижалари билан верификациялашга бағишланган. Ҳозирги кунда Ўзбекистон ҳудудида жами 14 та актинометрик кузатувлар олиб бориладиган метеостанциялар мавжуд бўлиб, шундан 6 таси автоматлаштирилган. Мазкур метеостанцияларнинг Ўзбекистон ҳудуди бўйлаб жойлашуви 1-расмда келтирилган. Ушбу метеостанцияларнинг ўлчаш қадамлари бир-биридан кескин фарқ қилиши (10 мин÷3 соат) ҳамда ўлчашлар аниқлигидаги фарқ туфайли, ҳисоблаш ишларда уларнинг барчасидан олинган маълумотларни мужассамлаштириш мумкин эмаслиги сабабли, фақатгина автоматлаштирилган ҳамда 10 минут вақт қадами билан ўлчашлар олиб борилган метеостанциялар маълумотлари таҳлил қилинди ва верификациялашда фойдаланилди.

⁸ Klein S.A., Theilacker J.C. An Algorithm for Calculating Monthly-Average Radiation on Inclined Surfaces// Trans. ASME J. Solar Energy Eng. V. 103, 1981. P. 29.



1-расм. Ўзбекистон Республикаси ҳудудида автоматлаштирилган (квадратчалар-Поп, Паркент, Дағбит, Кармана, Ғузор ва Шеробод) ҳамда автоматлаштирилмаган (доиралар-Фарғона, Қизилча, Тошкент, Таҳиатош, Томди, Қорақалпоғистон, Термиз, Самарқанд) метеостанцияларнинг жойлашуви тўғрисида маълумот.

2-расмда республиканинг муайян ҳудудлари (катта қувватли фотоэлектрик станция (ФЭС)лар қурилиши режалаштирилган ҳудудлар) учун юқорида келтириб ўтилган автоматлаштирилган метеостанциялардан 2013-2017 йиллар оралиғида йиғинди ҚН бўйича олинган маълумотлар келтирилган.



2-расм. Республиканинг муайян ҳудудлари учун йиғинди ҚН (Умумий (йиғинди) қуёш нурланиши (GHI-Global Horizontal Irradiance); Тўғри тушувчи нурланиш (DNI-Direct Normal Irradiance); Тарқок (ёки диффуз) нурланиш (DHI-Diffuse Horizontal Irradiance)).

1-жадвалда эса ушбу метеостанциялардан олинган маълумотларга кўра, бир йил давомидаги ўртача қуёшли (очик) ва қуёшсиз кунлар сони келтирилган (қуёшли кунларни баҳолаш ясси қуёший сув иситгич коллекторлари (ЯҚСК) ва фотоэлектрик панел (ФЭП)ларнинг иш режими ишлаб чиқарувчи талабларига жавоб бериши кўзда тутилган кунлик энергетик ёрқинлик кўрсаткичига асосланади: $\Sigma q_{\perp} \geq 1 \text{ кВт} \cdot \text{соат} / \text{м}^2 \cdot \text{кун}$).

Шу билан бирга, мазкур метеостанциялар республика ҳудуди бўйича кам сонли ва нотекис тақсимланганлиги туфайли улардан олинган маълумотлар Ўзбекистоннинг барча ҳудудларида ҚЭнинг техник салоҳияти ҳақида тўлиқ тасаввур ҳосил қилиш имконини бермайди. Бунда, актинометрик станциялар кузатув маълумотларини экстраполяция ва интерполяция қилиш усулидан деярли фойдаланиб бўлмайди. Сабаб, рухсат этилган хатолик даражасида бундай ўлчашлар метеостанциясидан бор-йўғи 100-130 км дан кўп бўлмаган масофа учун тўғри бўлиши мумкин⁶. Бундан ташқари, олинган маълумотларни

йиғиш ва қайта ишлаш бўйича ягона марказ мавжуд эмас ёки бўлса ҳам ўз вазифасини бажара олгани йўқ.

1-жадвал

Ўзбекистондаги 6 та автоматлаштирилган метеостанциялардан олинган маълумотларга кўра бир йил давомидаги қуёшли (очик) ва булутли кунлар сони

Метеостанция номи	Очик қуёшли кунлар сони ($\Sigma q_{\perp} \geq 1 \text{ кВт} \cdot \text{соат} / \text{м}^2 \cdot \text{кун}$)	Қуёшсиз кунлар сони ($\Sigma q_{\perp} \leq 1 \text{ кВт} \cdot \text{соат} / \text{м}^2 \cdot \text{кун}$)
Ғузор (Қашқадарё)	323	43
Кармана (Навоий)	329	37
Поп (Наманган)	316	50
Паркент (Тошкент)	319	47
Шеробод (Сурхондарё)	343	23
Дағбит (Самарқанд)	331	35

ҚНнинг ер сиртига тушишига доир ер усти станциялари кузатув маълумотларининг етарли эмаслиги сўнгги йилларда сунъий йўлдош кузатувлари ва реанализ усулларидадан фойдаланган ҳолда маълумотларни қайта тиклаш ва моделлаштириш усулларида кенг фойдаланишни тақозо этмоқда^{9,10}. Мазкур усуллар ёрдамида олинган маълумотлар ер юзасининг йирик майдонлари учун узоқ муддатли актинометрик маълумотлар қаторини ҳосил қилиш имконини беради.

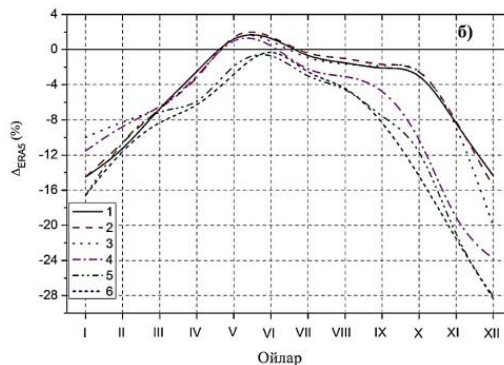
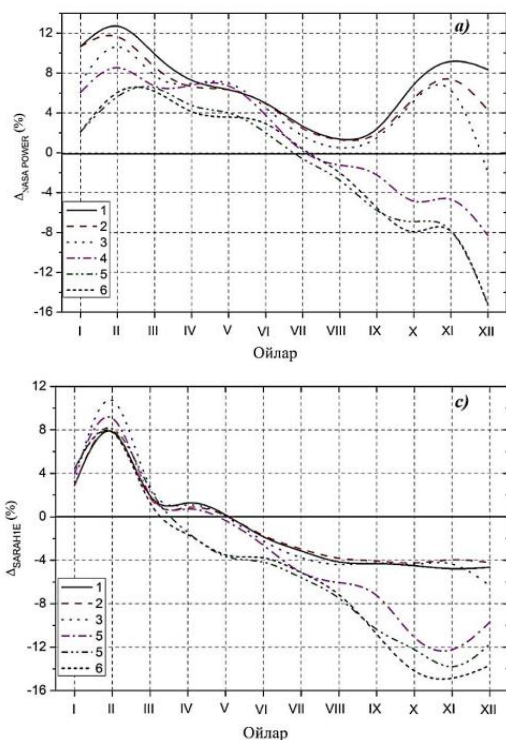
Халқаро маълумотлар базаларини танлашда Ўзбекистон ҳудуди учун маълумотларнинг мавжудлиги, уларнинг республика ҳудудидаги ер усти метеостанциялари маълумотлари билан верификацияланганлиги, ҳамда ўлчаш кадамининг қисқалиги каби жиҳатлар инobatга олинган. Шу муносабат билан, сунъий йўлдош кузатувлари ва реанализ маълумотлари сифатида NASA POWERнинг ўртача кунлик, SARAH-E ҳамда ERA5-реанализ базаларининг ўртача соатлик актинометрик маълумотлари олинган.

3-расмда муайян метеостанциялардан олинган маълумотларнинг юқорида келтирилган халқаро базалардан олинган маълумотларга нисбатан аниқланган ўртача нисбий хатоликларининг ойлар давомида ўзгариш графиклари келтирилган. NASA POWER маълумотларига кўра, ўртача нисбий хатолик (3а- расмга қаранг) йилнинг муайян даврига қараб, 0 дан 16% гача ўзгариб туради. Одатда Δ нинг катта қийматлари қиш фасли (декабр-феврал) ойларига тўғри келади (2-16%), қолган вақтда (март-ноябр) унинг қийматлари нолдан 8% гача ўзгаради. Энг кичик хатолик ёзда кузатилади (0-4%).

3б ва 3с-расмлар ERA5 ва SARAH1E маълумотларига кўра, ўртача нисбий хатоликнинг йил давомида ўзгаришини кўрсатади. Март–октябр ойларида ушбу катталик нолдан 12% гача, ноябр-феврал ойларида 4% дан 28% гача ораликда ўзгариб туради. Бутун йил давомида ўртача нисбий хатоликнинг энг катта қиймати ERA5 маълумотлар базасида кузатилган.

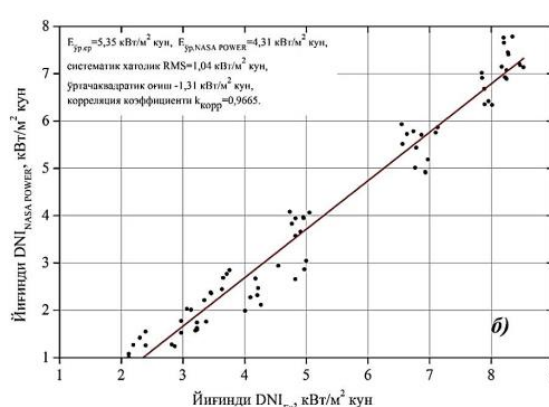
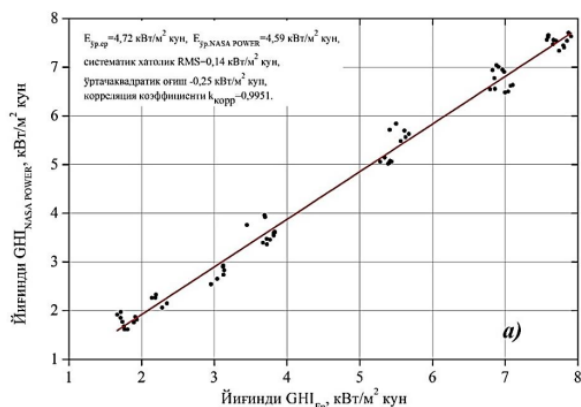
⁹ J.S. Bojanowski, A. Vrieling, A.K. Skidmore, “A comparison of data sources for creating a long-term time series of daily gridded solar radiation for Europe”, Solar Energy, no. 99, pp. 152–171, 2014.

¹⁰ R. Urraca, E. Martinez-de Pison, A. Sanz-Garcia, et al., “Estimation methods for global solar radiation: Case study evaluation of different approaches in central Spain”, Renewable & Sustainable Energy Reviews, no. 77, pp. 1098–1113, 2017.



3-расм. 6 та автоматлаштирилган метеостанциялардан олинган ўртача ойлик йиғинди ҚН қийматлари ва турли базалар қийматлари орасидаги ўртача нисбий хатолик (Δ)нинг ойлик ўзгариш графиклари (а)-NASA POWER; б)-ERA5; с)-SARAHI1E; 1- Паркент, 2- Кармана, 3-Дағбит, 4-Поп, 5-Шеробод, 6-Ғузор).

Учала маълумотлар базалари бўйича ўртача нисбий хатоликнинг ўзгаришига асосланиб, март–сентябр ойлари учун барча маълумотлар базасидан фойдаланиш мумкинлигини хулоса қилиш мумкин (барча маълумотлар базаларда хатоликнинг ўхшаш қиймати ёзда кузатилади – 4% гача). Бироқ, ўртача нисбий хатоликнинг энг кичик қийматларини кўрсатганлиги туфайли NASA POWER маълумотлари бошқа маълумотлар базасидан кўра мақбулроқдир.



4- расм. NASA POWER маълумотларига кўра, тушувчи қуёш нурланиши бўйича маълумотларнинг ер усти актинометрик кузатувлар маълумотларига нисбатан сочилиш диаграммаси (а) – горизонтал юзага тушувчи кунлик йиғинди нурланиш миқдорининг ўртача ойлик қиймати; б) – нормал юзага тўғри тушувчи кунлик йиғинди нурланиш миқдорининг ўртача ойлик қиймати), кВт/м² кун.

4-расмда верификация натижаларидан бири сифатида ўртача ойлик суткалик йиғинди GHI (горизонтал сиртга тушувчи йиғинди ҚН) ва DNI (горизонтал сиртга тўғри тушувчи йиғинди ҚН) бўйича NASA POWER

маълумотларининг ер усти кузатув натижаларига нисбатан сочилиш диаграммалари келтирилган.

Учала маълумотлар базаси маълумотлари билан верификациялаш натижаларидан кўринадики, ўртача ойлик суткалик йиғинди GHI миқдорини верификациялаш таҳлил қилинганда, ер усти қийматларига энг яқин бўлган энг яхши натижаларни NASA POWER маълумотлар базаси кўрсатди (2-жадвал).

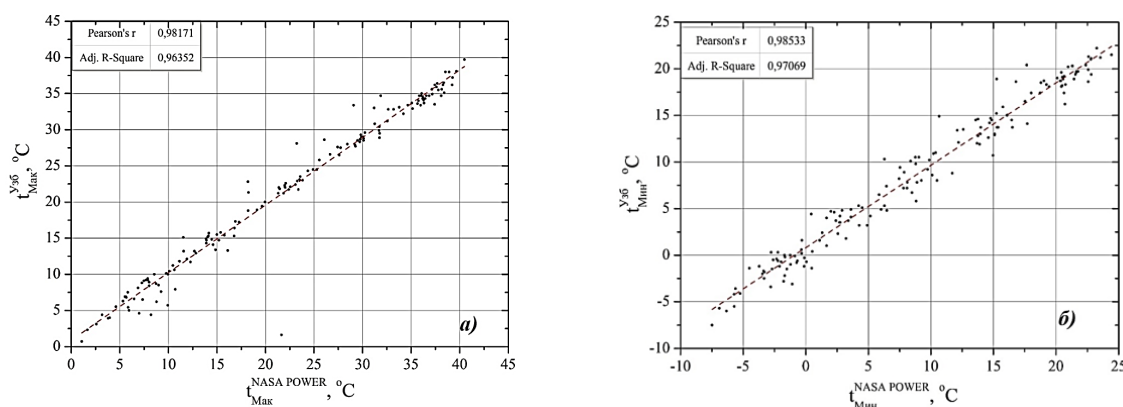
2-жадвал

Ўртача ойлик суткалик йиғинди GHI қийматлари бўйича NASA POWER, ERA5 ва SARAHI1E маълумотлар базалари бўйича таққослаш натижалари.

Халқаро маълумотлар базаси	Тизим хатолиги RMS (кВт·соат/м ²)	Ўртача квадратик четлашиш (RMSD) (кВт·соат/м ²)	Pearson's r (Пирсоннинг корреляция коэффициенти)
NASA POWER	0,14	0,25	0,9951
ERA5	0,2	0,26	0,9962
SARAHI1E	0,13	0,27	0,9901

Ўзбекистон ҳудудининг исталган нуктасидаги кунлик GHI йиғинди миқдорини қийматининг аниқлигини янада ошириш, шунингдек Ўзбекистон учун дастлабки актинометрик маълумотлар базасини яратиш мақсадида NASA POWER базаси маълумотлари (GHI нинг кунлик йиғинди миқдори (Вт·соат/м²·кун)) га тузатиш киритиш учун чизикли корреляцион ифода таклиф этилди:

$$E_{Ep} = 1.022 * (E_{NASAPOWER} + 35.525). \quad (3)$$



5-расм. Ўзбекистон ҳудудида жойлашган ер усти метеостанцияларидан олинган АМХнинг ўртача ойлик максимал (а) ва минимал (б) қийматларининг NASA POWER маълумотларига нисбатан сочилиш диаграммаси.

Ясси гелиоэнергетик қурилмалар (ЯГЭҚ) сиртига тушувчи ҚНнинг ўзгариш динамикасини билиш бундай турдаги ФЭС ишини тўлиқ баҳолаш учун етарли эмас. Атроф-муҳит ҳарорати (АМХ) каби муҳим иқлимий таснифларнинг ўзгарувчанлигини ҳисобга олиш ҚЭ асосидаги энергия тизимларини кенг кўламли жорий этишда баҳолашнинг аниқлиги ва ишончлилигини маълум миқдорда оширади.

5-расмда Ўзгидромет таркибидаги ер усти метеостанциялар кузатувлари асосида 30 йил (1981-2010) давомида ўлчанган АМХнинг ўртача ойлик

максимал ва минимал қийматлари билан NASA POWER маълумотларининг сочилиш диаграммаси келтирилган.

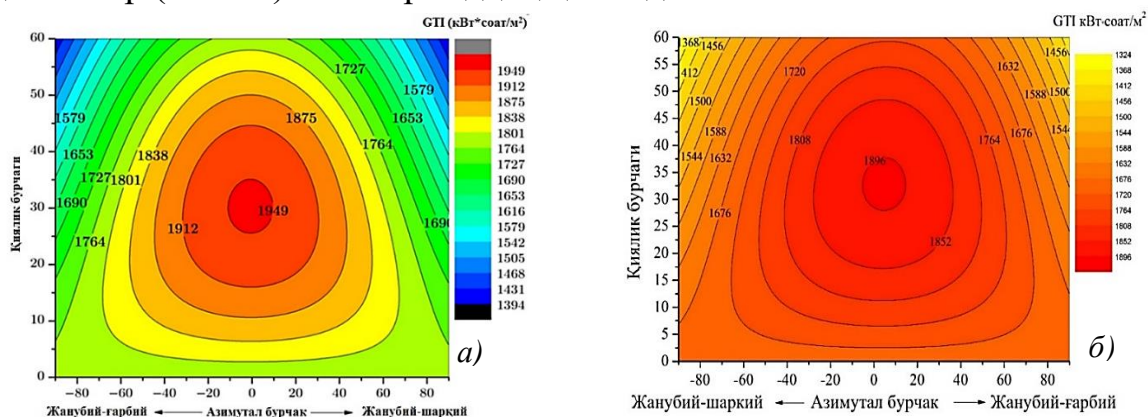
Куйида АМХнинг ўртача ойлик максимал ва минимал қийматларини аниқлаш учун NASA POWER ва ер усти метеостанцияларининг қийматлари ўртасидаги боғланиш ифодаси келтирилган:

$$t_{\text{мак_ер}} = 0.873 + 0.935 \cdot t_{\text{мак_NASAPOWER}}, \quad (4)$$

$$t_{\text{мин_ер}} = 0.813 + 0.884 \cdot t_{\text{мин_NASAPOWER}}. \quad (5)$$

Диссертациянинг «Ўзбекистон Республикасида фойдаланиладиган қуёш фотоэлектрик панеллари ва ясси қуёший сув иситгич коллекторларининг ресурс кўрсаткичлари» деб номланган учинчи бобида, ЯГЭҚнинг ишлаб чиқарувчанлиги ташқи омилларни инобатга олган ҳолда ўрганиш услубияти ишлаб чиқилган ва унинг асосида Ўзбекистон муайян ҳудудларида ўрнатилган ФЭП ва ЯҚСКларнинг электр энергия (ЭЭ) ва иссиқ сув ишлаб чиқарувчанлиги аниқланган.

Мазкур диссертация ишида танланган ЯГЭҚларнинг иккита асосий турлари – ФЭП ва ЯҚСК ларнинг чиқиш параметрларига таъсир қилувчи (энергия йўқотилишига олиб келувчи) асосий омиллар: ўрнатиш йўналиши (ориентация) (7÷30%), горизонтга нисбатан қиялик бурчаги (4÷8%), қурилма сирти ва АМХнинг таъсиридаги йўқотишлар (5÷25%), оптик йўқотишлар (5÷33%), ифлосланиш ва қурилма сиртининг чангланиши туфайли йўқотишлар (4÷17%) кабилар тадқиқ қилинди.

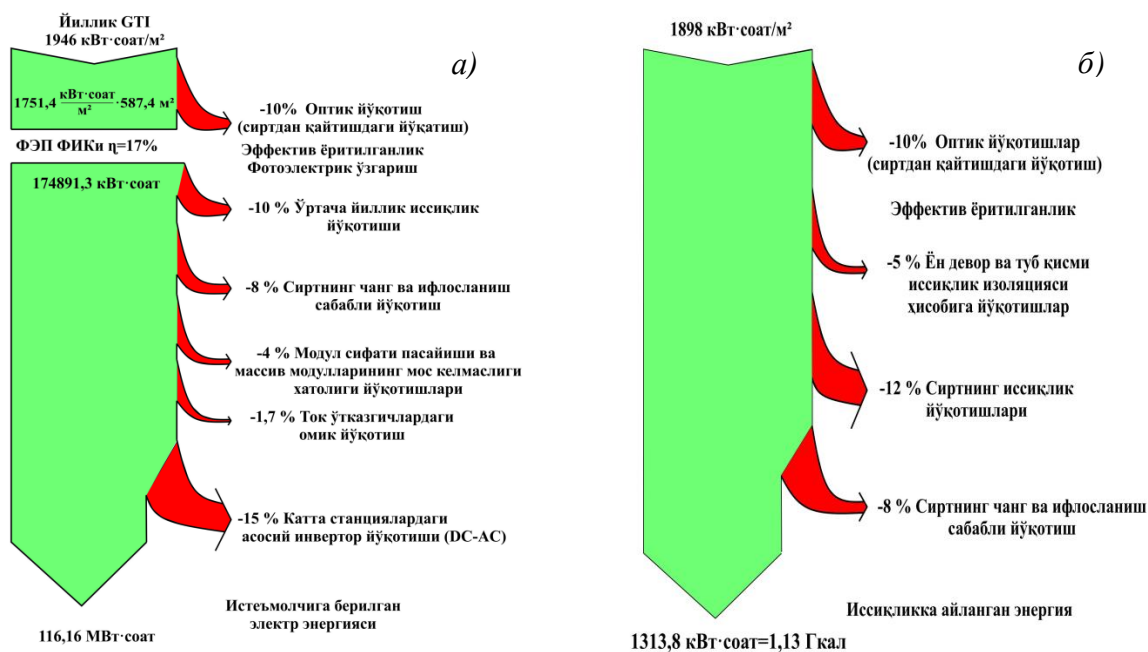


6-расм. Ясси сирт юзасига тушувчи йиллик ГПІ қийматининг сиртнинг ўрнатилиш йўналиши ва горизонтга нисбатан қиялик бурчагига боғлиқлиги:
 а) Сурхондарё вилояти ва б) Тошкент ҳудуди учун.

ЯГЭҚлар йиллик ишлаб чиқарувчанлигини ҳисоблаш услубияти асосида Сурхондарё вилоятида ўрнатилган ФЭПнинг йиллик ишлаб чиқарувчанлиги ҳисобланди. 6-расмда Сурхондарё вилояти ($\rho_0 = 0,3$) (6а-расм) ҳамда Тошкент ҳудуди (6б-расм) учун турли хил йўналишларда ва горизонтга нисбатан ихтиёрий бурчак остида ўрнатилган қия текисликка тушувчи йиллик ГПІ (ясси сирт юзасига тушувчи йиғинди ҚН)ни аниқлаш усули келтирилган.

7-расмда ЯГЭҚ ларнинг ишлаб чиқарувчанлигига таъсир этувчи юқорида санаб ўтилган омилларни ҳисобга олган ҳолда, қуввати 100 кВт бўлган ФЭСнинг (ФИК 17% бўлган ФЭП (КК280Р-3СD3СG) – юзаси 1662x990 мм² ва максимал қуввати $P_{\text{макс}}=280$ Вт бўлган мультикристалл панель) ўртача

йиллик ЭЭ ишлаб чиқарувчанлиги аниқлаш бўйича Санкей диаграммаси (7а-расм), ҳамда жанубий йўналишда ва горизонтга нисбатан $\alpha=30^\circ$ бурчак остида ўрнатилган ЯҚСКнинг бирлик юзасининг иссиқ сув ишлаб чиқарувчанлиги бўйича Санкей диаграммаси (7б-расм) келтирилган.



7-расм. Санкей диаграммаси: а) Жанубга йўналтирилган ва горизонтга жой географик кенглигига тенг бурчак остида ўрнатилган 100 кВт қувватли ФЭСнинг турли хил энергия йўқотишларини ҳисобга олган ҳолдаги ўртача йиллик ЭЭ ишлаб чиқарувчанлигини аниқлаш; б) Жанубий йўналишда ва горизонтга нисбатан 30° бурчак остида ўрнатилган ЯҚСКнинг 1 м^2 юзасининг турли энергия йўқотишларини ҳисобга олган ҳолда, йиллик иссиқ сув ишлаб чиқарувчанлигини аниқлаш.

Ҳисоблаш натижаларига кўра, Тошкент ҳудуди учун ASC 1808 маркали (ФИК=0,63; абсорберининг майдони $1,59\text{ м}^2$) ЯҚСКнинг 1 м^2 юзасидан бир йилда ўртача 18768 м^3 миқдорда 60°C ҳароратли иссиқ сув олиш мумкин.

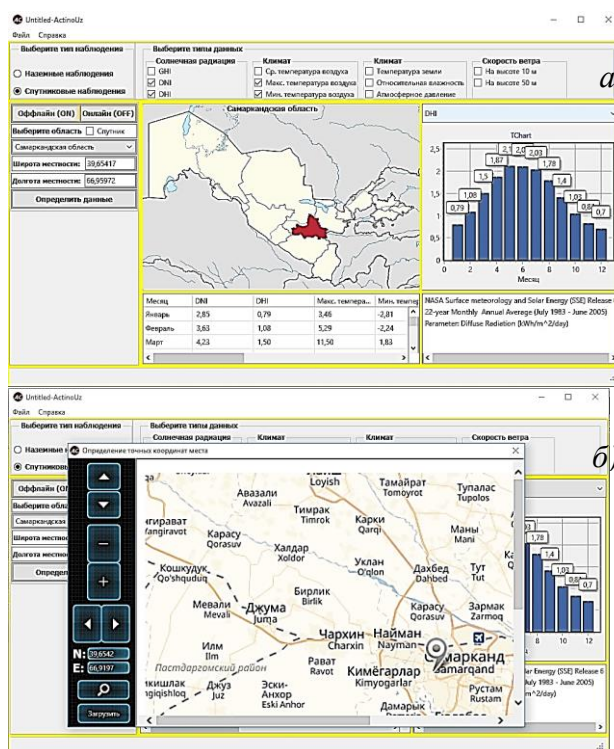
Дисертациянинг «Ўзбекистон Республикаси гелиоэнергетик ресурс маълумотларини амалда фойдаланиш мақсадида визуаллаштириш» деб номланган тўртинчи боби, ер усти ҳамда сунъий йўлдош кузатувлари негизида қисқа вақт қадами билан ўлчанган ва верификацияланган маълумотлар асосида Ўзбекистон ҳудуди учун актинометрик маълумотлар базасини яратиш, яратилган катта ҳажмли маълумотларни бошқариш учун дастурий маҳсулот ишлаб чиқиш, шу билан бирга, мазкур база маълумотларидан фойдаланган ҳолда ЯГЭҚ ишлаб чиқариш қувватини башоратлаш дастурини яратишга бағишланган. Шунингдек, яратилган маълумотлар базаси ёрдамида Ўзбекистон ҳудудининг гелиоэнергетик ресурсларини баҳолаш учун рақамли хариталар ишлаб чиқилган.

Ер усти ва сунъий йўлдош кузатувлари ҳамда реанализ негизида қисқа вақт қадами билан ўлчанган, шунингдек, қайта ишланган ва верификацияланган NASA POWER маълумотлари асосида, Ўзбекистон республикаси ҳудудлари учун узоқ муддатли сунъий йўлдош ва ер усти кузатувлари ҳамда реанализига асосланган актинометрик ва иқлимий

маълумотлар базаси яратилди (ЭХМ дастури расмий рўйхатдан ўтганлиги тўғрисида ЎзР ИМА томонидан берилган муаллифлик гувоҳномаси № ВГУ 00374, 11.04.2019.).

Улкан ҳажмдаги маълумотлар базасидан керакли ҳудуд учун тегишли маълумотлар тўпламини ажратиб олиш жараёнини соддалаштириш ва бошқариш учун Ўзбекистон ҳудуди учун сунъий йўлдош ва ер усти узок муддатли кузатув маълумотлари асосидаги актинометрик маълумотларни аниқлаш дастури ишлаб чиқилган. 8-расмда, дастур ёрдамида, тўпланган маълумотлар асосида бир қатор актинометрик кўрсаткичларни (8а-расм) ҳамда маҳаллий ҳудуд нуктасининг аниқ координаталарини (8б-расм) аниқлаш жараёнларидан фрагментлар келтирилган.

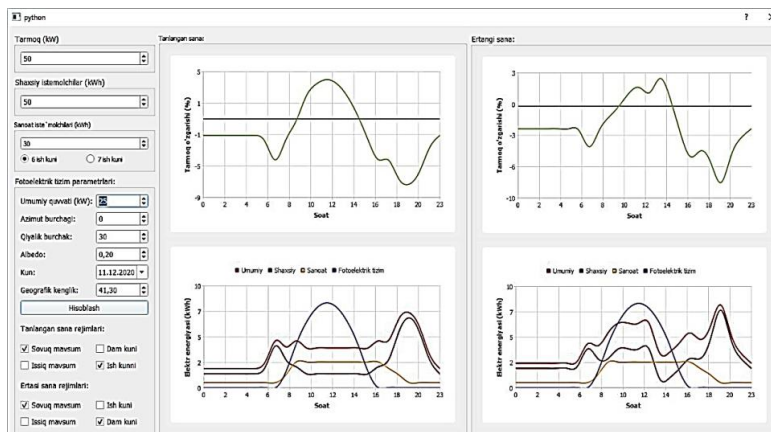
8-расм. Дастурий маҳсулот орқали актинометрик кўрсаткичларни (а) ва ўрганилаётган муайян нуктанинг аниқ координаталарини (б) аниқлаш жараёнларидан фрагментлар.



Тақдим этилаётган дастур ҚЭни электр ва иссиқлик энергиясига айлантиришда мамлакатнинг нисбатан истиқболли ҳудудларини аниқлаш имконини беради.

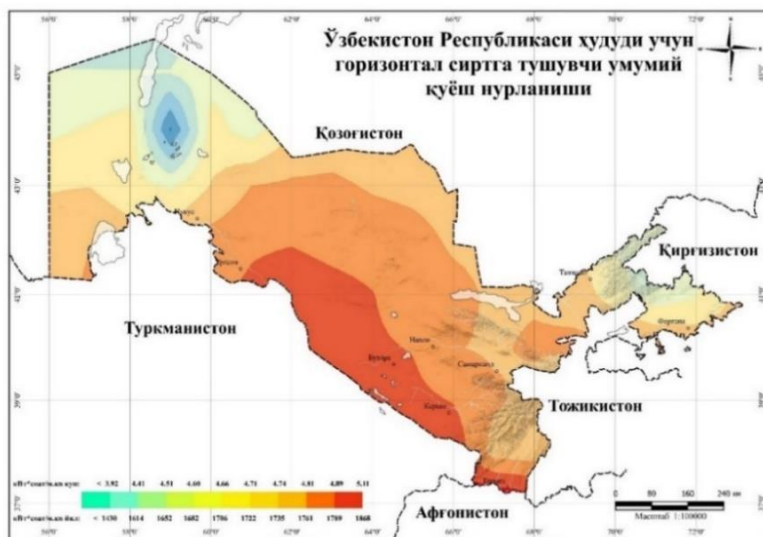
Шунингдек, тадқиқот доирасида хусусий ва саноат тармоқларининг кундалик ҳамда мавсумий истеъмол режимлардан келиб чиқиб, ФЭСларнинг ишлаб чиқариш қувватини башоратлаш дастури ишлаб чиқилган. 9-расмда ҚФЭСда ишлаб чиқариладиган ЭЭ миқдорини танланган (иш ёки дам олиш кун) ва эртанги кун учун аниқлаш жараёнидан фрагмент келтирилган.

NASA POWER актинометрик маълумотларини қайта ишлаш ва верификациялаш, шунингдек мамлакат ҳудудининг ҚЭ салоҳиятини баҳолаш учун қисқа муддатли қадам билан ўлчанган актинометрик маълумотлар асосида Атлас ишлаб чиқилди. Мазкур атлас Ўзбекистон ҳудуди учун ҚЭнинг табиий, ялпи ва техник салоҳияти каби рақамли хариталар туркумини ўз ичига олади.

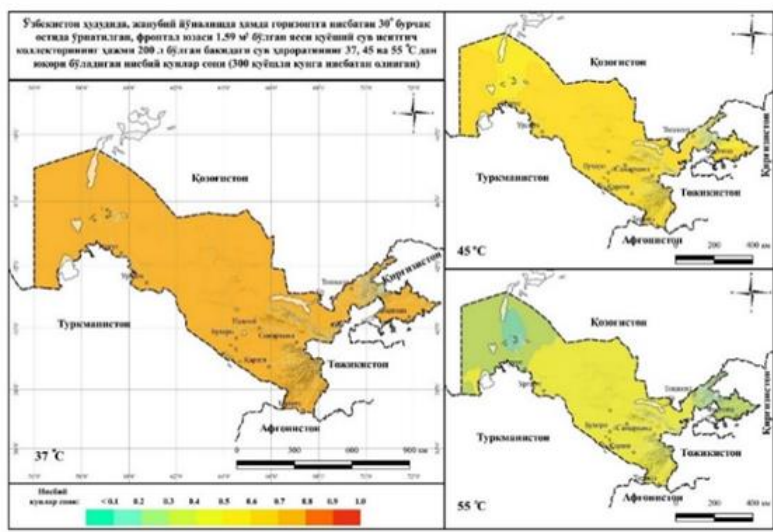


9-расм. Башоратлаш дастури ёрдамида ҚФЭСда ишлаб чиқариладиган ЭЭ микдорини берилган (иш куни) ва эртанги кун учун аниқлаш жараёнидан фрагмент.

Мисол тариқасида, 10-расмда горизонтал юзага тушаётган умумий ҚНнинг ўртача йиллик ва ўртача кунлик микдорларини аниқлаш учун Ўзбекистон ҚЭнинг табиий салоҳияти харитаси келтирилган.



10-расм. Ўзбекистон Республикаси ҳудуди учун ўртача кунлик ва ўртача йиллик GHI микдорини аниқлаш учун ҚЭ салоҳияти хариталари туркумидаги хариталардан бири.



11-расм. Ўзбекистон ҳудудида, жанубий йўналишда ҳамда горизонтга нисбатан 30° бурчак остида ўрнатилган, фронтал юзаси 1,59 м² бўлган ясси куёший сув иситгич коллекторининг ҳажми 200 л бўлган бакидаги сув ҳароратининг 37, 45 ва 55 °С дан юқори бўладиган нисбий кунлар сони (300 куёшли кунга нисбатан олинган).

11-расмда Ўзбекистон ҳудудида, жанубий йўналишда ва горизонтга 30° бурчак остида ўрнатилган, шунингдек нур қабул қилувчи фронтал сирти 1,59 м² ҳамда ФИКи 63% бўлган ЯҚСКнинг 200 л ҳажмли бакидаги сув

харорати 37, 45 ёки 55 °C дан юқори бўладиган нисбий кунлар сони келтирилган (300 қуёшли кунга нисбатан).

Қуёш энергияси ресурсларининг рақамли хариталарини ишлаб чиқиш ва актинометрик маълумотлар базаларини шакллантириш бўйича олинган натижалар Ўзбекистон Республикасида ЯГЭҚ ишлаб чиқариш қувватини узоқ ва қисқа муддатли илмий башоратлаш учун асос бўлиб хизмат қилади.

ХУЛОСА

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

1. Қисқа вақт қадами билан кузатиш имконига эга бўлга ер усти ва сунъий йўлдош кузатувлари асосида Ўзбекистон ҳудуди учун иқтисодиёт тармоқларида қуёший энергетик қурилмаларидан кенг кўламли фойдаланиш имкониятларини баҳолаш мақсадида қуёш энергиясининг техник салоҳияти таҳлил қилинган;

2. NASA POWER, ERA5 и SARAH-E сунъий йўлдош кузатув базалари ҳамда реанализ маълумотлари Ўзбекистондаги 6 та автоматлашган ер усти метеостанциялари маълумотлари билан таққослаш орқали верификацияланган. Натижада, апрелдан сентябргача бўлган даврда қуёший гелиоэнергетик қурилмалар иш самарадорлигини аниқлашда NASA POWER маълумотларидан 8% гача ҳамда ERA5 ва SARAH1E маълумотларидан эса 8-12% гача нисбий четлашишлар билан фойдалиниш мумкинлиги аниқланди.

3. Исталган йўналишда ва горизонтга нисбатан ихтиёрий бурчак остида ўрнатилган ясси гелиоэнергетик қурилмаларининг бирлик сиртига тушаётган йиллик йиғинди қуёш нурланишини аниқлаш бўйича принципиал схема таклиф этилган. Натижада, жойнинг географик кенглигига тенг бурчак остида ўрнатилган сирт юзасига тушувчи йиғинди қуёш нурланиши горизонтал сиртга нисбатан 8-13% га ортиқ бўлиши аниқланган.

4. Ўзбекистонда йирик қувватли фотоэлектрик станцияларини лойиҳалаштириш, режалаштириш ва уларнинг ишлаб чиқариш қувватини башоратлаш учун кўп йиллик сунъий йўлдош (NASA POWER, ERA5 и SARAH-E) ва республика ер усти кузатувлари ҳамда реанализга асосланган ўртача соатлик, ўртача кунлик актинометрик ва иқлимий маълумотлар базаси яратилган.

5. Ясси гелиоэнергетик қурилмаларнинг ишлаб чиқариш қувватини тезкор ҳамда ишончли баҳолаш мақсадида Ўзбекистон ҳудуди учун қуёш нурланишининг табиий, ялпи ва техник салоҳияти рақамли хариталари ишлаб чиқилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/30.09.2020.Т.111.03 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ФЕРГАНСКОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ
ИНСТИТУТЕ**

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

РАХИМОВ ЭРГАШАЛИ ЮЛДАШЕВИЧ

**ФОРМИРОВАНИЕ И ВЕРИФИКАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ
ОЦЕНКИ ГЕЛИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ УЗБЕКИСТАНА**

05.05.06 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

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

ФЕРГАНА – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2020.4.PhD/Т924.

Диссертация выполнена в Физико-техническом институте и Международном институте солнечной энергии.

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

Научный руководитель:	Авезова Нилуфар Раббанакуловна доктор технических наук
Официальные оппоненты:	Уришев Боборахим доктор технических наук, доцент Пайзуллаханов Мухаммаде-Султанхан Сайдивалиханович доктор технических наук
Ведущая организация:	Ташкентский государственный технический университет им. И.А. Каримова

Защита состоится «10» июля 2021 года в 10:00 часов на заседании Научного совета PhD.03/27.02.2020.Т.106.02 при Ферганском политехническом институте. (Адрес: 150107, г. Фергана, ул. Ферганская, дом 86. Тел: (+99873) 241-12-06, факс (+99873) 241-12-06, e-mail: ilmiy-kengash@ferpi.uz, малый зал заседания).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке (ЦИР) Ферганского политехнического института (зарегистрирована за № 2-A). Адрес: 150107, г. Фергана, ул. Ферганская, дом 86. Тел: (+99873) 241-12-06.

Автореферат диссертации разослан «25» 06 2021 года.
(протокол рассылки № 1 от «24» 06 2021 г.)



С.Ф. Эргашев
Председатель научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., доцент

М.О. Узбекиев
Ученый секретарь научного совета по
присуждению ученых степеней, PhD.

Е.С. Аббасов
Председатель научного семинара при
Научном совете по присуждению
ученых степеней, д.т.н., доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность диссертационной темы. В мире, в последнее десятилетие повышение энергоэффективности и обеспечение населения «экологически чистой» энергией на основе расширения практического использования возобновляемых источников энергии занимает одно из ведущих мест^{1,2}. Сегодня, несмотря на значительный рост в развитых странах в данной области, требуется поддержать среднее повышение температуры, предусмотренное Парижским соглашением, на уровне 1,5°C, а на промышленном уровне не более 2,0°C³. В связи с этим, проведение научных исследований по «...снижению выбросов CO₂ на 90% к 2050 году на основе использования возобновляемых источников энергии» является актуальной⁴.

В мире, помимо оценки общего и технического потенциала энергетических систем на основе возобновляемых источников энергии, ведутся научно-исследовательские работы, направленные на краткосрочное и долгосрочное научное прогнозирование их производственной мощности с учетом различных климатических изменений⁵. В связи с этим, особое внимание уделяется исследованиям по оценке потенциала ресурсов солнечной энергии в конкретном географическом регионе для практического применения в отраслях экономики, исследованиям по проектированию и прогнозированию производственных мощностей солнечных устройств и энергетических систем на их основе⁶.

В Республике проводятся масштабные мероприятия по расширению практического использования солнечной и ветровой энергии в сфере энергетики, использованию энергоэффективных установок и снижению количества энергопотребления, тем самым сохраняя запасы углеводородов для будущего поколения и предшествуя смягчению экологической ситуации, и получены конкретные результаты. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены важные задачи, среди которых «...снижение ресурсной и энергоемкости экономики, внедрение энергосберегающих технологий в производство, расширение использования возобновляемых источников энергии...»⁷. Для обеспечения своевременного и качественного выполнения этих задач, в частности, при проектировании энергетических систем на основе возобновляемых источников энергии, важную роль играет достоверная оценка гелиоэнергетических ресурсов на территории нашей страны, высокоточное научное прогнозирование производственных мощностей солнечных установок.

¹ IRENA/ADFD Project Facility: Lessons from the selection process. October 2020.

² Попель О.С., Фортов В.Е. Возобновляемая энергетика в современном мире. М.: Изд. дом МЭИ, 2015.

³ <https://unfccc.int/ru/peregovornyy-process-i-vstrechi/parizhskoe-soglashenie/parizhskoe-soglashenie>

⁴ <https://www.irena.org/climatechange>

⁵ REN21. 2020. Renewables 2020 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-948393-00-7.

⁶ J.A. Duffie and W.A. Beckman. Solar Engineering of Thermal Processes, New Jersey, 2013.

⁷ Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № УП-4947 «Стратегия действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан на 2017-2021 годы».

Данная диссертационная работа в определенной степени служит выполнению задач, указанных в Указе Президента Республики Узбекистан за № ПФ-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии дальнейшего развития Республики Узбекистан», Законе Республики Узбекистан за № 539 от 21 мая 2019 года «Об использовании возобновляемых источников энергии», Постановлении Президента Республики Узбекистан за №ПП-4422 от 22 августа 2019 года «Об оперативных мерах по повышению энергоэффективности экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой области.

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

Степень изученности проблемы. Научные исследования, направленные на изучение прозрачности земной атмосферы, использования ресурсов солнечной энергии, сбор базы актинометрических данных и их обработки и верификации и на основе этих разработка программного обеспечения по определению производительностей плоских солнечных энергоустановок для ЭВМ, а также подготовке карт технического потенциала по их использованию в различных климатических условиях проводится во многих ведущих научно-исследовательских центрах и высших образовательных учреждениях мира, в частности: University of Wisconsin (США), University of California (США), National Renewable Energy Laboratory (США), Institute of solar technologies (Швейцария), Universidad de Valladolid (Испания), Ilmatieteen laitos (Финляндия), National Institute of Solar Energy (Индия), Tartu Ülikool (Эстония), Всемирном банке и Международном финансовой корпорации, в Международном агентстве по возобновляемым источникам энергии, в проекте NASA POWER (NASA Prediction of World-wide Energy Resource) (США), Shanghai Center for Urban Environmental Meteorology и Institute of energy research (Китай), Объединенном институте высоких температур (Россия), Московском государственном университете (Россия), Институте прикладной физики (Молдова), Кыргыз Улуттук Университети (Кыргызстан), Физико-техническом институте и Национальном университете Узбекистана (Узбекистан), и др.

В решении вопросов разработки методов расчета годового, среднемесячного, среднесуточного солнечного излучения, падающей в различные точки земной поверхности и на наклонную плоскость произвольной ориентации, определения эффективности гелиоэнергетических приборов на их основе, верификации наземных наблюдений со спутниковыми данными, а также разработки атласа потенциала солнечной энергии, большой вклад внесли ряд известных зарубежных ученых, таких как J.A. Duffie, W.A.

Beckman, S.A. Klein, M. Sengupta, A. Habte, S. Kurtz, S. Wilbert, R. Urraca, O.C. Попель, С.В. Киселева, С.Е. Фрид и другие.

При решении научных задач по оценке потенциала солнечной энергии в Республике Узбекистан и определению показателей ресурсов солнечной энергии многочисленные исследования проведены учеными, такими как Б.П. Вайнберг Р.Б. Байрамов, А.Д. Ушакова, Г.Я. Умаров, С.Н. Саидов, Р.А. Захидов, Р.Р. Авезов, В.Е. Чуб, Д.А. Абдуллаев, Ю.В. Петров, Х.Т. Эгамбердиев, Б.М. Холматжанов и др., и были получены важные результаты.

Несмотря на огромное число работ в данной области, выполненных отечественными учеными, в Узбекистане отсутствует базы данных или дата центров, охватывающих всю территории Узбекистана, и собирающие актинометрические данные за последние 15 лет.

В настоящей диссертационной работе представлены результаты сбора, обработки и верификации многолетних актинометрических данных на основе спутниковых и наземных наблюдений, полученных с коротким временным шагом с целью оценки и прогнозирования ресурсных показателей плоских гелиоэнергетических устройств на территории Республики Узбекистан.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Исследование выполнено в Физико-техническом институте Академии наук Республики Узбекистан в рамках молодежного проекта ЁФА-Атех-2018-144 «Разработка и реализация математической модели для определения производительностей плоских солнечных энергоустановок в определенных регионах Республики Узбекистан» (2018-2019), прикладного проекта ФА-Атех-2018-517+513+362 «Интеграция фотоэлектрической системы в центральные сети передачи электроэнергии» (2018-2020) и фундаментального проекта ООО «Международной институт солнечной энергии» БВ-М-ФЗ-003 «Научные и инженерные основы повышения эффективности использования солнечной энергии в системах теплоснабжения» (2017-2020).

Целью диссертационной работы является сбор, обработка и верификация долгосрочных актинометрических данных на основе краткосрочных спутниковых и наземных наблюдений для оценки и научного прогнозирования ресурсных показателей плоских гелиоэнергетических установок и их визуализация.

Задачи исследования:

сбор и анализ актинометрических данных, полученных от 6 метеостанций, созданных при поддержке АБР на 2013-2017 годы, имеющие возможность проведения наблюдений с коротким временным шагом;

сбор, анализ и верификация актинометрической базы данных для территории Узбекистана за последние 12 лет, полученных из международных баз данных и моделей на основе спутниковых наблюдений;

разработка математической модели и программы для получения среднечасовых, среднесуточных актинометрических и климатических данных

с коротким временным шагом для оценки ресурсных показателей плоских гелиоэнергетических установок (фотоэлектрических панелей и плоских солнечных водонагревательных коллекторов) в определенных регионах Узбекистана;

разработка цифровых карт природного, валового и технического потенциалов солнечного излучения.

Объектом исследования являются ресурсные показатели плоских гелиоэнергетических установок (фотоэлектрических панелей и плоских солнечных водонагревательных коллекторов) в определенных регионах Узбекистана.

Предметом исследования являются наземные и спутниковые наблюдения, а также верификация актинометрических и климатических баз данных, полученных из них для территории Узбекистана.

Методы исследования. Для решения поставленных задач при верификации среднемесячных значений суточных сумм суммарного излучения на горизонтальную поверхность, использован метод среднеквадратического отклонения (RMSD), абсолютной, относительной и системной погрешности (RMS), а также скорректированного коэффициента детерминации ($Adj.R^2$). Для определения степени общей корреляции наборов данных с наземными измерениями использованы корреляционные и точечные графики Пирсона. При создании цифровых карт использовалась программа QGIS (свободная кроссплатформенная геоинформационная система) с открытым доступом и метод треугольной нерегулярной сети (TIN) для реализации интерполяции.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

впервые предложен метод оценки ресурсных показателей плоских гелиоэнергетических установок (фотоэлектрических панелей и плоских солнечных водонагревательных коллекторов) с коротким временным шагом и с высокой точностью для территории Узбекистана;

впервые верифицированы актинометрические данные базы данных NASA POWER для территории Узбекистана с данными наземных наблюдений и доказано, что относительная погрешность между ними составляет 3-8%.

впервые предложены выражения корреляционной зависимости показателей значения наземных измерений дневной суммы глобального солнечного излучения, падающих на горизонтальную поверхность, а также значений максимальной и минимальной температуры окружающей среды, полученных путем наземных измерений от значений базы данных NASA POWER;

впервые определено, что относительная погрешность между многолетними спутниковыми данными (NASA POWER, ERA5 и SARAH-E) и наземными наблюдениями по среднечасовым, среднесуточным актинометрическим и климатическим показателям для регионов республики составляет 10%;

предложена математическая модель по определению прогнозных ресурсных показателей плоских энергоустановок для территории Узбекистана с учетом верифицированных актинометрических и климатических данных и

на её основе разработаны цифровые карты гелиоэнергетических ресурсов республики.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

создана актинометрическая и климатическая база данных на основе многолетних спутниковых и наземных наблюдений, а также реанализа для регионов Республики Узбекистан;

разработана программа для определения актинометрических данных, на основе многолетних наблюдений от спутниковых и наземных измерений для регионов Республики Узбекистан;

разработана программа для прогнозирования производственных мощностей фотоэлектрических станций на основе суточных и сезонных режимов потребления частного и промышленного секторов.

Достоверность результатов исследований: сопоставление с известными моделями. Результаты математического моделирования физических процессов, происходящих в солнечных энергоустановках, а также статистических анализов баз данных с большими объемами, и на их основе научно обоснованные исходные прогнозы при оценке ресурсов солнечной энергии на территории страны совпадают с прогнозными результатами общеизвестных моделей PVSyst, Transys, SolarGis.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость: впервые выполнена верификация базы исходных актинометрических данных с коротким временным шагом для использования при планировании, проектировании и прогнозировании энергосистем на основе солнечной энергии.

Практическая значимость: разработана цифровая карта гелиоэнергетических ресурсов Республики Узбекистан и на этой основе выполнена оценка ресурсных показателей плоских гелиоэнергетических установок (фотоэлектрические панели и плоские солнечные водонагревательные коллекторы) в определенных регионах Узбекистана.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов, полученных по изучению гелиоэнергетических ресурсов Узбекистана и верификации актинометрических данных наземных наблюдений:

проанализированы и оценены потенциал солнечной энергии Узбекистана и ресурсные показатели солнечных фотоэлектрических станций на основе наземных наблюдений с кратковременным шагом. В результате, полученная методика оценки и показатели были использованы зарубежными исследователями (ссылки в международных журналах: Journal of Cleaner Production, Volume 223, 801-814, (2019), IF: 7.246; Sustainability, 11(10), 2988, (2019), IF: 2.576; Innovative Energy & Research, 8:1, (2019), IF: 1.36; Book: Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challenges, (2020) и др.), и в свою очередь получена возможность получения обновленной, высокоточной и достоверной информации о техническом потенциале солнечной энергии в Узбекистане;

программный продукт «Программа для определения актинометрических данных, на основе многолетних наблюдений от спутниковых и наземных

измерений для регионов Республики Узбекистан» внедрен при выполнении фундаментального исследования №18-51-41005 «Расчетно-теоретическое и экспериментальное исследование эффективности работы гетероструктурных кремниевых и других типов фотоэлектрических и фото-тепловых преобразователей энергии солнечного излучения и энергоустановок на их основе с учетом климатических условий эксплуатации», финансируемого Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ) (2017-2020). В результате, получена возможность сбора данных наземных актинометрических наблюдений с коротким временным шагом для территории Узбекистана за последние 12 лет и их верификация с международными базами данных и моделями (справка №11402-11-93-11 выдана Объединенным институтом высоких температур Российской академии наук от 02.11.2020 г.).

Апробация результатов исследования. Основные результаты исследования были обсуждены на 8 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано всего 26 научных работ, из них 6 научных статей в зарубежных журналах, реферируемых в базе данных Scopus, 2 в республиканском изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Кабинете Министров Республики Узбекистан, а также, получены 3 авторских свидетельств на программный продукт.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка опубликованных работ, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 116 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

В первой главе диссертации «**Возможности использования солнечной энергетики в мире и в Республике Узбекистан**» были изучены текущее состояние и тенденции развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мире и в Узбекистане, географическое расположение и климатические особенности Республики Узбекистан, ВИЭ в Узбекистане, законодательство в этой области, состояние и результаты исследований в области солнечной

энергии (СЭ), изучена роль актинометрических данных при оценке ресурсов солнечной энергии. Цели и задачи диссертации сформированы на основе научного анализа.

В исследовании рассматривались два типа общих методов оценки для определения суммарного солнечного излучения (СИ), падающего на единицу поверхности в произвольном направлении и под углом α к горизонту: а) метод изотропной небесной среды, б) метод КТ (инициалы авторов)^{6,8}.

Оценка по методу КТ основывается на следующих формулах:

$$\bar{H}_r = \bar{H}_b \bar{R}_b + \bar{H}_d \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) + \bar{H} \rho \left(\frac{1 - \cos \alpha}{2} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\bar{H}_r}{H} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{H} \right) \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{H} \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \alpha}{2} \right).$$

где

$$\bar{R} = \frac{\cos(\varphi - \alpha)}{d \cos \varphi} \left\{ \left(a - \frac{\bar{H}_d}{H} \right) \left(\sin \omega'_s - \frac{\pi \omega'_s}{180} \cos \omega''_s \right) + \frac{b}{2} \left[\frac{\pi \omega'_s}{180} + \sin \omega'_s (\cos \omega'_s - 2 \cos \omega''_s) \right] \right\} + \frac{\bar{H}_d}{H} \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \alpha}{2} \right). \quad (2)$$

Вторая глава «Сбор, обработка и верификация актинометрических данных на основе многолетних наземных и спутниковых наблюдений» посвящена анализу наземных актинометрических метеостанций в Узбекистане, их статусу, актинометрическим данным, измеренным на этих метеостанциях, а также верификации данных, полученных с помощью спутниковых наблюдений и реанализа.

В настоящее время на территории Узбекистана актинометрические наблюдения проводятся в 14 метеостанциях, из которых 6 автоматизированы. Эти метеостанции расположенные по всей территории Узбекистана, показаны на рис.1.

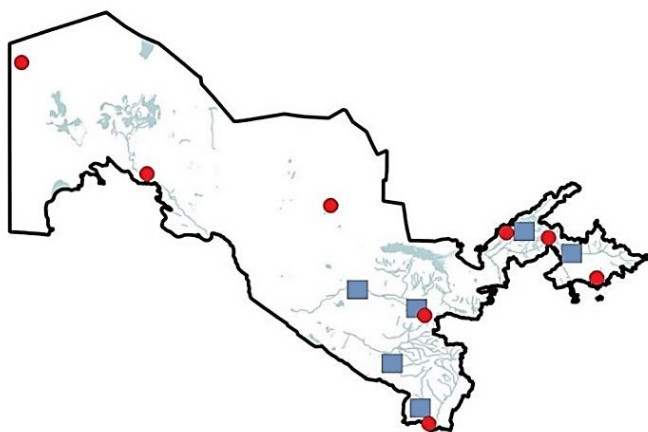


Рис.1. Информация о расположении автоматизированных (квадраты – Поп, Паркент, Дагбит, Кармана, Гузар и Шерабад) и неавтоматизированных (круги – Фергана, Кызылча, Ташкент, Тахиаташ, Тамды, Каракалпакия, Термез, Самарканд) метеостанций на территории Республики Узбекистан.

Из-за резких различий в шагах измерений этих метеостанций (3 часа ÷ 10 мин) и разницы в точности измерений невозможно объединить данные, полученные со всех из них, в расчетах, только данные автоматической

⁸ Klein S.A., Theilacker J.C. An Algorithm for Calculating Monthly-Average Radiation on Inclined Surfaces// Trans. ASME J. Solar Energy Eng. V. 103, 1981. P. 29.

метеорологической станции, измеренные с шагом в 10 минут, были проанализированы и использованы для проверки.

На рис.2 представлены данные, полученные по указанным выше автоматизированным метеостанциям для определенных регионов республики за период 2013-2017 гг.

В табл. 1 показано среднее количество солнечных (открытых) и пасмурных дней в году по данным этих метеостанций (оценка солнечных дней основана на показателе дневной энергетической яркости, которая, как ожидается, будет соответствовать требованиям производителя солнечной установки и ФЭП: $\Sigma q_{\perp} \geq 1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{день}$).

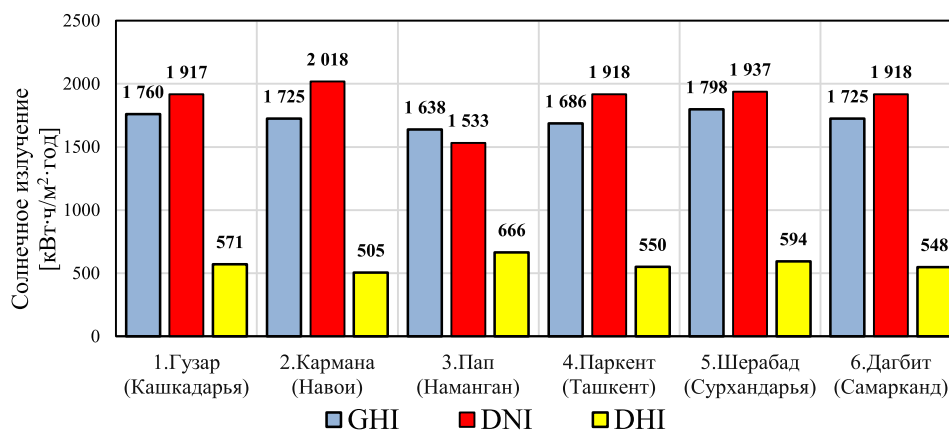


Рис.2. Суммарное СИ для определенных регионов республики:
(Глобальное СИ (GHI-Global Horizontal Irradiance);
(Прямое СИ (DNI-Direct Normal Irradiance);
(Рассеянное (или диффузное) СИ (DHI-Diffuse Horizontal Irradiance)).

Таблица 1.

Количество солнечных (ясных) и пасмурных дней в году по данным 6 автоматизированных метеостанций страны

Название метеостанций	Число ясных солнечных дней ($\Sigma q_{\perp} \geq 1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{день}$)	Число неясных дней ($\Sigma q_{\perp} \leq 1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{день}$)
Гузар (Кашкадарья)	323	43
Кармана (Навои)	329	37
Пап (Наманган)	316	50
Паркент (Ташкент)	319	47
Шерабад (Сурхандарья)	343	23
Дагбит (Самарканд)	331	35

Вместе с тем, данные этих метеостанций не дают возможность получить полную картину технического потенциала солнечной энергии во всех регионах Узбекистана, из-за их небольшого количества и неравномерного распределения по территории республики. При этом экстраполяция и интерполяция данных актинометрических станций малоприменима, поскольку такие измерения с приемлемой погрешностью могут распространяться на расстояние не более 100-130 км от метеостанции⁶. Кроме этого, отсутствует единый центр сбора и обработки данных.

Для решения проблемы недостаточности наземных данных о поступлении солнечного излучения, в последние десятилетия широко

используются методы моделирования и восстановления данных с использованием спутниковых наблюдений и методов реанализа^{9,10}. Они позволяют сформировать долгосрочные ряды актинометрических данных для больших зон земной поверхности.

При выборе международных баз данных учитывается наличие данных для территории Узбекистана, верификация с данными наземных метеостанций на территории Республики, а также временный шаг измерений. В связи с этим, в качестве данных спутниковых наблюдений и реанализа были выбраны среднедневные данные NASA POWER, а также среднечасовые актинометрические данные SARAHE и ERA5-реанализа.

На рис.3 показаны графики месячного изменения средних относительных ошибок данных от отдельных метеостанций по отношению к данным из вышеуказанных международных баз данных.

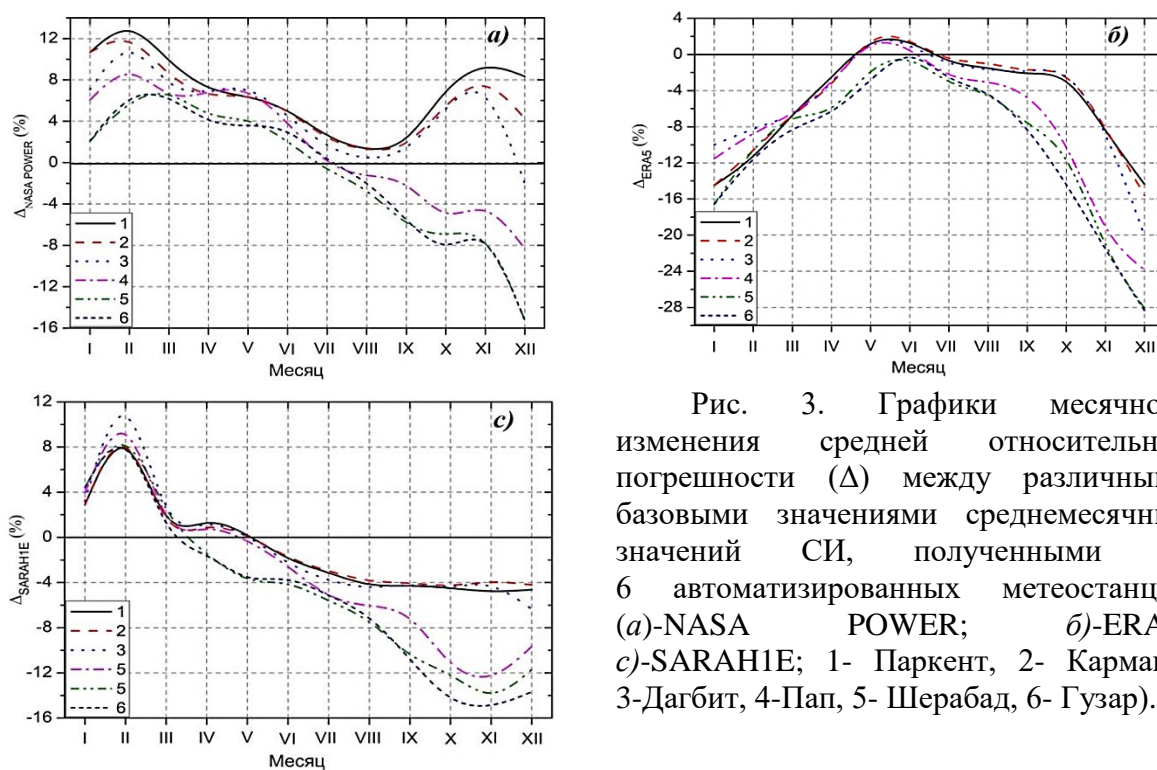


Рис. 3. Графики месячного изменения средней относительной погрешности (Δ) между различными базовыми значениями среднемесячных значений СИ, полученными из 6 автоматизированных метеостанций (а)-NASA POWER; б)-ERA5; в)-SARAHE; 1- Паркент, 2- Кармана, 3-Дагбит, 4-Пап, 5- Шерабад, 6- Гузар).

Средняя относительная погрешность по данным NASA POWER (см. рис. 3а) колеблется от 0 до 16%, в зависимости от времени года. Обычно большие значения Δ приходятся на зимние (декабрь-февраль) месяцы года (2–16%), а в остальное время (март-ноябрь) её значения колеблются от нуля до 8%. Самая низкая погрешность наблюдается летом (0-4%).

Рис. 3б и 3с иллюстрируют годовой ход средней относительной погрешности по данным ERA5 и SARAHE. В период с марта по октябрь она колеблется от нуля до 12%, а с ноября по февраль – от 4% до 28%. За весь год

⁹ J.S. Bojanowski, A. Vrieling, A.K. Skidmore, “A comparison of data sources for creating a long-term time series of daily gridded solar radiation for Europe”, Solar Energy, no. 99, pp. 152–171, 2014.

¹⁰ R. Urraca, E. Martinez-de Pison, A. Sanz-Garcia, et al., “Estimation methods for global solar radiation: Case study evaluation of different approaches in central Spain”, Renewable & Sustainable Energy Reviews, no. 77, pp. 1098–1113, 2017.

самую большую по значению средней относительной погрешности показывает база данных ERA5.

Исходя из изменения средней относительной погрешности по трем базам данных, можно сделать такой вывод, что с марта по сентябрь можно использовать все три базы данных (по всем базам аналогичная погрешность наблюдается летом – до 4%). Однако данные NASA POWER из-за меньших значений средней относительной погрешности для использования подходят лучше, чем данные остальных баз.

На рис. 4 показаны диаграммы рассеяния данных NASA POWER относительно результатов наземных наблюдений за среднемесячным суточным суммарным GHI (суммарное СИ, падающее на горизонтальную поверхность) и DNI (прямая СИ) в качестве одного из результатов проверки.

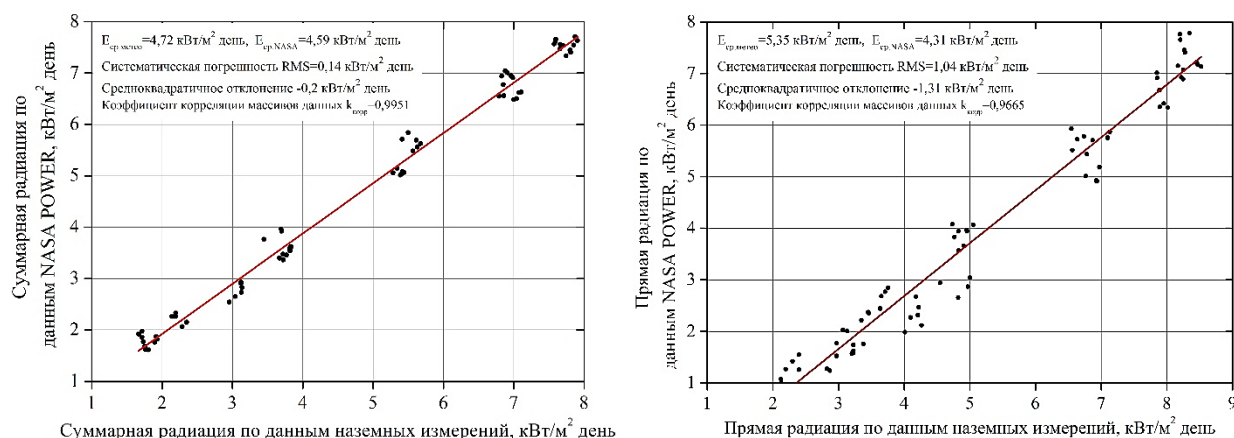


Рис. 4. Диаграммы рассеяния падающего солнечного излучения по данным NASA POWER по отношению к данным наземных актинометрических наблюдений (среднемесячные суточные суммы GHI – а; среднемесячные суточные суммы DNI - б), кВт/м² месяц.

Таблица 2.

Результаты сравнения данных среднемесячных значений среднедневной GHI NASA POWER, ERA5, SARAHE относительно к наземным измерениям.

Название международных баз данных	Систематическая погрешность RMS (кВт·час/м ²)	Среднеквадратическое отклонение (RMSD) (кВт·час/м ²)	Pearson's r (коэффициент корреляции Пирсона)
NASA POWER	0,14	0,25	0,9902
ERA5	0,2	0,26	0,9862
SARAHE	0,13	0,27	0,9901

Результаты проверки с данными трех баз данных показывают, что при анализе данных среднемесячного общего суточного количества GHI, база данных NASA POWER показала наилучшие результаты, которые были наиболее близки к наземным данным (табл. 2).

Для дальнейшего повышения точности значения суточной суммы GHI в любой точке на территории республики, а также внесения корректировок в базу данных NASA POWER (суточный общий GHI (Вт·ч/м²·день)) для создания первой актинометрической базы данных для Узбекистана предложено следующее корреляционное выражение:

$$E_{Назем} = 1,022 \cdot (E_{NASAPOWER} + 35,525). \quad (3)$$

Знания динамики изменения СИ, падающего на поверхность ПГЭУ, недостаточно, чтобы полностью оценить производительность этого типа СЭС. Учет изменчивости важных климатических условий, таких как температура окружающей среды (ТОС), в определенной степени повышает точность и надежность оценки при широкомасштабном внедрении энергетических систем на основе СИ. С этой целью, на рис. 5 показана диаграмма рассеяния данных NASA POWER со среднемесячными максимальными и минимальными значениями ТОС, измеренными за 30 лет (1981-2010 гг.) на основе наблюдений наземных метеорологических станций Узгидромета.

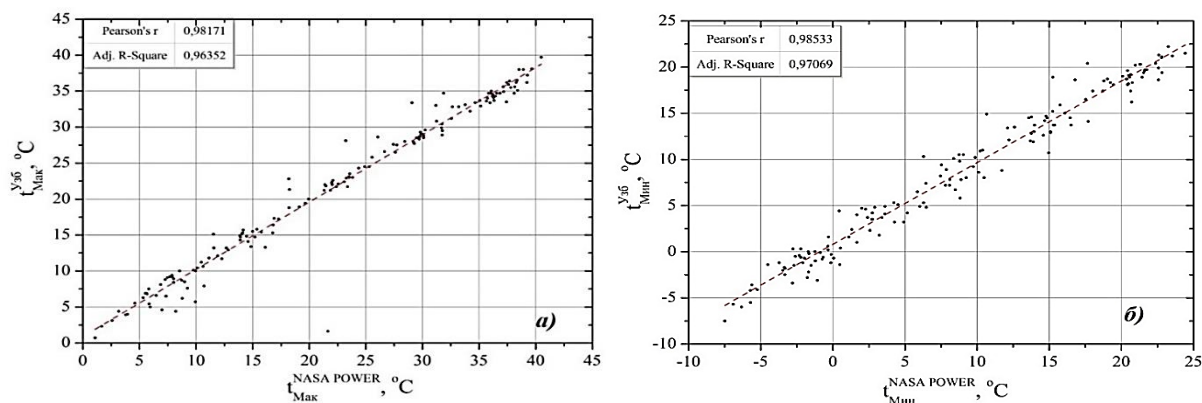


Рис. 5. Диаграмма рассеяния среднемесячных максимальных и минимальных значений ТОС от наземных метеостанций, расположенных на территории Узбекистана, по данным NASA POWER.

Ниже приводится выражение взаимосвязи между значениями NASA POWER и наземных метеорологических станций для определения среднемесячных максимальных и минимальных значений ТОС:

$$t_{\text{макс_назем}} = 0.873 + 0.935 \cdot t_{\text{макс_NASAPOWER}} \quad (4)$$

$$t_{\text{мин_назем}} = 0.813 + 0.884 \cdot t_{\text{мин_NASAPOWER}} \quad (5)$$

В третьей главе диссертации «Ресурсные показатели солнечных фотоэлектрических панелей и плоских солнечных водонагревательных коллекторов в республике Узбекистан» представлена методика исследования мощности ПГЭУ с учетом внешних факторов, и на основе этой методологии определены производительность электроэнергии и горячей воды ФЭП и ПСВК, установленных в характерных регионах Узбекистана.

Основными факторами, влияющими на выходные параметры (приводящие к потерям энергии) двух основных типов ПГЭУ (ФЭП и ПСВК), выбранные в данной диссертации, являются: ориентация ($7 \div 30\%$), угол наклона к горизонту ($4 \div 8\%$), потери за счет температуры поверхности и окружающей среды ($5 \div 25\%$), оптические потери ($5 \div 33\%$), потери из-за загрязнения и запыления поверхности устройств ($4 \div 17\%$).

Годовая производительность ФЭП, установленной в Сурхандарьинской области, была рассчитана на основе методики расчета годовой производительности ПГЭУ. На рис.6 показан метод определения годового GTI (сумма суммарный СИ), падающего на фронтальную поверхность ФЭП в разных направлениях и под произвольным углом к горизонту, для

Сурхандарьинской области ($\rho_0 = 0,3$) (рис. 6а) и Ташкентского региона (рис. 6б).

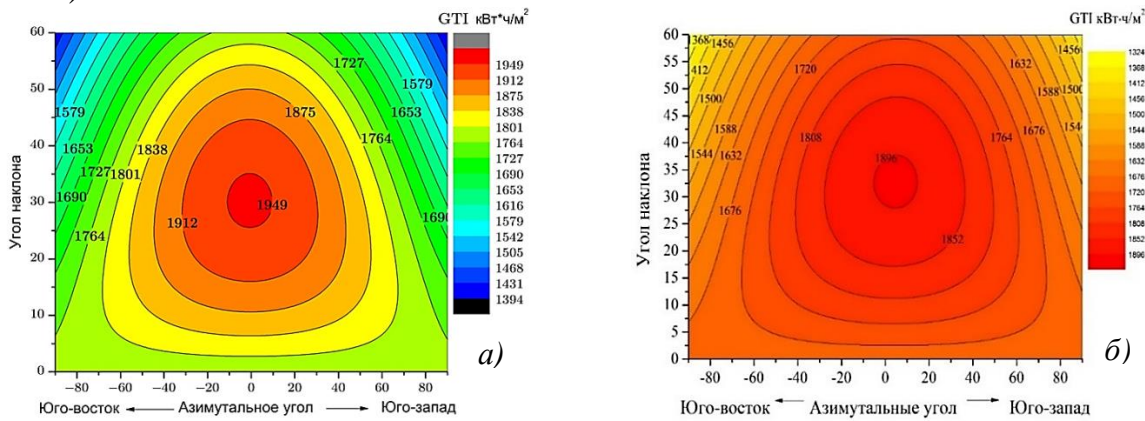


Рис.6. Зависимость поступления годового GTI на фронтальную поверхность от направления и угла наклона к горизонту для (а) Сурхандарьинской области и (б) Ташкентского региона.

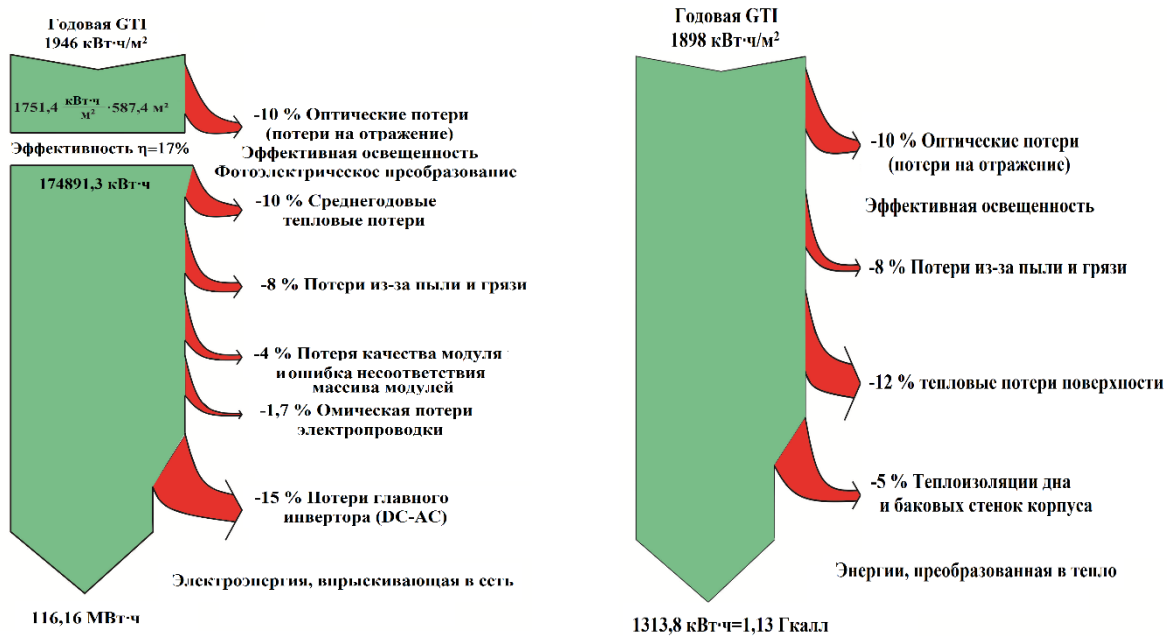


Рис 7. Диаграмма Санкея: определение среднегодовой производительности 100 кВт СФЭС, учитывающие различных видов потери энергии (а); определение годовой производительности поверхности 1 м² ПСВК, с учетом различных типов энергопотерь.

На рис.7 приведена диаграмма Санкея, для определения среднегодовой производительности ФЭС мощностью 100 кВт (ФЭП (КК280Р-3СD3СG) с КПД 17% - мультикристаллическая панель с площадью поверхности 1662x990 мм² и максимальной мощностью $P_{\max}=280$ Вт), установленной по южной ориентации под углом $\alpha = 37^\circ$ к горизонту (рис.7а) и для определения годовой производительности ПСВК с площадью поверхности 1 м², установленного при южной ориентации и под углом $\alpha=30^\circ$ к горизонту, с учетом факторов, влияющих на их производительность, указанных выше.

По результатам расчета на основе диаграммы Санкея, представленной на рис.7б, для Ташкентского региона с поверхности 1 м² ПСВК (КПД=0,63;

площадь абсорбера 1,59 м²) можно получить в среднем 18768 м³ в год горячую воду с температурой 60°C.

Четвертая глава диссертации «Визуализация данных гелиоэнергетического ресурса Республики Узбекистан с целью практического использования» посвящена созданию актинометрической базы данных для территории Узбекистана на основе данных, измеренных с коротким временным шагом и верифицированных на основе наземных и спутниковых наблюдений, разработке программного продукта для управления созданной базой данных, а также программного обеспечения для прогнозирования производственной мощности ПГЭУ с помощью созданной базы данных. А также были разработаны оцифрованные карты для оценки гелиоэнергетических ресурсов территории Узбекистана.

Создана база актинометрических и климатических данных для территории Узбекистана на основе многолетних наземных и спутниковых наблюдений и реанализа, также верифицированных с данными международной базы данных NASA POWER (Получено авторское свидетельство АИС РУз № BGU 00374, 11.04.2019.).

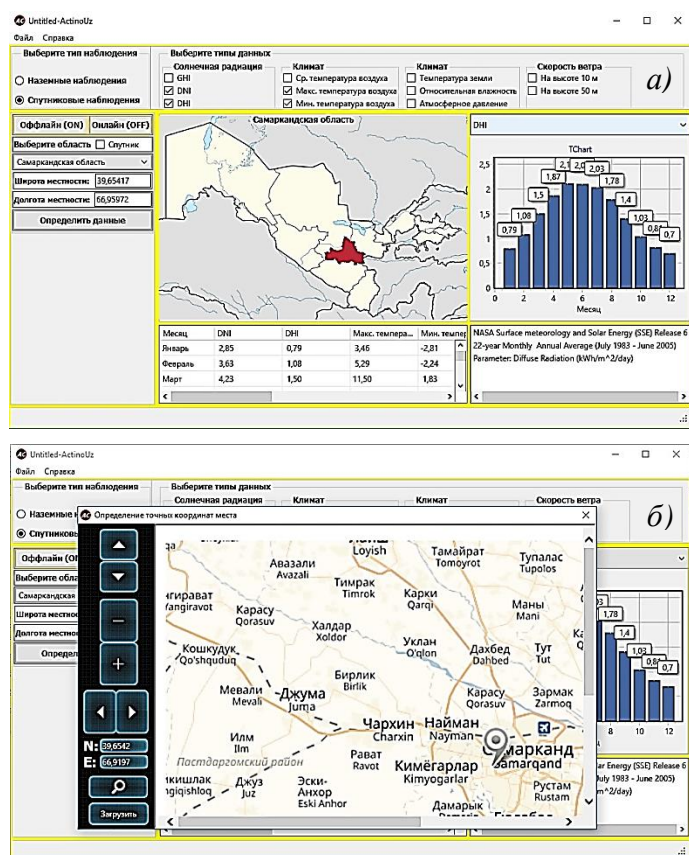


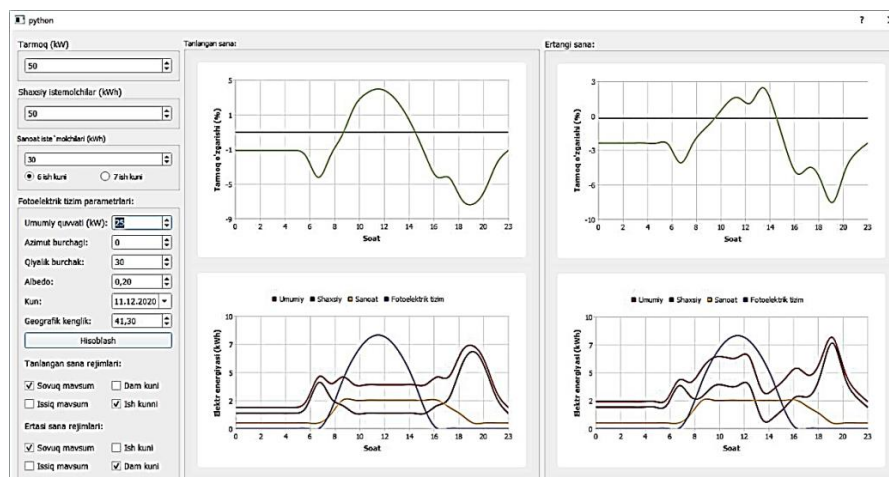
Рис.8. Фрагменты из процессов определения: группы актинометрических параметров (а) и точных координат исследуемой локальной точки (б).

В связи с трудностями в процессе анализа, обработки и интерпретации, полученных данных разработанной базы, разработана программа для определения актинометрических данных на основе многолетних наблюдений спутниковых и наземных измерений для регионов Республики Узбекистан. На рис. 8, представлены фрагменты из процессов определения: ряд актинометрических показателей, на основе собранных данных (рис. 8а), и точных координат исследуемой локальной точки (рис. 8б), определенных

с помощью программы. Представленная программа позволяет выявить относительно перспективные регионы страны в области преобразования солнечной энергии в электрическую и тепловую энергию.

Также в рамках исследований была разработана программа прогнозирования производственных мощностей ФЭС с учетом суточного и сезонного режимов потребления частного и промышленного секторов. На рис. 9 приведен фрагмент из процесса определения количества ЭЭ, произведенного СФЭС на определенный рабочий день и на следующий день.

Рис 9. Фрагмент из процесса определения количества ЭЭ, произведенного СФЭС на определенный рабочий день и на следующий день с помощью программы прогнозирования.



На основе обработанных, скорректированных актинометрических данных, измеренных с коротким временным шагом и верифицированных с данными NASA POWER впервые разработан Атлас, оценивающий потенциал СЭ Республики. Разработанный Атлас включает в себя серии цифровых карт природного, валового и технического потенциалов СЭ для территории Узбекистан.

В качестве примера, на рис. 10 представлена карта природного потенциала СЭ Узбекистана для определения среднегодовых и среднесуточных величин суммарного СИ, падающего на горизонтальную поверхность.

На рис. 11 показано количество относительных дней (по отношению к 300 солнечным дням), когда можно получить температуру воды, равной 37°C, 45°C или 55°C, в баке с объемом 200л ПСВК с КПД 63%, площадь фронтальной лучепринимающей поверхности которого равна 1.59 м², установленном на территории Узбекистана, в южном направлении и под углом 30° к горизонту.

Полученные результаты по разработке цифровых карт гелиоэнергетических ресурсов и формированию актинометрических баз данных являются основой для долгосрочного и краткосрочного научного прогнозирования выработки производительных мощностей ПГЭУ в Республике Узбекистан.

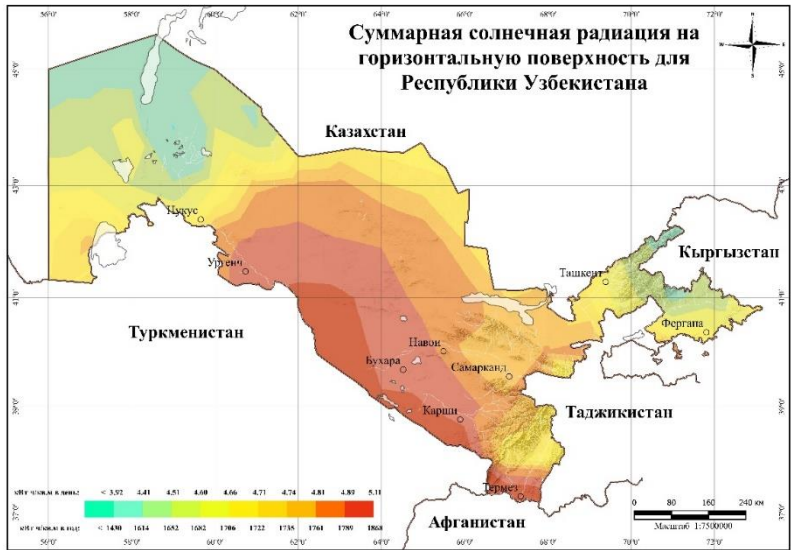


Рис.10. Одна из карт серии природного потенциала солнечной энергии для определения средневенной и среднегодовой GHI для Республики Узбекистан.

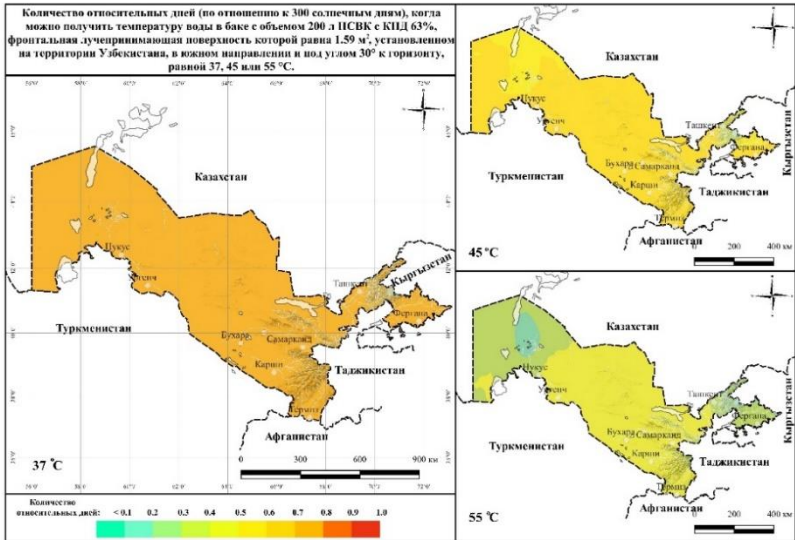


Рис.11. Количество относительных дней (по отношению к 300 солнечным дням), когда можно получить температуру воды, равной 37°C, 45°C или 55°C, в баке с объемом 200л ПСВК с КПД 63%, площадь фронтальной лучепринимающей поверхности которого равна 1.59 м², установленном на территории Узбекистана, в южном направлении и под углом 30° к горизонту.

Заключение

На основе результатов исследований по решению поставленных в диссертации задач, можно сделать следующее заключение:

1. Выполнен анализ технического потенциала солнечной энергии территории Узбекистана на основе спутниковых и наземных наблюдений, дающие возможность их проведения с коротким временным шагом для оценки возможности широкомасштабного использования солнечных энергетических установок в отраслях экономики;

2. Выполнена верификация баз данных спутниковых наблюдений и реанализа NASA POWER, ERA5 и SARAH-E путем сопоставления их данных с данными 6 автоматических наземных метеостанций на территории Узбекистана. В результате было выявлено, что при определении эффективности работы солнечных гелиоэнергетических установок в периоде с апреля по сентябрь данные NASA POWER могут быть использованы с относительными отклонениями до 8% и данные ERA5 и SARAH1E до 8-12% соответственно.

3. Предложена принципиальная схема определения годовых поступлений суммарного солнечного излучения на поверхность произвольно ориентированных плоских гелиоэнергетических установок. В результате было выявлено, что суммарное солнечное излучение, падающее на поверхность, которая установлена под углом, равным географической широте местности, превышает на 8-13% по сравнению с горизонтальной поверхностью.

4. На основе многолетних спутниковых (NASA POWER, ERA5 и SARAH-E) и наземных наблюдений для республики и реанализа, создана база среднечасовых, среднесуточных актинометрических и климатических данных для планирования и проектирования крупных фотоэлектрических станций, а также прогнозирования их производственных мощностей.

5. Разработаны цифровые карты природного, валового и технического потенциалов солнечного излучения для территории Узбекистана, для получения ускоренной и достоверной информации по производственным мощностям плоских гелиоэнергетических установок.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/27.02.2020.T.106.02 ON AWARD OF
THE SCIENTIFIC DEGREES AT POLYTECHNIC INSTITUTE**

**PHYSICAL-TECHNICAL INSTITUTE
INTERNATIONAL SOLAR ENERGY INSTITUT**

RAKHIMOV ERGASHALI YULDASHEVICH

**FORMATION AND VERIFICATION OF A DATABASE FOR
ASSESSING SOLAR ENERGY RESOURCES IN UZBEKISTAN**

05.05.06 - Power plants on the basis of renewable energy

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

FERGHANA –2021

Theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No. B2020.4.PhD/T924.

Dissertation has been prepared at the Physical-technical institute and International solar energy institute.

Abstract of the dissertation is posted in three (Uzbek, Russian, English (resume)) languages on the website (www.ferpi.uz) and on Information and Educational portal "ZiyoNet" (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor: **Avezova Nilufar Rabbanakulovna**
doctor of technical Sciences

Official opponents: **Urishev Boborakhim**
doctor of technical Sciences, docent

Paizullakhanov Mukhammade-Sultankhan
Saidvalikhanovich
doctor of technical Sciences

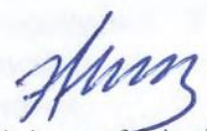
Lead organization: **Tashkent State Technical University**
named after Islam Karimov


Dissertation defense will take place "10" July 2021 at 10⁰⁰ at the meeting of the Scientific Council PhD.03 / 27.02.2020.FM.106.01 at the Fergana Polytechnic Institute (Address: 150107, Fergana, Fergana str., 86. Phone: (+99873) 241-12-06, fax (+99873) 241-12-06, e-mail: ilmiy-kengash@ferpi.uz, small meeting room).

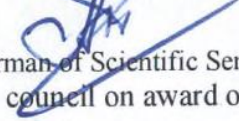
The thesis can be found in the library (CIR) of the Institute. (registered under No. 2-A) Address: 150107, Ferghana, st. Ferghana, 86. Tel: (+99873) 241-12-06.

Abstract of the dissertation sent out on "25" 06 2021.
(Registry record No. 1 on "24" 06 2021)




S.F. Ergashev
Chairman of Scientific Council on award of
Scientific degrees, DSc, docent


M.O. Uzbekov
Scientific secretary of scientific council
on award of doctor philosophy, PhD


E.S. Abbasov
Chairman of Scientific Seminar under scientific
council on award of scientific degrees,
DSc, docent

INTRODUCTION (Abstract of PhD dissertation)

The aim of the research is to collect, process and verify long-term actinometrical data based on short-term satellite and ground-based observations for resource indicators assessment and scientific forecasting of flat-plate solar power installations and their visualization.

The tasks of the research:

collection and analysis of actinometrical data obtained from 6 weather stations created with the support of the ADB for 2013-2017, which have the ability to conduct observations with a short time step;

collection, analysis and verification of the actinometrical database for the territory of Uzbekistan for the last 12 years, obtained from international databases and models based on satellite observations;

development of a mathematical model and a program for obtaining average hourly, average daily actinometrical and climatic data with a short time step for assessing the resource indicators of flat solar power plants (photovoltaic panels and flat solar water heating collectors) in certain regions of Uzbekistan;

development of digital maps of the natural, gross and technical potential of solar irradiation.

The object of the research is the resource indicators of flat-plate solar power installations (photovoltaic panels and flat-plate solar water-heating collectors) in the characteristic regions of Uzbekistan.

The scientific novelty of the research consists of following:

for the first time, a method for estimating the resource indicators of flat solar power plants (photovoltaic panels and flat solar water heating collectors) with a short time step and with high accuracy for the territory of Uzbekistan is proposed;

for the first time, the actinometrical data of the NASA POWER database for the territory of Uzbekistan were verified with ground-based observations and it was proved that the relative error between them is 3-8%.

for the first time, expression correlation of the indicators of the values of the ground-based measurements of daily sums of global solar irradiation on a horizontal surface, and the maximum and minimum temperature of the environment, obtained by ground-based measurements from the NASA database values POWER are proposed;

for the first time determined, that the relative error between the multi-satellite data (NASA POWER, ERA5 and SARAHE) and ground-based observations at hourly average, daily average solar radiation and climatic parameters of the regions of the Republic is 10%;

a mathematical model is proposed to determine the forecast resource indicators of flat power plants for the territory of Uzbekistan, taking into account verified actinometrical and climatic data, and digital maps of solar energy resources of the republic are developed on its basis.

The practical results of the research are as follows:

an actinometrical and climatic database has been created on the basis of long-term satellite and ground observations and reanalysis for the regions of the Republic of Uzbekistan;

a software has been developed to determine actinometrical data, based on long-term observations from satellite and ground measurements for the regions of the Republic of Uzbekistan;

a software has been developed to predict the production capacity of photovoltaic power plants based on daily and seasonal consumption patterns in the private and industrial sectors.

Scientific and practical significance of research results.

The scientific significance of the results is reflected for the first time, the verification of the base of initial actinometric data with a short time step was performed for use in planning, designing and forecasting power systems based on solar energy.

The practical significance of the results is a digital map of solar power resources of the Republic of Uzbekistan has been developed and, on this basis, the resource indicators of flat-plate solar power installations (photovoltaic panels and flat-plate solar water-heating collectors) in characteristic regions of Uzbekistan have been estimated.

Approbation of research results. The results of this research were discussed at 8 international and 6 national scientific and practical conferences.

Publication of research results. A total of 26 publications were published on the topic of the dissertation, including 6 scientific articles in foreign journals reviewed in the Scopus database, 2 in Republican publications recommended by the Higher attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan, and 3 author's certificates for the software product were obtained.

The structure and volume of the thesis. The content of the dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, list of publications, a list of references and applications. The volume of the dissertation is 116 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I-бўлим (I -часть, I part)

1. Avezova N.R., Frid S.E., Lisitskaya N.V., Rahimov E.Yu. Resource Indicators of Solar Photovoltaic Plants in the Republic of Uzbekistan. Part 2. Verifying Satellite Actinometric and Reanalysis Data for Conditions in Uzbekistan// Applied Solar Energy.-USA. 2019. Vol. 55, № 5, pp. 347–354 (05.00.00; №4).

2. Rahimov E.Yu., Frid S.E., Boliev B.B. Actinometric Data for Flat Receivers Solar Energy Units Performance Estimation// Applied Solar Energy.-USA, 2019. Volume 55, Issue 1, pp. 78–82. (05.00.00; №4).

3. Avezova N.R, Rahimov E.Yu., Izzatillaev J.O. Resource Indicators Used for Solar Photovoltaic Plants in Uzbekistan Part 1//Applied Solar Energy. –USA. 2018, Vol. 54, №4, pp. 273–278. (05.00.00; №4).

4. Avezov R.R., Avezova N.R., Vokhidov A.U., Rakhimov E.Yu., and Usmonov N.O. Influence of Meteorological Factors on the Thermal Loss Coefficient of Light-Absorbing Heat Exchange Panels of Flat-Plate Solar Water Heater Collectors through Transparent Coatings of Their Casings// Applied Solar Energy, 2018, Vol. 54, No. 6, pp. 406–412. (05.00.00; №4).

5. Avezova N.R., Rahimov E.Yu. Orientation of Heated Premise in the Design of Insolation Passive Heating Systems//Applied Solar Energy.-USA, 2017, Vol. 53, №4, pp. 338–343. (05.00.00; №4).

6. Rahimov E.Yu., Sadullaeva Sh.E., Kolomiets Yu.G., Tashmatov Kh.K., Usmonov N.O. Analysis of the Solar Energy Potential of the Republic of Uzbekistan// Applied Solar Energy.-USA, 2017. Vol. 53, №4, pp. 344–346. (05.00.00; №4).

7. Rahimov E.Yu. Сонли тажрибалар асосида инсоляцион пассив иситиш тизими ёрдамида иситилаётган бино нур ютиш қобилиятини аниқлаш// Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. Ташкент, ТГТУ, 2017. №3-4, 208-212 бет. (05.00.00; №21).

8. Аvezов Р.Р., Мирзабаев А.М., Рахимов Э.Ю. Расчет температуры внутренней поверхности стенки теплоотводящего канала лучепоглощающих теплообменных панелей плоских солнечных водонагревательных коллекторов// Гелиотехника. 2017. №2, -с. 19-24. (05.00.00; №4).

II бўлим бўлим (II часть, II part)

9. Рахимов Э.Ю., Дехконова М.Х., Шерматова М.Б. Оценка потенциала солнечной энергии кашкадарьинской области// “Қайта тикланадиган энергия манбалари: илмий тадқиқотлар, инновацион технологиялар ва ишланмалар”, Республика илмий-амалий анжумани материаллари тўплами, 16-17 октябрь 2020 йил, Қарши, 60-53 бетлар.

10. Рахимов Э.Ю. Разработка атласа для оценки потенциала солнечной энергии территории Узбекистан// Труды международной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», 22-23 сентябрь 2020 г., Ташкент, - с. 177-181.

11. Рахимов Э.Ю. Определение температуры окружающей среды на основе данных NASA POWER для территории Узбекистана// Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы”, Сборник материалов международной онлайн конференции, Ташкент, 28 май, 2020 г. –с 222-230.

12. Рахимов Э.Ю. Оценка потенциала солнечной энергии ферганской долины (на примере Наманганской области)// Муқобил энергия манбаларидан фойдаланишнинг жорий ҳолати ва истиқболлари” мавзусида Республика миқёсида илмий-амалий конференция материаллари тўплами, 22-23 апрел, Наманган, 2020 й. – с. 186-188.

13. Авезова Н.Р., Рахимов Э.Ю. По пути модернизации сектора теплоснабжения республики Узбекистан с внедрением солнечных технологий// International Conference “SOLAR ENERGY: PRIORITY RESEARCH AND DEVELOPMENT TRENDS”, Tashkent, Uzbekistan, 24-25 December 2019. pp-70.

14. Рахимов Э.Ю., Вохидов А.У., Хаитмухамедов А.Э. Модернизация сектора теплоснабжения Республики Узбекистан с внедрением солнечных технологий// «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» Сборник статей международной научно-практической конференции, Севастополь, 23 – 26 сентября 2019 г. – с. 1352-1356.

15. Фрид С.Е., Рахимов Э. Ю., Болиев Б.Б. К вопросу производительности плоских солнечных гелиоустановок// «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» сборник статей международной научно-практической конференции, Севастополь, 23-26 сентября 2019 г. – с. 1693-1697.

16. Авезова Н.Р., Фрид С.Е., Лисицкая Н.В., Рахимов Э.Ю. Верификации спутниковые актинометрических база данных NASA POWER с наземным измерением метеостанции республике Узбекистан// Республиканская научно-техническая конференция «Физика возобновляемых источников энергии и устойчивой окружающей среды», Карши, 24-25 апрель, 2019 г.-с. 200-205.

17. Рахимов Э.Ю., Болиев Б.Б. Программа для определения актинометрических данных, на основе многолетних наблюдений от спутниковых и наземных измерений для регионов республики// Научно-практическая конференция “Использование возобновляемых источников энергии: новые исследования, технологии и инновационные подходы”, 25-26 сентябрь, Ташкент. 2018 г.-с. 340-342.

18. Р.Р. Авезов, Н.Р. Авезова, А.У. Вохидов, Э.Ю. Рахимов, Н.О. Усмонов. Влияние метеорологических факторов на коэффициент тепловых потерь лучепоглощающих теплообменных панелей плоских солнечных водонагревательных коллекторов через светопрозрачные покрытия их корпусов // Научно-практическая конференция “Использование

возобновляемых источников энергии: новые исследования, технологии и инновационные подходы”, 25-26 сентябрь, Ташкент. 2018 г.-с. 40-43.

19. Э.Ю. Рахимов, А.У. Вохидов, А.Э. Хаитмухамедов, Ж.О. Иззатиллаев, М.А. Куралов. К вопросу модернизации сектора теплоснабжения республики Узбекистан с внедрением солнечных технологий // Научно-практическая конференция “Использование возобновляемых источников энергии: новые исследования, технологии и инновационные подходы”, 25-26 сентябрь, Ташкент.2018 г.-с. 65-69.

20. Nilufar Avezova, Shirin Sadullaeva, Rahimov Ergashali , Nizomjon Usmonov. SOLAR DEVELOPMENT IN UZBEKISTAN. STEP 1: SOLAR DATA COMPILATION // International Engineering, Science and Education Conference, October, 19-21, 2017, Antalya, Turkey, pp. 315-321.

21. Avezova N., Sadullaeva S., Rakhimov E., Usmonov N. Solar development in Uzbekistan. Step 1: Solar data compilation// International Journal of Energy and Smart Grid, 2017, Vol. 2, No 2, pp. 27-33.

22. Рахимов Э.Ю., Саъдуллаева Ш.Э., Шерматова М.Б. Анализ солнечного потенциала Республики Узбекистан// Международная конференция «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» ФТИ НПО «Физика-Солнце» АН РУз, Ташкент, 13-14 июня 2017 г.-с. 73-76.

23. Авезов Р.Р., Авезова Н.Р., Рахимов Э.Ю. Учёт ориентации отапливаемых помещений в расчете инсоляционных пассивных систем отопления// Международная конференция «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» ФТИ НПО «Физика-Солнце» АН РУз, Ташкент, 13-14 июня 2017г.- с. 5-11.

24. ЭҲМ дастури расмий рўйхатдан ўтганлиги тўғрисида гувоҳнома: Гувоҳнома №DGU 08401, 25.06.2020. // Расмий ахборотнома. – 2020. -№ 6. “Хусусий ва саноат тармоқларининг кундалик ҳамда мавсумий истеъмол режимлардан келиб чиқиб фотоэлектрик станция ишлаб чиқариш қувватини башоратлаш дастури” Муаллиф: Рахимов Э.Ю.

25. ЭҲМ дастури расмий рўйхатдан ўтганлиги тўғрисида гувоҳнома: Гувоҳнома РУз № ВГУ 00374, 11.04.2019. // Расмий ахборотнома. –2019. -№ 4. “Ўзбекистон республикаси ҳудудлари учун узок муддатли сунъий йўлдош ва ер усти кузатувлари ҳамда реанализига асосланган актинометрик ва иқлимий маълумотлар базаси” Муаллифлар: Авезова Н.Р., Фрид С.Е., Лисицкая Н.В., Рахимов Э.Ю.

26. ЭҲМ дастури расмий рўйхатдан ўтганлиги тўғрисида гувоҳнома: Гувоҳнома РУз № DGU 05676, 10.09.2018. // Расмий ахборотнома.–2018. -№ 9. “Ўзбекистон Республикаси минтақалари учун сунъий йўлдош ва ер ўлчовларидан олинган узок муддатли кузатишларга асосланган актинометрик маълумотларни аниқлаш дастури” Муаллифлар: Авезова Н.Р., Рахимов Э.Ю.

Автореферат ўзбек, рус ва инглиз (тезис) тилларидаги нусхалари
Фарғона политехника институти массислигидаги «Scientific technical journal»
журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди
(24.12.2020 й.)

Босишга руҳсат этилди: _____ йил.
Бичими 84×60 1/16. «Times New Roman» гарнитураси
рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи: 3. Адади 40. Буюртма № 10.
“Dilogram Biznes” маъсуляти чекланган жамияти.
100011, Тошкент шаҳри, Навоий кўчаси, 30.
Тел: +99894 322 0777