

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАҢЛАР АКАДЕМИЯСИ
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ГУЛИСТОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

КОМИЛОВ МИРЗИЁ МИРКАМОЛОВИЧ

**ЎЗБЕКИСТОН ИҚЛИМ ШАРОИТЛАРИДА ҚУЁШ ПАНЕЛЛАРИНИНГ
ЧИҚИШ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ ВА ДЕГРАДАЦИЯ
ЖАРАЁНЛАРИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**

05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари

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

ТОШКЕНТ – 2024

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

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

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

Комилов Мирзиё Миркамолевич

Ўзбекистон иқлим шароитларида қуёш панелларининг чиқиш
характеристикалари ва деградация жараёнларини тадқиқ қилиш 3

Комилов Мирзиё Миркамолевич

Исследование выходных характеристик и процессов деградации
солнечных панелей в климатических условиях Узбекистана 23

Komilov Mirziyo Mirkamolovich

Study of output characteristics and degradation processes of solar panels in the
climatic conditions of Uzbekistan 43

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 47

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАҢЛАР АКАДЕМИЯСИ
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ГУЛИСТОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

КОМИЛОВ МИРЗИЁ МИРКАМОЛОВИЧ

**ЎЗБЕКИСТОН ИҚЛИМ ШАРОИТЛАРИДА ҚУЁШ ПАНЕЛЛАРИНИНГ
ЧИҚИШ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ ВА ДЕГРАДАЦИЯ
ЖАРАЁНЛАРИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**

05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари

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

Тошкент – 2024

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2023.2.PhD/T2683 – сон билан рўйхатга олинган.

Диссертация Гулистон давлат университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси (www.energetika.uz) ҳамда «ZiyoNet» ахборот-таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Одамов Умарбай Оманович

техника фанлари номзоди, катта илмий ходим

Расмий оппонентлар:

Захидов Ромэн Абдуллаевич

техника фанлари доктори, профессор, академик

Иззатиллаев Жўрабек Олимжонович

техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

Етакчи ташкилот:

Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти

Диссертация ҳимояси Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институти ҳузуридаги DSc.02/30.12.2021.T.143.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2024 йил «__» _____ соат __ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100076, Тошкент шаҳри, Мухтор Ашрафий 1-тор кўчаси, 9-А. Тел.: (99871) 283-23-08; факс: (99871) 283-23-08; e-mail: energetika_in@umail.uz).

Диссертация билан Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (__ - сон билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100076, Тошкент шаҳри, Мухтор Ашрафий 1-тор кўчаси, 9-А.. Тел.: (99871) 283-23-08).

Диссертация автореферати 2024 йил «__» _____ куни тарқатилди.

(2024 йил «__» _____ даги __ рақамли реестр баённомаси).

Х.М. Муратов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, техника фанлари доктори, профессор

Ж. Н. Голипов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, техника фанлари бўйича фалсафа доктори PhD, катта илмий ходим

О.Х. Ишназаров

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, техника фанлари доктори, профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш орқали анъанавий ёқилғи-энергия захираларини тежаш, атроф-муҳит мусаффолигини сақлашга катта эътибор берилмоқда. Айниқса, қайта тикланувчи энергия манбалари ичида қуёш фотоэлектрстанцияларидан фойдаланиб, электр энергия ишлаб чиқариш йилдан-йилга ошиб етакчи ўрниларни эгалламоқда. Маълумки, қуёш панелларнинг реал иқлим шароитларида турли иқлим минтақаларида эксплуатация қилинишининг биринчи йилда қуёш панелларнинг чиқиш характеристикаларини ўзгариши ҳамда ташқи ва ички омиллар таъсирида деградация жараёни содир бўлиши, уларнинг ўртача тезлиги йилига 0,2-0,6% ни ташкил қилади¹. Ушбу ҳолатларни яхшилаш мақсадида, фотоэлектрик саноатида иқтисодий тежамкорлик стратегияларидан фойдаланишга, қуёш элементларни сифатини яхшилашга, юпқа қатламли ва чидамли қуёш панелларини ишлаб чиқаришга, қуёш панелларининг чиқиш характеристикаларини яхшилашга ҳамда деградация хавфини камайтириш ва энергия самарадорлигини² оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда кўплаб қуёш фотоэлектрстанцияларини қуриш, улар асосида электр энергияси ишлаб чиқаришни кўпайтириш мақсадида, қуёш панелларининг асосий қисми бўлган чиқиш характеристикаларини яхшилаш, деградация жараёнларини аниқлаш ва олдини олиш ва иш самарадорлигини ошириш бўйича кўплаб илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, қуёш панелларига мавсумий иқлим ўзгаришларининг таъсири, ташқи муҳитнинг юқори температураси, қуёш панелларнинг ишчи юзаларини чанг қоплаши, ҳаво намлиги ва қуёш интенсивлигини мавсумий ортиши ҳисобига қуёш панелларининг чиқиш характеристикаларини ўзгариши ва деградация жараёнларини келиб чиқиши сабабларини аниқлашнинг замонавий усуллари ва уларни тадқиқ қилишда қуёш панелларнинг чиқиш параметрларини моделлаштириш орқали энергия самарадорлигини ошириш бўйича тадқиқотлар устувор вазифалардан ҳисобланмоқда.

Республикамизда қайта тикланувчи энергия манбаларидан кенг фойдаланиш ва уларни самарадорлигини оширишга ёрдам берадиган чора тадбирлар амалга оширилмоқда. 2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида, жумладан, “Иқтисодиётни электр энергия билан узлуксиз таъминлаш ҳамда “Яшил иқтисодиёт” технологияларни барча соҳаларга фаол жорий этиш, иқтисодиётни энергия самарадорлигини 20 фоизга ошириш”³ бўйича вазифалар белгиланган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, хусусан, қайта тикланувчи энергия манбалари асосида янги ишлаб чиқариш қувватларини қуриш ва уларнинг ишлаш самарадорлигини ошириш, жумладан, қуёш фотоэлектрстанцияларни чиқиш характеристикаларини

¹ National Renewable Energy Laboratory (NREL) Publications

² Pincel S., Zenen Y., Frank O., Geipel T., Berghold J. 2009. Mechanical stability of solar cells within solar panels. In: .

³ 2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида, жумладан, “Иқтисодиётни электр энергия билан узлуксиз таъминлаш ҳамда “Яшил иқтисодиёт” технологияларни барча соҳаларга фаол жорий этиш

яхшилаш, деградация жараёнларини олдини олиш ҳамда уларни аниқлаш муҳим вазифалардан ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422-сон “Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида”⁴ ги Қарори, 2020 йил 10 июлдаги ПҚ-4779-сон “Иқтисодиётнинг энергия самарадорлигини ошириш ва мавжуд ресурсларни жалб этиш орқали иқтисодиёт тармоқларининг ёқилғи-энергетика маҳсулотларига қарамлигини камайтиришга доир қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”⁵ ги Қарори, 2022 йил 28-январдаги ПФ-60-сонли “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”⁶ ги Фармони ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъерий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар ривожланишининг: II. “Энергетика, энергия тежамкорлик ва муқобил энергия манбалари» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Қуёш фотоэлектрстанциясининг ишлаш самарадорлигини ошириш ва қуёш панелларнинг чиқиш кўрсаткичларини яхшилаш, уларда кечадиган деградация жараёнларини олдини олишда дунёнинг етакчи омиллари илмий тадқиқот ишларни олиб бормоқда. Жумладан, Дунё олимларидан: J.Wohlgemuth, E.Kaplani, A.Charki, A.Kobi, W.Kwapil, P.Carpena, A.Ndiaye, R.Pacios, Sh.S.Chandel, V.Naumann, Shifeng Deng, Zhen Zhang ва бошқалар, қуёш панеллардаги баъзи қуёш элементларида эксплуатация жараёнида юзага келадиган деградацияни ўрганишган⁷. Ҳамда Россия Федерациясининг Миллий илмий-тадқиқот институти олими Д.А.Зезин томонидан юққа қатламлик қуёш элементларидаги деградация жараёнлари ўрганган⁸.

Шунингдек, қуёш панелларнинг ишлаш самарадорлигини ошириш ва қуёш фотоэлектрстанциялардан олинган электр энергияни электр тармоғига интеграция қилиш каби илмий муаммоларни ҳал қилишда Ўзбекистонлик олимлари: Р.А.Захидов, Р.А.Мўминов, М.С.Саидов, М.Н.Турсунов,

⁴ 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422-сон “Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида” ги

⁵ 2020 йил 10 июлдаги ПҚ-4779-сон “Иқтисодиётнинг энергия самарадорлигини ошириш ва мавжуд ресурсларни жалб этиш орқали иқтисодиёт тармоқларининг ёқилғи-энергетика маҳсулотларига қарамлигини камайтиришга доир қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида” ги

⁶ 2022 йил 28- январдаги ПФ-60-сонли “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида” ги

⁷ Shifeng Deng, Zhen Zhang, Chenhui Ju, Jingbing Dong, Zhengyue Xia, Xinchun Yan, Tao Xu, Guoqiang Xing. Research on hot spot risk for high-efficiency solar module. Scientific Conference, 17-20 April 2017, Shanghai, China

⁸ Зезин Д.А. Деградационные процессы в тонкоплёночных солнечных элементах. Дисс. канд.техн.наук. -Москва. 2014. -109 с.

Х.М.Муратов, Ғ.Н.Узақов, А.М.Мирзабаев, О.Ҳақимов, И. А.Юлдашов, Н.А.Матчанов, У.А.Таджиев, А.Кутлимратов, У.О.Одамов, А.И. Анарбаев ва бошқалар самарали илмий ишларни олиб боришмоқда.

Олиб борилган илмий тадқиқотларга қарамай, қуёш фотоэлектр-станциясининг ишлаб чиқариш коэффициентлари, деградация жараёнлари, минтақавий иқлим шароитларида қуёш фотоэлектрстанциясининг ишлаб чиқариш самарадорлигига таъсир қилувчи ташқи ва ички омиллар таъсирида қуёш панелларининг чиқиш характеристикалари ва деградация даражалари тўлиқ ўрганилмаган.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.

Диссертация иши Гулистон давлат университети илмий-тадқиқот ишлари режалари бўйича: ERASMUS+574055-EPP “Қайта тикланувчи энергия манбалари ва барқарор атроф-муҳит соҳасида магистрлик дастурини ривожлантириш”, RENES (2016-2019) лойиҳаси доирасида олиб борилган.

Тадқиқотнинг мақсади: Ўзбекистон иқлим шароитида қуёш фото-электрстанцияларини эксплуатация қилиш даврида қуёш панелларининг чиқиш характеристикаларини ўзгаришини, ташқи ва ички омиллар таъсирида содир бўладиган деградация жараёнларини тадқиқ қилишдан иборат. (Фарғона водийси иқлими мисолида)

Тадқиқотнинг вазифалари:

қуёш фотоэлектрстанцияларидан фойдаланишнинг ҳозирги ҳолати, истиқболлари ва муаммоларини таҳлил қилиш;

Ўзбекистон иқлим шароитларида қуёш фотоэлектрстанцияларининг кунлик, ойлик, йиллик электр энергияси ишлаб чиқариш режимларини таҳлил қилиш;

реал иқлим шароитларда қуёш панелларнинг чиқиш кўрсаткичлари, вольт-ампер ва вольт-қувват характеристикалари, фойдали иш коэффициенти-ларининг мавсумий ўзгариш қонуниятларини инобатга олган ҳолда самарали ишлаш вақтларини аниқлаш;

қуёш фотоэлектрстанцияларининг ишлаб чиқариш самарадорлигига таъсир қилувчи ташқи омиллар: ташқи муҳит температураси, шамол тезлиги, атмосфера босими ва намлигининг таъсирини кореляцион ва регрессион таҳлил усуллари ёрдамида уларни таъсирини аниқловчи математик методлар ишлаб чиқиш;

қуёш фотоэлектрстанциясида ўрнатилган “HANHWA”, “JSPV”, “S_ENERGY” ва “TOPSUN” компаниялари қуёш панелларини визуал кузатиш, тепловизор, термopара ва энергетик ускуналар ёрдамида қизиш жойларини аниқлаш, вольт- ампер ва вольт - қувват характеристикаларини ўлчаш ва ишлаб чиқариш коэффициенти асосида деградация жараёни кечиш тезлигини аниқлаш;

Matlab/Simulink дастурида моделлаштириш асосида қуёш панелларнинг чиқиш кўрсаткичлари ва уларда кечадиган деградация жараёнларини аниқлаш усуллари такомиллаштириш.

Тадқиқотнинг объекти. Наманган вилоятининг Поп туманида тажриба-синов тарзида қурилган қуввати 130 кВт бўлган Наманган-Поп ҚФЭС ва унда ўрнатилган: “HANWHA”, “JSPV”, “S_ENERGY” ва “TOPSUN” компаниялари қуёш панеллари.

Тадқиқотнинг предмети. Қуёш панелларнинг чиқиш параметрлари, вольт-ампер, вольт-куват характеристикалари, фойдали иш коэффициентлари ва уларнинг мавсумий ўзгариш қонуниятлари, ҳамда қуёш панелларида содир бўладиган деградация жараёнларини ўрганиш усулларини ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида таҳлилий ва экспериментал усуллар, корреляцион ва регрессион таҳлил, математик статистика, ҳамда математик моделлаштириш ва кўп факторли регрессион таҳлил қўлланилди.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагидан иборат:

қуёш фотоэлектрстанцияларида ишлаб чиқарилган электр энергия қувватларининг ўзгариш қонуниятларини ҳисобга олган ҳолда, тармоққа узатиладиган қувватларни бошқариш режимларини оптималлаштириш алгоритми ишлаб чиқилган;

қуёш фотоэлектрстанцияларининг чиқиш параметрларига таъсир қилувчи иқлим кўрсаткичларини эътиборга олиб, энергетик самарадорликни аниқловчи математик модели ишлаб чиқилган;

қуёш панелларининг реал иқлим шароитлари ва эксплуатация жараёнида вольт-ампер, вольт-куват характеристикалари ва фойдали иш коэффициентлари ўзгаришини инобатга олган ҳолда, энергетик самарадорлигини баҳолаш усули такомиллаштирилган;

қуёш панелининг чиқиш характеристикалари, деградация жараёнларини кечиши ва ишлаб чиқариш коэффициентларини аниқлаш асосида қуёш фотоэлектрстанцияларини самарали ишлашни баҳолашга имкон берувчи алгоритм яратилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

мавсумий иқлим ўзгаришларини ҳисобга олган ҳолда қуёш фотоэлектрстанцияларининг ишлаб чиқариш самарадорлиги ва уларни бошқариш режимлари оптималлаштирилган;

ташқи ва ички омиллар таъсирини ҳисобига олган ҳолда қуёш фотоэлектрстанциясини ишлаш самарадорлигини ўзгариши қонуниятларини корреляцион ва регрессион усуллари асосида ҳисоблаш тенгламалари яратилган;

қуёш фотоэлектрстанцияларнинг ишлаб чиқариш коэффициентларини ва чиқиш параметрлари аниқлаш алгоритми ишлаб чиқилган;

қуёш панелларида ташқи ва ички омиллар туфайли содир бўладиган деградация жараёнларини кечиш тезлигини аниқлаш усуллари ва уларни олдини олиш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги кенг кўламдаги назарий ва амалий изланишлар олиб бориш билан, замонавий моделлаштириш методларининг қўлланиши, математик ҳисоблашларда олинган натижаларнинг ўзаро мувофиқлиги билан, шунингдек,

ишлаб чиқаришда тадбиқ қилинганлик тўғрисидаги маълумотлар орқали ҳамда олинган ЭХМ учун дастурга гувоҳномалар билан асосланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти-куёш фотоэлектрстанцияларининг эксплуатация жараёнида ишлаб чиқариш самарадорлигини ўзгариш ва уларда кечадиган деградация жараёнларини илмий жиҳатдан асосланиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти - куёш фотоэлектрстанцияларининг ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш, ишлаб чиқарилган электр энергияни тармоққа узатиш режимларини бошқариш имконини бериш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Куёш панелларини чиқиш характеристикалари ва деградация жараёнларини тадқиқ қилиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

мавсумий иқлим ўзгаришларини ҳисобга олган ҳолда куёш фотоэлектрстанцияларининг ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш ва уларни бошқариш режимлари оптималлаштириш бўйича тавсиялар “Наманган-Поп куёш фотоэлектрстанцияси” га жорий этилди (“Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлиги “Худудий электр тармоқлари” Акциядорлик жамиятининг 2023 йил 13 сентябрдаги №01-03-42/948-сонли маълумотномаси). Натижада электр энергия ишлаб чиқариш самарадорлиги йилига 138732,2 кВт соатга ошган.

ташқи ва ички омиллар таъсирини ҳисобига олган ҳолда куёш фотоэлектрстанцияларини чиқиш характеристикаларини яхшилаш ва уларда кечадиган деградация жараёнларини олдини олиш бўйича тавсиялар жорий этилди (Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлиги “Худудий электр тармоқлари” Акциядорлик жамиятининг 2023 йил 13 сентябрдаги №01-03-42/948-сонли маълумотномаси). Натижада кутилаётган йиллик иқтисодий самарадорлик 62 429 400 (олтмиш икки миллион тўрт юз йигирма тўққиз минг тўрт юз) сўмни ташкил этган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 8 та илмий-техник конференцияларда, жумладан 2 та халқаро ва 6 та Республика илмий-амалий анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 22 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертацияларининг асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақола, жумладан, 4 та республика ва 3 та хорижий журналларида чоп этилган. Scopus базасига кирувчи тўпламида 1 та мақола нашр этилган. Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлигидан 2 та ЭХМ дастурига гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 116 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

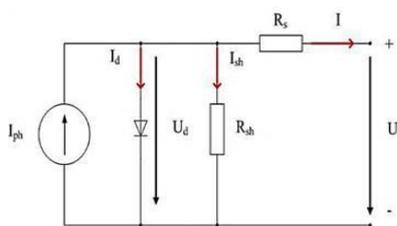
Кириш қисмида диссертация ишининг долзарблиги ва зарурияти асослаб берилган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, тадқиқот объекти ҳамда предметлари тавсифланган, тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён этилган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган ва ишончлилиги асосланган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий этилганлиги, ишнинг апробация натижалари, эълон қилинган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Қуёш энергиясидан фойдаланиш, қуёш фото-электрстанциялари ва панелларининг характеристикалари таҳлили”** деб номланган биринчи бобда қайта тикланувчи энергия манбалари, қуёш энергиясидан фойдаланиш ҳолати ва истиқболлари, қуёш фотоэлектрстанция (ҚФЭС) ларининг турлари ва ишлаш принциплари, қуёш панел (ҚП) нинг тузилиши, қуёш элементи (ҚЭ) нинг ишчи характеристикаларига қаршиликларнинг таъсири, уларнинг чиқиш характеристикалари, ҚП панелларида содир бўладиган деградация жараёнлари ва уларнинг келиб чиқиш сабаблари ўрганилган ва илмий тадқиқотларнинг таҳлили келтирилган. Жаҳонда 2013-2022 йиллар оралиғида қайта тикланувчи энергия манбалари (ҚТЭМ) турлари: қуёш ва шамол энергияси, сувнинг потенциал энергияси ва бошқа турдаги энергия ресурсларидан фойдаланиш бўйича энергия ишлаб чиқаришнинг ўсиш динамикаси келтирилган. Бунда, ҚФЭС лар бўйича ўсиш сурати 2013-2019 ва 2020-2022 йиллар оралиғида 50% га ўсганлиги, келажакда кўплаб ҚФЭС ларни қуришни ва уларнинг асосий қисми бўлган ҚП ларни кўплаб ишлаб чиқаришни, уларнинг ишлаб чиқариш самарадорлиги ва ишлаш ресурсини оширишни ҳамда ҚФЭСларнинг самарали ишлашига салбий таъсир кўрсатувчи ташқи ва ички омиллар таъсирида кечадиган деградация жараёнларини олдини олиш ва уларни камайтириш зарурлиги асослаб берилган.

Диссертациянинг **“Қуёш панелларининг деградация жараёнларини тадқиқ қилиш усуллари ва қурилмалари”** деб номланган иккинчи бобда қуёш панелларининг параметрлари ва чиқиш характеристикалари тадқиқ қилиш усуллари ва қурилмалари имкониятлари, ҚП ва ҚЭ ларини синовдан ўтказиш бўйича Халқаро стандартлар ва уларнинг талаблари, ҚП ларида кечадиган деградация жараёнини аниқлашда қўлланилган усуллар ва қурилмалар, деградация жараёнини экспериментал тадқиқ қилишдан олинган натижаларни таҳлил қилиш бўйича кўрсатмалар келтирилган. Қуёш элементининг эквивалент схемаси 1-расмда келтирилган, бунда қуёш нури таъсирида ҚЭ да ҳосил бўлган фототок I_{ph} занжир бўйлаб ҳаракатланади ва бир қисми I_d диод орқали ва яна бир қисми I_{sh} ва I_{rs} орқали оқади ва у қуйидагича ифодаланади:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (1)$$

бунда



1-расм. Қуёш элементининг эквивалент схемаси

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(U + IR_s)}{nkT} \right] - 1 \right\} - \frac{U + IR_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

бунда, I -ишчи ток, [А]; I_{ph} -фототок, [А]; I_0 -р-п ўтишининг тескари тўйиниш токи, [А]; q -электроннинг заряди ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл); U -ишчи кучланиш, [В]; R_s -кетма-кет қаршилик, [Ом]; n -диоднинг идеаллик омили; k -Больцман доимийси ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Ж/К); T -р-п-ўтишининг температураси, Кельвин; R_{sh} -қаршилик, [Ом].

Қуёш элементининг эквивалент схемаси (2) формуласида 5 та номаълум параметр мавжуд, булар: I_{ph} , I_0 , n , R_s , R_{sh} . Бу номаълум параметрларни қийматларини аниқлаш учун 5 та тенгламани ечиш зарур. Одатда, учта нуқталар $(I_{sc}, 0)$, $(U_{oc}, 0)$ ва (U_m, I_m) ҚП ни ишлаб чиқарувчилар томонидан стандарт шароитларда олинган қийматлари ҚП нинг маълумотлар (шилдьик) жадвалида кўрсатилган бўлади. Эквивалент моделнинг (2)- формуласи, очик занжир учун кучланиш U салт кучланишга U_{oc} тенг бўлади, яъни $I=0$ ва $U=U_{oc}$ ҳолатда қуйидаги кўринишда бўлади.

$$0 = I_{ph} - I_0 \cdot \left\{ \exp \left[\frac{U_{oc}}{nkT} \right] - 1 \right\} - \frac{U_{oc}}{R_{sh}} \quad (3)$$

Қисқа туташув токи I_{sc} ҳолатида (2)- формула қуйидаги кўринишни олади, бунда $I=I_{sc}$, $U=0$.

$$I_{sc} = I_{ph} - I_0 \cdot \left\{ \exp \left[\frac{I_{sc} \cdot R_s}{nkT} \right] - 1 \right\} - \frac{U_{oc}}{R_{sh}} \quad (4)$$

Ўлчашлардаги ток ва кучланишнинг максимал нуқталарида, яъни $I=I_{max}$ ва $U=U_{max}$ (2) - формула қуйидаги кўринишга келади.

$$I_{max} = I_{ph} - I_0 \cdot \left\{ \exp \left[\frac{U_m + I_m \cdot R_s}{nkT} \right] - 1 \right\} - \frac{U_m + I_m \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (5)$$

Юқоридаги учта формулалар (3), (4) ва (5) ни келтириб чиқаришда аниқ ҳолатлардан фойдаланилди. Қолган иккита номаълумни аниқлаш учун (2)- формуладан биринчи ҳолат учун кучланиш U га нисбатан дифференциал оламиз.

$$\frac{dI}{dU} = -I_0 \cdot \left[\frac{1}{kT} \left(1 + \frac{dI}{dU} \cdot R_s \right) \exp \left(\frac{U_m + I_m \cdot R_s}{nkT} \right) - \frac{1}{R_{sh}} \left(1 + \frac{dI}{dU} \cdot R_s \right) \right] \quad (6)$$

Очик занжир учун вольт-ампер характеристикаси (ВАХ) дан, яъни $I=0$ ва $U=U_{oc}$ да $\frac{dI}{dU} = \frac{dI}{dU} \Big|_{I=0}$ эканлигидан фойдаланиб, (6) - формула қуйидаги кўринишни олади:

$$\left. \frac{dI}{dU} \right|_{I=0} = -I_0 \cdot \left[\frac{1}{kT} \left(1 + \left. \frac{dI}{dU} \right|_{I=0} \cdot R_s \right) \exp \left(\frac{U_{oc}}{nkT} \right) - \frac{1}{R_{sh}} \left(1 + \left. \frac{dI}{dU} \right|_{I=0} \cdot R_s \right) \right] \quad (7)$$

Қисқа туташув ҳолати учун вольт-ампер характеристикаси (ВАХ) дан, яъни бунда $I=I_{sc}$, $U=0$ тенг бўлади $\left. \frac{dI}{dU} \right|_{U=0} = \left. \frac{dI}{dU} \right|_{U=0}$ ва (6) формула қуйидаги кўринишни олади:

$$\left. \frac{dI}{dU} \right|_{U=0} = -I_0 \cdot \left[\frac{1}{kT} \left(1 + \left. \frac{dI}{dU} \right|_{U=0} \cdot R_s \right) \exp \left(\frac{U_{oc}}{nkT} \right) - \frac{1}{R_{sh}} \left(1 + \left. \frac{dI}{dU} \right|_{U=0} \cdot R_s \right) \right] \quad (8)$$

Қуёш панелларининг параметрлари ва чиқиш характеристикалари тадқиқ қилиш усулларида юқорида келтирилган (1)- (8) формулалардан фойдаланилди.

Шунингдек, қуёш панелларининг ишчи характеристикалари уларни тайёрланган материалга, тайёрлаш технологиясига ва эксплуатация қилиш жараёнига боғлиқ бўлади.

Қуёш панелларининг чиқиш характеристикаларини тадқиқ қилиш қурилмасининг умумий кўриниши 2-расмда келтирилган. Тадқиқот қурилмаси “EDIBON” компаниясининг “SCADA” тизимида ишловчи ҳамда ҚПларни чиқиш характеристикаларини тадқиқ қиладиган махсус “EESFC” қурилма билан жиҳозланган. Ушбу қурилма компьютерли бошқариш ва ҚП ларининг чиқиш характеристикалари бўйича тадқиқотлар олиб боришга мўлжалланган.

Экспериментал тадқиқот қурилмасида ёруғлик нурини чиқариш учун NH-J117 турдаги галоген лампаларидан 8 та ўрнатилган. Ҳар бир галоген лампаларнинг ёруғлик оқими 9500 lm ва қуввати 500 Wга тенг. Қурилманинг умумий ёруғлик интенсивлик интервали $0 \div 1000 \text{ W/m}^2$ га тенг. Бунда ёруғлик интенсивлиги ўзгартириш ҳисобига ҚПларида ишлаб чиқарилган ток кучи $I(A)$, кучланиш $U(V)$ ва қувват $P(W)$ ўзгаришлари ўлчаш имкониятига эга.



2-расм. Қуёш панелларининг чиқиш характеристикасини тадқиқ қилиш қурилмасининг умумий кўриниши

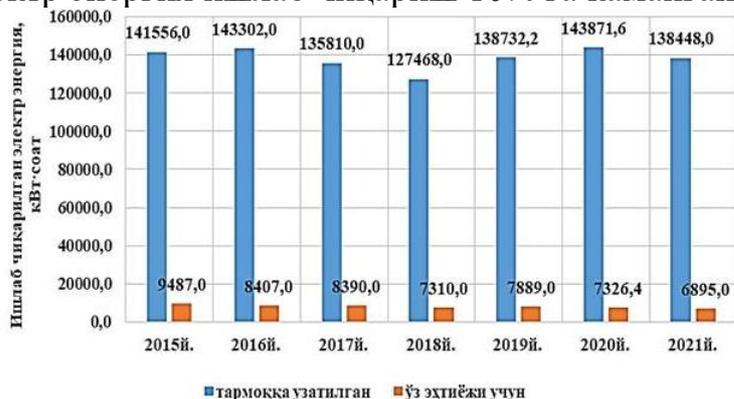
ҚПларни деградация жараёнларини аниқлашда ҳам ушбу қурилмадан ва Халқаро стандарт IEC-61724 талабларидан фойдаланилди.

Диссертациянинг «Наманган-Поп қуёш фотоэлектрстанциясининг энергетик кўрсаткичлари» деб номланган учинчи бобида Ўзбекистоннинг реал иқлим шароитида Наманган-Поп ҚФЭСнинг 7 йил давомидаги ишлаш фаолияти, ундаги ҚПларнинг жойлашиш тартиби, инверторлар ва уларнинг

техник характеристикалари келтирилган. ҚФЭСда ишлаб чиқарилган электр энергиянинг кунлик, ойлик ва йиллик динамикаси таҳлили, ишлаб чиқариш параметрларининг мавсумий ўзгариш қонуниятлари ҳамда экспериментал тадқиқот натижаларининг таҳлили келтирилган.

Наманган-Поп ҚФЭС томонидан 2015-2021 йилларда ишлаб чиқарилган ва тармоққа узатилган ҳамда ўз эҳтиёжлари учун истеъмол қилинган электр энергия динамикаси йиллар кесимида 3-расмда келтирилган.

Таҳлиллар шуни кўрсатдики, 2015 йилдан 2018 йилгача ҚФЭС томонидан электр энергия ишлаб чиқариш 10% га камайган.



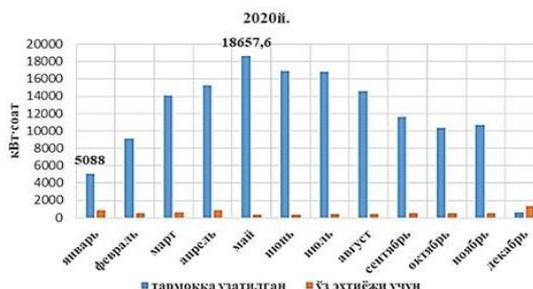
3-расм. 2015-2021 йилларда ишлаб чиқарилган ва ўз эҳтиёжлари учун истеъмол қилинган электр энергия кўрсаткичлари динамикаси

Ушбу самарадорликнинг ўзгаришлари ҚФЭС нинг реал иқлим шароитига мослашуви, йил фасллари-нинг ҳар хил келишига, қуёш панелларининг сиртидаги чанг зарраларига боғлиқдир. 2019 йилдаги самарадорликга таъсир этувчи ҳолатларни бартараф қилингандан кейин, ишлаб чиқариш 2018 йилга нисбатан 12% ошганлигини кўришимиз мумкин

Тадқиқот даврида, яъни 2015-2021 йиллар оралиғидаги максимал ишлаб чиқарилган электр энергия 2020 йилга тўғри келади, бу 143871,6 кВт·соат ни ташкил этади. 2015-2021 йиллар мабойинида ҚФЭС да электр энергия ишлаб чиқаришини ўзгаришларни аниқлаш мақсадида, 2015 йилдан 2021 йилгача бўлган давр учун ойлар кесимида таҳлиллар ўтказилди. 4-а) ва б) расмларда ҚФЭСда 2015 ва 2020 йилларда ишлаб чиқарилган ва ўз эҳтиёжлари учун сарфланган электр энергия ойлар кесимида келтирилган.



а) 2015 йил ойлар кесимида

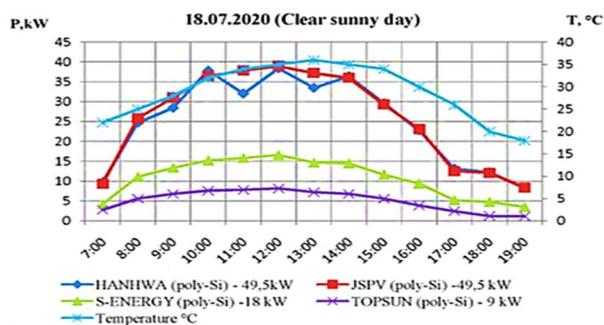


б) 2020 йил ойлар кесимида

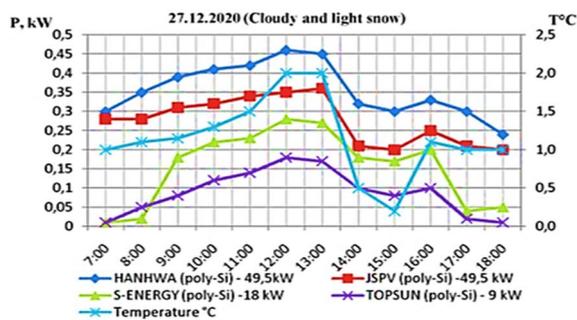
4-а) ва б) расмларда Наманган-Поп ҚФЭС да ишлаб чиқарилган ва ўз эҳтиёжлари учун сарфланган электр энергия қийматлари

ҚФЭСда 5 йил ичида ишлаб чиқарилган электр энергия ўзгаришларидан маълумки, 2015 йилда максимал электр энергия ишлаб чиқариш август ойига тўғри келган бўлса, 2020 йилда бу кўрсаткич май ойига ўзгарган, ҳамда асосий

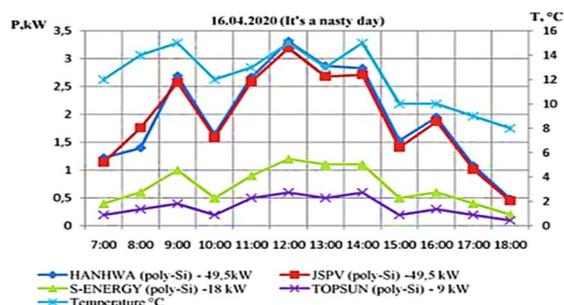
ишлаб чиқариш йилнинг биринчи олти ойлигига тўғри келиши аниқланди. 2015-2021 йиллардаги мавсумий иқлим ўзгаришлари шуни кўрсатдики, йилнинг куз ва қиш мавсумига нисбатан баҳор ва ёз фаслларида ҚФЭСнинг ишлаш самарадорлиги юқори бўлиши аниқланди. Ушбу мавсумий ўзгариш қонуниятлари 7 йиллик тадқиқотларда ўз исботини топди. ҚФЭСда ўрнатилган ҳар бир компания қуёш панеллари учун мавсумий ўзгариш динамикаси 5- а), б), в) ва г) расмларда келтирилган.



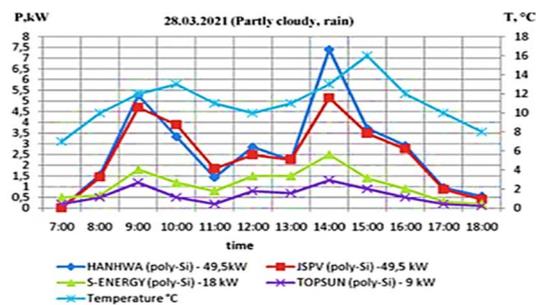
5- а) расм. 2020 йил 18-июнь



5-б) расм. 2020 йил 27 декабрь



5- в) расм. 2020 йил 16-апрель



5- г) расм. 2021 йил 28-март

5-а) расмда 2020 йил 18-июнь ёз ойи ҳаво очиқ бўлиб, куннинг давомийлиги эрталаб соат 7:00 дан кечги 19:00 гача (яъни 12 соат) ва ташқи муҳит температураси $+34-35^{\circ}\text{C}$ бўлган. Ушбу даврда 4 та компания ҚП ларининг ишлаб чиқариш самарадорлиги деярли бир хил бўлган, бироқ HANHWA компаниясининг ҚПларида кунинг 12:00 ва 14:00 соатларида энергия самарадорлиги бироз пасайиши кузатилган.

5-б) расм 2020 йил 27 декабрь қиш фасли, кун булутли ва бироз қорли, ташқи муҳит температураси $+3^{\circ}\text{C}$ бўлган, ҳар бир компания ҚПлари куннинг биринчи яримида яъни 9:00 дан 13:00 гача оралиқда самарали ишлаганлигини кўриш мумкин, бироқ куннинг иккинчи яримида 13:00 дан 15:00 гача оралиқда HANHWA ҚПларининг ишлаш самарадорлиги кескин пасайган.

5-в) расмда 2020-йил 16-апрель баҳор фасли куннинг ҳаво таркиби чанг-тўзонли бўлган шароитда тадқиқот ўтказилди, ҳаво температураси $+14^{\circ}\text{C}$ га тенг, компания ҚПларининг электр энергия ишлаб чиқариш самарадорлиги куннинг биринчи яримида 7:00 дан 14:00 гача вақт оралиғида юқори бўлганлигини кўриш мумкин, куннинг иккинчи яримида 14:00 дан 18:00 гача вақт оралиғида ҳаво температураси $+8^{\circ}\text{C}$ гача тушган, бироқ, шунга мос равишда ҚПларининг ишлаш самарадорлиги ҳам пасайган.

5-э) расмда 2021 йил 28-март баҳор фасли кун қисман булутли ва ёмғирли об-ҳаво шароитида изланишлар олиб борилди, ташқи муҳит температураси кун давомида +8°C ва +16°C оралиғида ўзгариб турган, бунда HANHWA, JSPV, S-ENERGY ва TOPSUN компаниялари ҚПлари қувватларининг кун давомидаги ўзгариши бир хил бўлиб, ташқи муҳит температурасига мутаносиб ўзгарган.

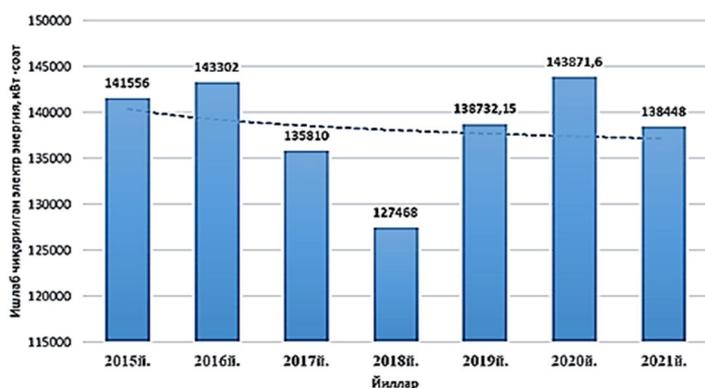
Бироқ, HANHWA ва JSPV компания ҚПларининг қувватлари бир хил бўлишига қарамасдан, ташқи муҳит температурасининг ўзгариш билан HANHWA компанияси ҚПларининг JSPV компанияси ҚПлари характеристикасига нисбатан кескин қиялигини кўришимиз мумкин.

Наманган-Поп ҚФЭСда ўрнатилган барча ҚПларнинг ташқи юзасини кўздан кечирилганда HANHWA (HSL 250) компанияси ҚПларда бир қатор нуқсонлар юзага келганлиги аниқланди (6- расм).



6-расм. HANHWA (HSL250) компаниясининг нуқсонли қуёш панеллари

Бундай нуқсонлар мавсумий иқлим шароитларида реал эксплуатация жараёнида ҚП ларининг температураси $T_{ҚП}$ (°C) меъёрдан ортиб кетиши (айниқса ёз ойларида) сабабли, ҚПларининг баъзи қисмларида ҚЭларнинг юзасига қопланган EVA плёнка қатлами билан ҚЭлари орасида ҳаво пуфакчалари пайдо бўлганлиги аниқланди. Бунинг натижасида ҚЭга тушаётган қуёш нурларининг бир қисми ушбу пуфакчаларда сочилиб кетиши оқибатида қуёш нурлари ҚЭга тўлиқ етиб бормайди. Натижада, ҚП ларининг ишлаш самарадорлиги тушиб кетиши кузатилди.



7-расм. 2015-2021 йиллар оралиғида ишлаб чиқарилган электр энергия диаграммаси ва даражаланган тренд чизиғи

7 йил мабойинида олиб борилган кузатишлар натижасида ҚФЭСнинг ишлаб чиқариш самарадорлиги 2,2% га камайганлиги аниқланди, буни даражаланган тренд чизиғида кўриш мумкин (7-расм). ҚФЭСнинг 7 йил ичидаги ўртача йиллик ишлаб чиқариш қуввати 139026,8 кВт·соатни ташкил этган.

Экспериментал тадқиқот ёруғлик интенсивлиги $200 \div 750 \text{ W/m}^2$ интервалида олиб борилди. ҚПга тушаётган ёруғлик интенсивлигини ошириб бориш ҳисобига, ишлаб чиқарилган ток кучи $I(\text{A})$, кучланиш $U(\text{V})$ ва қувват $P(\text{W})$ ўзгариши ўлчаб борилди.

1-жадвалда янги эксплуатация қилинмаган ҚПга тушаётган нурнинг интенсивлигини $J=750 \text{ W/m}^2$ бўлган ҳолат учун ҚП температурасининг чиқиш параметрларига таъсири бўйича олинган натижалар келтирилган.

1-жадвал

Эксплуатация қилинмаган қуёш панелининг параметрлар кўрсаткичлари

Энергетик параметрлар	Қуёш панелининг температураси °C									
	31	35	39	43	47	51	55	57	59	61
U (V)	32,9	32,2	31,9	31,5	31,1	30,9	30,5	30,3	30,2	30,1
I (A)	6,71	6,84	6,85	6,87	6,88	6,89	6,95	6,98	7,00	7,01
P (W)	220,8	220,3	218,5	216,4	214,0	213,0	212,0	211,5	211,4	211,0

2-жадвалда нуқсонли ҚП температурасининг чиқиш параметрларига таъсири бўйича олинган экспериментал натижалар келтирилган.

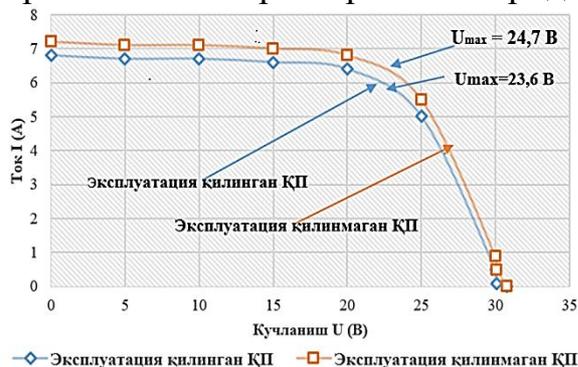
2-жадвал

7 йил эксплуатация қилинган қуёш панелининг параметрлар кўрсаткичлари

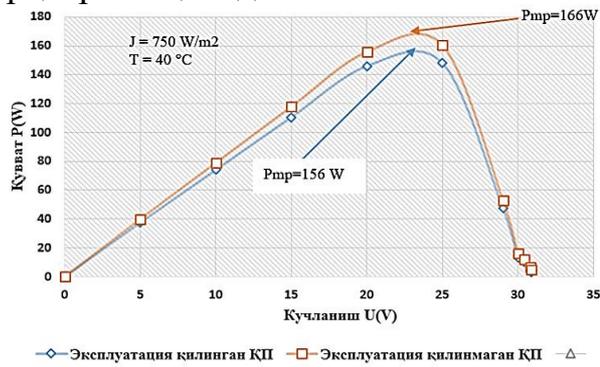
Энергетик параметрлар	Қуёш панелининг температураси °C									
	31	35	39	43	47	51	55	57	59	61
U (V)	30,8	30,7	30,7	30,6	30,5	29,8	29,2	28,8	28,5	28,1
I (A)	6,58	6,58	6,59	6,59	6,61	6,62	6,63	6,64	6,65	6,66
P (W)	202,7	200,6	202,3	201,7	201,6	197,3	193,6	191,2	189,5	187,2

Экспериментал олинган натижалар Microsoft Exel дастурлари асосида таҳлил қилинди. HANHWA (HSL 250) компаниясининг нуқсонли ва янги эксплуатация қилинмаган ҚПларнинг ВАХси, қувват ва кучланишни боғлиқлик графиклари 8-а) ва б) расмларда келтирилган. HANHWA (HSL 250) компаниясининг 7 йил давомида реал иқлим шароитда эксплуатация қилинган нуқсонли ҚП нинг максимал кучланиши $U_{\text{мах(нуқ.ҚП)}}=23,6\text{V}$, янги эксплуатация қилинмаган ҚПнинг максимал кучланиши $U_{\text{мах(янгиҚП)}}=24,7 \text{ V}$ га тенг эканлиги аниқланди. Демак, ишлаб чиқарилган кучланиш $U(\text{V})$ ва ток $I(\text{A})$ маълум бир қийматга, яъни 1,1 га камайган. Қувват ва кучланиш боғлиқлигини аниқлаш учун ҚП ларининг температураси $T=40^{\circ}\text{C}$ бўлганда ўлчаш ишларини олиб борилди. Олинган экспериментал натижалар шуни кўрсатдики, янги эксплуатация қилинмаган ҚП нинг максимал қуввати $P_{\text{мах}}=166 \text{ W}$ ни, нуқсонли, яъни эксплуатация қилинган ҚПнинг максимал қуввати $P_{\text{мах}}=156 \text{ W}$ ни ташкил этди. ҚП га тушаётган нур интенсивлигини 550 W/m^2 , 650 W/m^2 ва 750 W/m^2 ўзгартирган ҳолатда, қисқа туташув токи $I_{\text{sc}}(\text{A})$ ва салт кучланиш $U_{\text{oc}}(\text{V})$ қийматлари ҳамда вольт-ампер характеристикалари олинди. ҚПга тушаётган нурланиш интенсивлиги $J(\text{W/m}^2)$ ошиб бориши ҳисобига, салт кучланиш $U_{\text{oc}}(\text{V})$ сезиларли даражада камайиб, қисқа туташув ток $I_{\text{sc}}(\text{A})$ эса бироз ортиб

бориши аниқланди. Юқоридаги нурланиш интенсивлиги қийматлари учун янги эксплуатация қилинмаган ҚП чиқиш қуввати $P_{янги}(W)$ билан 7 йил давомида эксплуатация қилинган нуқсонли ҚП чиқиш қуввати $P_{нуқ.}(W)$ лари таққосланди, уларнинг ишчи характеристикаларида фарқлар аниқланди.



8-а) расм.ҚП нинг ВАХ си



8-б) расм. Қувватнинг кучланишга боғлиқлиги

Бунинг сабаби, ҚПларининг температураси ортиши T ($^{\circ}C$) билан чиқиш қувватини P (W) камайиши нуқсонли ҚПда кузатилди, бу билан деградация жараённини самарадорликга таъсирини кўриш мумкин.

“Қуёш фотоэлектрстанциясининг ишлаш самарадорлиги ва деградациясини баҳолашнинг математик усуллари ва моделлари” деб номланган тўртинчи бобда ишлаб чиқилган математик усуллар ёрдамида ҚФЭСнинг ишлаш самарадорлигига таъсир қилувчи иқлим кўрсаткичларини 2018, 2019, 2020 ва 2021 йиллар бўйича корреляцион ва регрессион усуллари таҳлили келтирилган. Ҳамда ташқи муҳит температураси $T_{мух}$ ($^{\circ}C$) ортиши ҳисобига ҚФЭСнинг ишлаб чиқариш коэффиценти (PR) ни аниқловчи математик алгоритми ва ҚПларда кечадиган деградация жараёнларини аниқловчи математик алгоритм блоклари келтирилган. ҚФЭСнинг эталон (Y_f) ва якуний (Y_f) ишлаб чиқариш соатлари, ва электр энергия ишлаб чиқариш коэффицент (PR) ларининг қийматлари ҳисоблаб чиқилган.

Экспериментал олган натижаларни адекватликни аниқлаш учун Matlab/Simulink дастурида моделлаштирилган. 2020 йил учун 5 та иқлим кўрсаткичларини ўзгаришини ҳисобга олиб, 5 та номаълум билан ифодаланиладиган қуйидаги функция шакллантирилган:

$$W(Y) = f(X_1(I), X_2(T), X_3(P), X_4(V), X_5(\phi)) \quad (9)$$

бунда: $W(Y)$ – ҚФЭС да ишлаб чиқарилган электр энергия қиймати, W ($kWh \cdot c$); X_1 қуёш радиацияси W/m^2 , X_2 – ташқи муҳит температураси, $T_{мух}$ ($^{\circ}C$); X_3 – атмосфера босими, P (kPa); X_4 -шамол тезлиги, V (m/s); X_5 -атмосфера намлиги, ϕ (%).

(9) формуладан келиб чиқиб, 5 номаълумли чизиқли регрессион тенглама қуйидагича шакллантирилди:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 \quad (10)$$

бунда, $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ – номаълум сонлар.

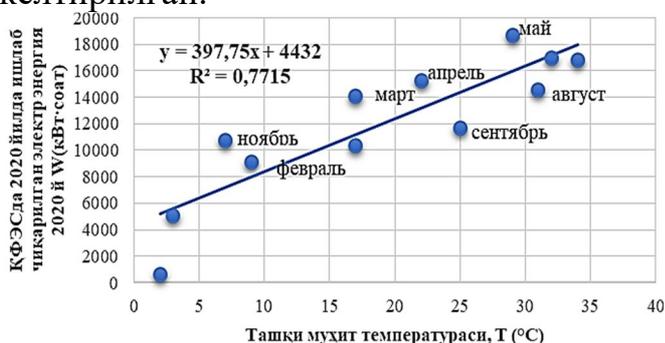
3-жадвалда 2020 йил учун иқлим кўрсаткичларидан фойдаланиб, 5 та номаълумли ўзгарувчи омиллар учун корреляция матрицаси келтирилган. 3-жадвалдан ҚФЭС да ишлаб чиқарилган электр энергия қийматлари $W(Y)$ билан ташқи муҳит температураси $T_{мух}(X_2)$ боғлиқлик корреляция коэффиценти 0,8783 га тенг, худди шундай, шамол тезлиги $V(X_4)$ боғлиқлик корреляция коэффиценти 0,8924 га тенг эканлигини кўриш мумкин.

3-жадвал

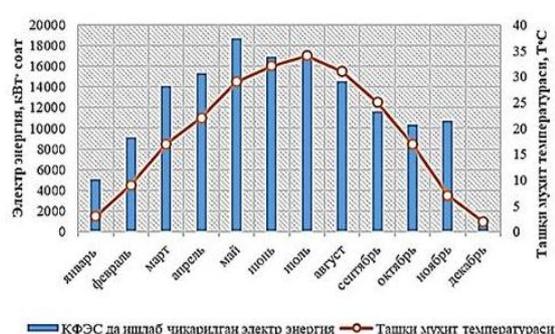
5 та номаълумли ўзгарувчи омил учун корреляция матрицаси

	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Y	1					
X ₁	0,816787	1				
X ₂	0,87835	0,981535	1			
X ₃	-0,82328	-0,95866	-0,94387	1		
X ₄	0,89247	0,894261	0,923083	-0,9171	1	
X ₅	-0,85427	-0,94149	-0,96191	0,886468	-0,91111	1

Бу сонлар қанча бирга яқин қийматда бўлса ушбу катталиклар орасидаги боғлиқлик шунча юқори бўлади. 2020 йилда ишлаб чиқарилган электр энергия қийматлари $W(Y)$ билан ташқи муҳит температурасининг $T_{мух}(X_2)$ боғлиқлигини кўрсатувчи регрессион модели ва $T_{мух}(^{\circ}C)$ ўзгаришига қараб ҚФЭСнинг электр энергияни ишлаб чиқариш динамикаси 9-а ва 9-б расмларда келтирилган.



9-а расм. Регрессион модели



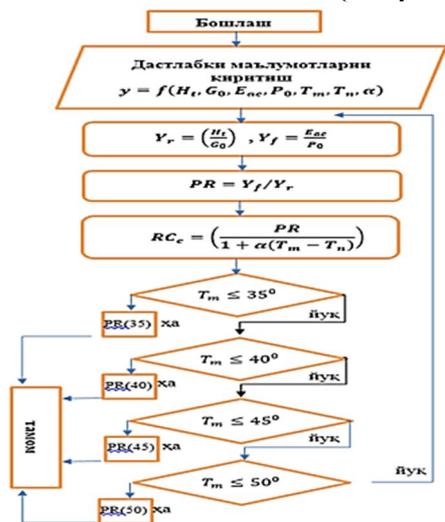
9-б расм. ҚФЭСнинг ишлаб чиқариш динамикаси

9-а) расмдаги тўғри чизикдан юқоридаги жойлашган нуқталар ҚФЭСнинг ушбу ойларда самарали ишлаганини билдиради, чизикдан пастки нуқталар шу ойларда камроқ самара билан ишлаганини кўрсатади. Тўғри чизик эса, ушбу йилдаги ишлаб чиқаришнинг ўртача қийматларини кўрсатади. Бир номаълумли тўғри чизик тенгламаси $y = 397,75 \cdot x + 4432$ ва дитерминация коэффиценти $R^2 = 0,7715$ га тенг. Агар дитерминация коэффиценти $R^2 \approx 1$ бирга тенг ёки яқин бўлса, ишлаб чиқарилган электр энергия қийматлари $W(Y)$ билан ташқи муҳит температурасини $T_{мух}(X_1)$ боғлиқликлари юқори эканлигини кўрсатади. Тадқиқотлар натижасида, ҚФЭСнинг ишлаш самарадорлигига ташқи муҳит температураси ва шамол тезлиги V (м/с) тўғри пропорционал ва атмосфера босими P (кРа) ва атмосфера намлиги, ϕ (%) тескари пропорционал эканлиги

аниқланди. 5 та номаълумли ўзгарувчан регрессион тенглама қуйидагича ифодаланилди.

$$Y = 98385,07 - 23,21X_1 + 715,0X_2 - 998,0X_3 + 3666,09X_4 + 3,2X_5 \quad (11)$$

Худди шундай, таҳлиллар 2018, 2019, 2020 ва 2021 йиллар учун ўтказилди, натижада ҚФЭСни самарали ишлаши йилнинг биринчи олти ойлигида, иккинчи олти ойлигига нисбатан юқори бўлиши аниқланди. Изланиш натижаларига кўра, ҚФЭСнинг ишлаб чиқариш коэффиценти (PR) ни ташқи муҳит температураси $T_{\text{мух}}$ ($^{\circ}\text{C}$) га боғлиқлигини ифодаловчи математик алгоритми ишлаб чиқилди (10-расм).



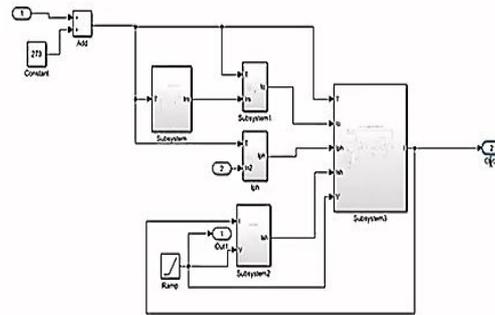
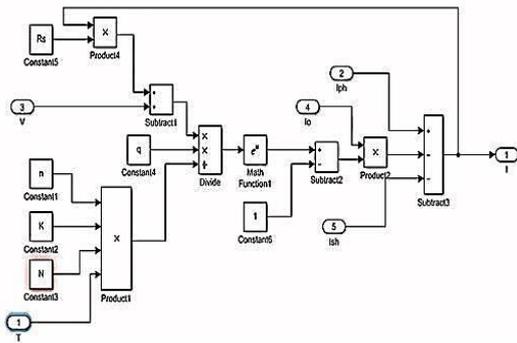
10-расм. Математик алгоритм блоки

Дастур ҚФЭС га тушаётган куёш нурларининг неча фоизи ҚПларда электр энергияга айланишини аниқлаш имкониятларини, уларни температураси ва горизонтга нисбатан мавсумий жойлашувини ўзгартириш орқали ҚФЭСда электр энергия ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш имконини беради. ҚФЭСнинг ишлаб чиқариш коэффиценти реал эксплуатация жараёнида идеал шароитда ишлаб чиқаришга қанчалик яқинлигини кўрсатувчи катталиқ.

Худди шундай, ҚПларида деградация жараёнларинг кечиш тезлигини ташқи ва ички омилларни ҳисобга олган ҳолда аниқлашнинг математик алгоритми ишлаб чиқилди. Дастур асосан, ҚФЭСларда деградация жараёнларининг кечиш тезлигини ташқи ва ички омилларни ҳисобга олган ҳолда аниқлайди. Ушбу натижалар орқали деградация жараёнларини олдини олиш ва камайтириш ҳамда ҚПларнинг ишлаш самарадорлигини оширади.

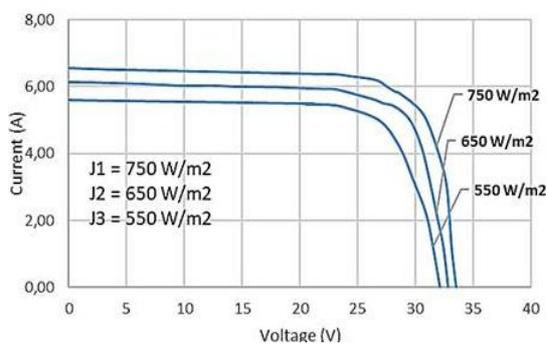
Юқоридаги (1)-(8) формулалардан фойдаланиб, HANHWA компаниясининг HSL250 турдаги ҚП ли учун, ток кучи $I(\text{A})$, кучланиши $U(\text{V})$ ва қуввати $P(\text{W})$, ўзгаришларини ҳисобга олиб Matlab/Simulink дастурида моделлаштирилган (11-расм).

ҚПга тушаётган нурланиш интенсивлиги (G) 550 W/m^2 , 650 W/m^2 ва 750 W/m^2 бўлган ҳолатлар учун Matlab/Simulink дастурида олинган ВАХси 12-расмда ва чиқиш қувватини $P(\text{W})$ кучланишга $U(\text{V})$ боғлиқлиги 13-расмда келтирилган. Шундай қилиб, Matlab/Simulink дастурида ҚП тушаётган ёруғлик интенсивлиги ўзгариши ҳисобига, ҚПлини температураси ва чиқиш параметраларини ўрганиш мумкинлиги кўрсатиб берилди.

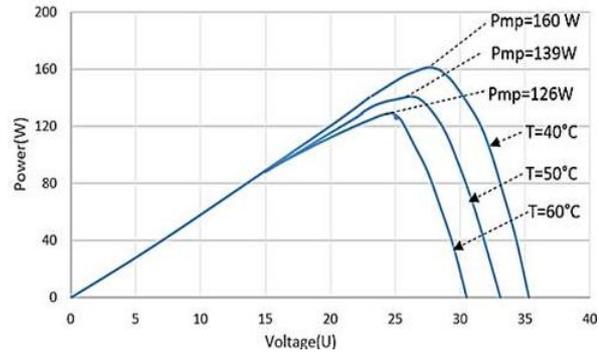


11-расм. Matlab/Simulink дастурида моделлаштириш

Моделлаштириш натижалари билан экспериментал тажриба натижалари солиштирилганда тафовут 4% дан ошмади.

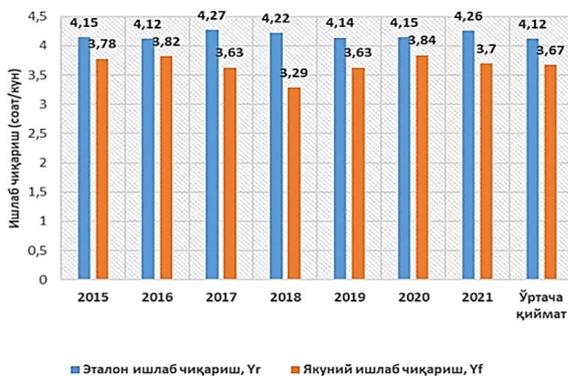


12- расм. Қуёш панелининг моделлаштириш ВАХси

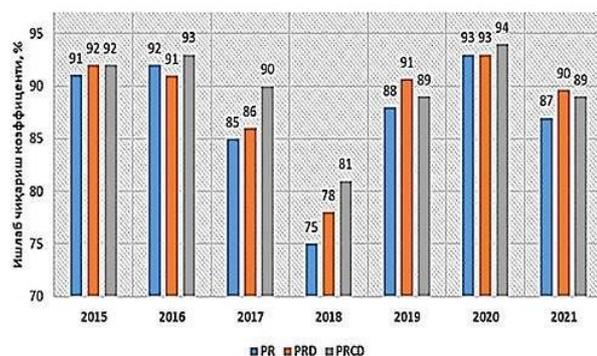


13-расм. Чиқиш қувватини P(W) кучланишга U (V) боғлиқлиги

Моделлаштириш натижалари билан экспериментал тажриба натижалари солиштирилганда тафовут 4% дан ошмади. Тадқиқотлар олиб борилган давр учун эталон ишлаб чиқариш (Y_r) ва якуний ишлаб чиқариш (Y_f)нинг ўртача қийматлари мос равишда 4,12 соат ва 3,67 соатни ташкил этиши аниқланди (14-расм). Худди шундай, ҚФЭСнинг ишлаб чиқариш коэффициент (PR) ларининг йиллар давомида ўртача ўзгариши қийматлари 80,74% - 87,25% ни ташкил қилишини ва 2020 йил учун самарадорлик коэффициенти 93% га тенг эканлиги аниқланди (15-расм).



14-расм. Эталон (Y_r) ва якуний (Y_f) ишлаб чиқариш соатлари



15-расм. Ишлаб чиқариш коэффициентининг ўзгаришлари

Наманган-Поп ҚФЭСнинг ишлаб чиқариш коэффициенти (PR), эталон (Y_r) ва якуний (Y_f) ишлаб чиқариш соатлари, Европа ва Осиёдаги ҚФЭСларни иш

фаолияти билан 4-жадвалда солиштирилган. Италия (Сардиния) да ҚФЭСнинг бир йиллик ишлаб чиқариш коэффициенти (PR), 83,20% ни, Испания II ва Испания III да ишлаб чиқариш коэффициентлари (PR), мос равишда 85,08% ва 80,96% ни, Франция (Сурдун) да ишлаб чиқариш коэффициенти (PR), 87,18% ташкил қилган. Бунда, эталон (Y_T) ва якуний (Y_f) ишлаб чиқариш соатлари фарқи Испанияда 1,04 соатга, Францияда 0,59 соатга ва Ўзбекистонда 0,45 соатга тенг эканлиги аниқланган. Францияда ҚФЭСларнинг ишлаб чиқариш самарадорлиги Испанияга нисбатан юқори экан.

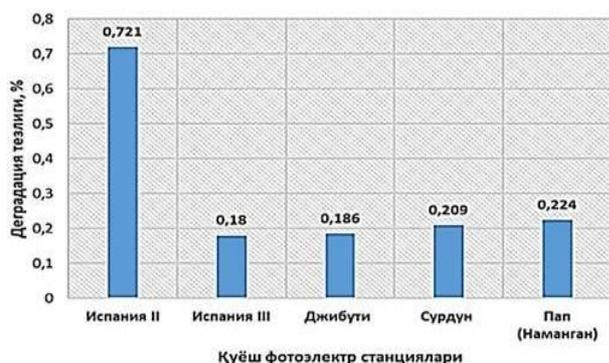
Демак, Ўзбекистон иқлим шароитда ҚФЭСларнинг электр энергия ишлаб чиқариш самарадорлиги Испания, Франция давлатларига нисбатан юқори эканлиги аниқланди.

4-жадвал

Европа ва Осиё давлатларидаги ҚФЭСларнинг ишлаб чиқариш коэффициентлари

Мамлакатлар	Тадқиқот даври (йил)	Технология	PR (%)	PR (%) учун	Y_T (кун/соат)	Y_f (кун/соат)	Хавола
Сардиния, Италия	1 йил 300 кВт	p-Si	83.20	74.81 дан 89.93 гача	-----	-----	(Ghiani ва б., 2013)
Испания II	3 йил 4,6 МВт	p-Si	84.96	83.56 дан 87.12 гача	7.25	6.16	(Martín-Martínez ва б., 2019)
Испания III	3 йил 370 кВт	p-Si	80.95	80.39 дан 81.43 гача	5.46	4.42	(Martín-Martínez ва б., 2019)
Сурдун, Франция	7 йил 4,5 МВт	p-Si	84.9	84.12 дан 90.54 гача	3.92	3.33	Mohamed El Hacen ва б., 2018)
Поп-Наманган Ўзбекистон	7 йил 130 кВт	p-Si	89,1	75.85 дан 93.28 гача	4.12	3.67	Тадқиқот натижалари

Наманган-Поп ҚФЭСнинг деградация даражаси бошқа Европа ва Осиё давлатларидаги ҚФЭСларнинг деградация даражаси билан солиштирилган (16-расм). Бунда Испания II да 0,721% ни ташкил қилган, бу ҚФЭСларнинг 10 йил ёки ундан кўпроқ вақт ишлаши давомида содир бўлган, Испания III йилдан кўпроқ ишлаган учун йилига 0,18% ни, Джибутида тропик чўл-денгиз иқлими бўлишига қармасдан, деградация даражаси йилига 0,186% ни ташкил этган.



16-расм. Деградация даражаларини солиштириш диаграммаси

Мўътадил иқлим шароитидаги яна бошқа бир тадқиқотда Франция (Сурдун) даги ҚФЭСнинг деградация даражаси йилига 0,209% ни ташкил этган. Шундай қилиб, Наманган-Поп ҚФЭСнинг 2015-2021 йиллар оралиғидаги деградация даражаси йилига ўртача 0,224% ни ташкил этиши аниқланди.

ХУЛОСА

“Ўзбекистон иқлим шароитларида қуёш панелларининг чиқиш характеристикалари ва деградация жараёнларини тадқиқ қилиш” мавзуси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. Ўзбекистон иқлим шароитларида ҚФЭСларнинг ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш учун мавсумий иқлим ўзгариш қонуниятлари ва кунлик, ойлик ва йиллик ишлаб чиқариш режимлари аниқланди.

2. ҚФЭС нинг ишлаб чиқариш самарадорлигига таъсир қилувчи ташқи ва ички омиллар корреляцион ва регрессион усуллар ёрдамида аниқланди.

3. ҚФЭС нинг электр энергия ишлаб чиқариш коэффицентини ёруғлик интенсивлиги ва ташқи муҳит температурасини ҳисобга олган ҳолда аниқлашга имкон берувчи универсал алгоритм ва ЭХМ учун дастур ишлаб чиқилди.

4. Наманган-Поп ҚФЭСда 7 йил ичида максимал электр энергия 2020 йилда (143871 кВт·соат), минимал электр энергия эса 2018 йилда (127468 кВт·соат) ишлаб чиқарилганлиги ва унинг ишлаб чиқариш самарадорлиги 2015-2021 йиллар мобайнида 2,2 % пасайганлиги аниқланди.

5. ҚП да деградация жараёнларининг кечиш тезлигини ташқи ва ички омилларни ҳисобга олган ҳолда аниқловчи универсал математик алгоритм ва ЭХМ учун дастур ишлаб чиқилди.

6. Matlab/Simulink дастурида ҚПга тушаётган ёруғлик интенсивлигини ўзгартириш ҳисобига, унинг чиқиш токи, кучланиши ва чиқиш қувватининг ҚП температурасига боғлиқ ҳолда ўзгариши бўйича моделлаштирилди. Моделлаштириш натижалари билан экспериментал тажриба натижалари солиштирилганда тафовут 4 % дан ошмади.

7. Ўзбекистон иқлим шароитларида юқори даражада иссиқ бўлган кунларда қуёш панелларнинг температураси белгиланган меъёрдан кўтарилиши натижасида, НАННВА компанияси қуёш панеллари сиртида нуқсонлар пайдо бўлгани, бу эса деградация жараёни эканлиги аниқланди.

8. Наманган-Поп ҚФЭСда тадқиқот давридаги эталон (Y_r) ва якуний (Y_f) ишлаб чиқариш соатлари йилига ўртача 4,12 соат ва 3,67 соатни ташкил этиши ва ишлаб чиқариш коэффицентини (PR) 87,24 % - 93,58 % оралиғида ўзгариши аниқланди. Ҳамда ҚФЭСнинг 2015-2021 йиллар оралиғидаги деградация даражаси йилига ўртача 0,224 % эканлиги баҳоланди.

9. Илмий тадқиқот натижалар асосида ҚФЭС даги ҚПларнинг эрта деградация жараёни бошланишига олиб келувчи омилларни бартараф этиш ва чиқиш параметрларини ишлаш самарадорлигини яхшилаш бўйича кўрсатма ва тавсиялар ишлаб чиқилди. Ушбу илмий натижалар Наманган-Поп ҚФЭСига тадбиқ қилиниши эвазига электр энергия ишлаб чиқариш 8 % га ошганлиги, бунинг ҳисобига 62,429 млн.сўм ҳақиқий иқтисодий самарага эришилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 ПРИ ИНСТИТУТЕ
ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ГУЛИСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КОМИЛОВ МИРЗИЁ МИРКАМОЛОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПРОЦЕССОВ
ДЕГРАДАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В КЛИМАТИЧЕСКИХ
УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА**

05.05.01 – Энергетические системы и комплексы

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

Ташкент – 2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером №B2023.2. PhD/T2683.

Диссертация выполнена в Гулистанском государственном университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице Научного совета (www.energetika.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net)

Научный руководитель: **Одамов Умарбай Омонович**
кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Официальные оппоненты: **Зохидов Ромэн Абдуллаевич**
доктор технических наук, профессор, академик
Иззатиллаев Жўрабек Олимжонович
доктор философии по техническим наукам,(PhD)

Ведущая организация: **Каршинский инженерно-экономический институт**

Защита диссертации состоится «__» _____ 2024 г. в ____ часов на заседании Научного совета DSC.02/30.12.2021.T.143.01 при Институте проблем энергетики Академии Наук Республики Узбекистан. (Адрес: 100076, г.Ташкент, ул. М.Ашрафий 1-проезд, 9-А. Тел.: (+99871) 283-23-08, факс: (99871) 283-23-08; e-mail: energetika_in@umail.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института проблем энергетики Академии Наук Республики Узбекистан (регистрационный номер ____). (Адрес: 100076, г.Ташкент, ул М.Ашрафий 1-проезд, 9-А. Тел.: (99871) 283-23-08), факс: (99871) 283-23-08

Автореферат диссертации разослан «____» _____ 2024 года.

(протокол рассылки № «____» от «____» _____ 2024 года).

Х.М. Муратов

Председатель научного совета по присуждению ученой степени, доктор технических наук, профессор

Ж.Н. Голипов

Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, доктора философии (PhD) по техническим наукам, старший научный сотрудник.

О.Х. Ишназаров

Председатель научного семинара при научном совете по присуждению ученой степени, доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация к диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире большое внимание уделяется расширению использования возобновляемых источников энергии, позволяющему экономить традиционных топливно-энергетических запасов и сохранять экологическую чистоту. Особенно, среди возобновляемых источников энергии, производство электроэнергии с использованием солнечных фотоэлектрических станций с каждым годом увеличивается и занимает лидирующие позиции. Известно, что в первый год эксплуатации солнечных панелей в разных климатических регионах выходные характеристики солнечных панелей изменяются и происходит процесс деградации под воздействием внешних и внутренних факторов, средняя скорость которых составляет 0,2-0,6% в год¹. Чтобы улучшить эти условия, в фотоэлектрической промышленности особое внимание уделяется: использованию экономически эффективных стратегий, улучшению качества солнечных элементов, производству тонкопленочных и прочных солнечных панелей, улучшению выходных характеристик солнечных панелей, а также снижению риска деградации и повышению энергоэффективности².

В мире проводится множество научных исследований по строительству множества солнечных фотоэлектрических станций, увеличению производства электроэнергии на их основе, улучшению выходных характеристик, являющихся основной частью солнечных панелей, выявлению и предотвращению процессов деградации и повышению эффективности работы. В этом направлении, в том числе влияние сезонных изменений климата на солнечные панели, высокой температуры внешней среды, пыли, покрывающей рабочие поверхности солнечных панелей, сезонного повышения влажности воздуха и интенсивности солнечной активности, современные методы определения причин изменения выходных характеристик солнечных панелей и процессов деградации, а также исследования по повышению энергоэффективности путем моделирования выходных параметров солнечных панелей считаются одной из приоритетных задач.

В нашей республике принимаются меры по развитию широкого использования возобновляемых источников энергии и повышению их эффективности. В стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы определены и поставлены задачи «Бесперебойное обеспечение экономики электроэнергией и активное внедрение технологий «Зеленой экономики» во все отрасли, повышение энергоэффективности экономики на 20%»³.

В реализации этих задач, в частности, в строительстве новых производств на основе возобновляемых источников энергии и повышение их эффективности, в том числе улучшение выходных характеристик солнечных фотоэлектрических станции, обнаружение деградационных процессов и их

¹ National Renewable Energy Laboratory (NREL) Publications

² Pincel S., Zenen Y., Frank O., Geipel T., Berghold J., 2009. Mechanical stability of solar cells within solar

³ Нового Узбекистана на 2022-2026 годы определены и поставлены задачи «Бесперебойное обеспечение экономики электроэнергией и активное внедрение технологий «Зеленой экономики» во все отрасли, повышение энергоэффективности экономики на 20%»

предотвращение считается одной из важных задач.

Данное диссертационное исследование в определенной степени послужит для реализации задач, поставленных в Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года за № УП-60 «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы⁴», в Постановлениях Президента Республики Узбекистан от 22 августа 2019 года № ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии⁵», и от 10 июля 2020 года № ПП-4779 «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов⁶», а также в других нормативных правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики: 2. «Энергетика, энергосбережение и альтернативные источники энергии».

Степень изученности проблемы. Ведущие ученые мира проводят научные исследования по повышению эффективности солнечной фотоэлектрической станции (СФЭС), улучшению выходных показателей солнечных панелей и предотвращению процессов деградации, происходящих в них. В том числе, ученые мира: J.Wohlgemuth, E.Kaplani, A.Charki, A.Kobi, W.Kwapil, P.Carpene, A.Ndiaye, R.Pacios, Sh.S.Chandel, R.Pacios, V.Naumann, Shifeng Deng, Zhen Zhang и другие изучали деградацию, возникающих на некоторых солнечных элементах (СЭ) во время эксплуатации солнечных панелей (СП), а также научным сотрудником⁷ Национального научно-исследовательского института Российской Федерации Д.А.Зезином были изучены процессы деградации в тонкослойных СЭ⁸.

Также при решении научных проблем, таких как повышение производительности солнечных панелей и интеграция электроэнергии, получаемой от СФЭС в электрическую сеть, узбекские ученые: Р.А.Захидов, М.С.Саидов, Р.А.Муминов, М.Н.Турсунов, Х.М.Муратов Г.Н.Узаков, А.М.Мирзабаев, О.Хакимов, А.Юлдашов, Н.А.Матчанов У.А.Таджиев,

⁴ Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года за № УП-60 «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы

⁵ Президента Республики Узбекистан от 22 августа 2019 года № ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии

⁶ 10 июля 2020 года № ПП-4779 «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов

⁷ Shifeng Deng, Zhen Zhang, Chenhui Ju, Jingbing Dong, Zhengyue Xia, Xinchun Yan, Tao Xu, Guoqiang Xing. Research on hot spot risk for high-efficiency solar module. Scientific Conference, 17-20 April 2017, Shanghai, China

⁸ Зезин Д.А. Деградационные процессы в тонкопленочных солнечных элементах / Дисс. ... канд.техн.наук. - Москва. 2014. -109 с

А.Кутлимратов, У.О.Одамов, А.И.Анарбаев и другие ведут эффективную научную работу. Несмотря на проведенные научные исследования, коэффициент производства СФЭС, процессы деградации, внешние и внутренние факторы, влияющие на эффективность производства СФЭС в региональных климатических условиях, выходные характеристики солнечных панелей и степень деградации изучены недостаточно.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высших учебных заведений, где выполнена работа. Данная диссертационная работа выполнена в рамках плана научно-исследовательских работ прикладных проектов в Гулистанском государственном университете ERASMUS + 574055-EPP “Развитие магистерской программы в области возобновляемых источников энергии и устойчивой окружающей среды”, RENES (2016-2019 г.г.).

Цель исследования является изучение изменения выходных характеристик солнечных панелей при эксплуатации солнечных фотоэлектрических станции в климатических условиях Узбекистана, а также процессов деградации, происходящих под воздействием внешних и внутренних факторов. (На примере климата Ферганской долины).

Задачами исследования являются:

анализ текущей ситуации, перспектив и проблем использования солнечных фотоэлектрических станций;

анализ суточных, месячных, годовых режимов выработки электро-энергии солнечных фотоэлектрических станций в климатических условиях Узбекистана;

определение эффективного времени работы с учетом выходных параметров солнечных панелей, вольт-амперных и вольт-мощностных характеристик, коэффициента полезного действия (КПД) и закономерностей их сезонного изменения в реальных климатических условиях;

внешние факторы, влияющие на эффективность производства СФЭС: определение влияния температуры внешней среды, скорости ветра, атмосферного давления и влажности с использованием методов корреляционного и регрессионного анализа и разработка математических методов определения их влияния с учетом сезонных изменений климатических условий;

определение скорости течения процесса деградации солнечных панелей производства компаний «HANHWA», «JSPV», «S_ENERGY» и «TOPSUN», установленных на СФЭС, путем визуального наблюдения, определения зон нагрева с помощью тепловизора, термопарного энергетического оборудования, измерения вольт-амперных, вольт-мощностных характеристик и анализа коэффициента производства;

усовершенствование методов определения выходных показателей солнечных панелей и процессов их деградации на основе моделирования в программе Matlab/Simulink;

Объектом исследования являются тестовая СФЭС мощностью 130 кВт, построенная в Папском районе Наманганской области и входящие в ее состав

солнечные панели компаний: «HANHWA», «JSPV», «S_ENERGY» и «TOPSUN».

Предметом исследования являются выходные параметры солнечных панелей, вольт-амперные, вольт-мощностные характеристики, коэффициенты полезного действия и закономерности их сезонного изменения, а также методы изучения процессов деградации, происходящих в солнечных панелях.

Методы исследования. В процессе исследовательской работы использовались аналитические и экспериментальные методы: корреляционно-регрессионный анализ, математическая статистика, математическое моделирование и многофакторный регрессионный анализ.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан алгоритм оптимизации режимов управления мощностью, передаваемой в сеть с учетом закономерности изменения выработки электрической энергии на солнечных фотоэлектрических станциях;

разработана математическая модель определения энергоэффективности солнечных фотоэлектрических станции с учетом климатических показателей, влияющих на их выходные параметры;

усовершенствована методика оценки энергоэффективности солнечных панелей с учетом изменения их вольт-амперных, вольт-мощностных характеристик и коэффициентов полезной работы в реальных климатических условиях при процессе эксплуатации;

создан алгоритм, позволяющий оценить эффективность работы солнечных фотоэлектрических станций, на основе учета выходных характеристик солнечной панели, процессов её деградации и определения коэффициента производительности.

Практический результат исследования заключаются в следующем:

оптимизированы производственная эффективность солнечных фотоэлектрических станции и режимы их управления с учетом сезонных изменений климата;

созданы уравнения для расчета закономерности изменения эффективности солнечной фотоэлектрической станции с учетом влияния внешних и внутренних факторов на основе корреляционных и регрессионных методов;

разработан алгоритм определения производственных коэффициентов и выходных параметров солнечных фотоэлектрических станции;

разработаны методы определения скорости течения процессов деградации, происходящих в солнечных панелях под действием внешних и внутренних факторов, и рекомендации по их предотвращению.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования основана на обширных теоретических и практических исследованиях, использовании современных методов моделирования, совместимости результатов, полученных при расчетах с использованием математических методов, а также на информации о применении в производстве и получении сертификатов на программы для ЭВМ.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования - объясняется научным обоснованием изменения производственной эффективности солнечных фотоэлектрических станции в процессе их эксплуатации и процессов деградации, происходящих в них.

Практическая значимость результатов исследования - объясняется повышением производственной эффективности солнечных фотоэлектрических электростанций, позволяющих управлять режимами передачи вырабатываемой электроэнергии в сеть.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов, полученных в результате исследования выходных характеристик солнечных панелей и процессов деградации:

рекомендации по повышению эффективности производства солнечных фотоэлектрических станции и оптимизации режимов их управления с учетом сезонных изменений климата внедрены на солнечной фотоэлектрической станции Пап-Наманган (справка Министерства энергетики Республики Узбекистан, АО “Региональные электрические сети” № 01-03-42/948 от 13 сентября 2023 года). В результате эффективность производства электроэнергии выросла на 138732,2 кВт·ч в год.

с учетом влияния внешних и внутренних факторов введены рекомендации по улучшению выходных характеристик солнечных фотоэлектрических станций и предотвращению происходящих в них деградационных процессов (справка Министерства энергетики Республики Узбекистан, АО “Региональные электрические сети” № 01-03-42/948 от 13 сентября 2023 года). В результате годовая экономическая эффективность составила 62429400 (шестьдесят два миллиона четыреста двадцать девять тысяч четыреста) сумов.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждались на 8 научно-технических конференциях, в том числе на 2 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Публикованность результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликованы 22-научные работы, из них 7 статей опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан к публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе в 4-х республиканских и 3-х зарубежных журналах. 1 статья опубликована на научных конференциях, включенных в базу данных Scopus. Получены сертификаты на 2 программы ЭВМ от Агентства интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистан.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объём диссертации составляет 116 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновываются актуальность и необходимость диссертационной работы, описываются цели и задачи исследования, определяются объект и предмет исследования, определяется соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технология республики, определены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов и обоснована их достоверность, приведены сведения о внедрении в практику результатов исследования и результатах апробации, приведены опубликованные работы и сведения о структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием «**Использования солнечной энергии, анализ характеристик солнечных фотоэлектрических станции и панелей**» рассмотрены возобновляемые источники энергии, состояние и перспективы использования солнечной энергии, типы и принципы работы СФЭС, строение СП, влияние внешние и внутренние факторы на рабочие характеристики СЭ, выходные характеристики, процессы деградации, происходящие на СП, изучены их причины и представлен анализ научных исследований.

Представлена динамика роста производства энергии в мире за период 2013-2022 гг. по видам ВИЭ: солнечная и ветровая энергия, потенциальная энергия воды и использование других видов энергоресурсов. При этом обосновываются рост по СФЭС на 50% в период с 2013-2019 по 2020-2022 годы, необходимость строительства большого количества СФЭС в будущем и увеличения производства большого количества СП, эффективность их производства и ресурса производительности, а также предотвращение и сокращение процессов деградации, негативно влияющие на эффективное функционирование СФЭС внешние и внутренние факторы.

Во второй главе диссертации под названием «**Методы и приборы для исследования процессов деградации солнечных панелей**» приводятся возможности методов и установка исследования параметров и выходных характеристик солнечных панелей, международные стандарты испытания СЭ и СП и их требования, использованные методы и установка для определения процесса деградации в СП, а также инструкции по анализу результатов, полученных в результате экспериментальных исследований процесса деградации.

Эквивалентная схема солнечного элемента показана на рисунке 1, где фототок I_{ph} , генерируемый в СЭ солнечным светом, движется по цепи и часть его протекает через диод I_d , а другая часть – через I_{sh} и I_{rs} , и выражается следующим образом:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (1)$$

отсюда

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(U + IR_s)}{nkT} \right] - 1 \right\} - \frac{U + IR_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

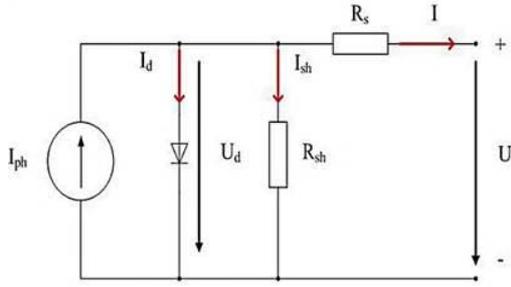


Рис.1. Эквивалентная схема солнечного элемента

где, I –рабочий ток, [А]; I_{ph} –фототок, [А]; I_0 –обратный ток насыщения p - n перехода, [А]; q –заряд электрона ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл); U –рабочее напряжение, [В]; R_s –последовательное сопротивление, [Ом]; коэффициент идеальности n -диода; k –постоянная Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К); T –температура p - n перехода, Кельвин; R_{sh} –параллельное сопротивление, [Ом].

В формуле (2) эквивалентной схемы солнечного элемента 5 неизвестных параметров, это: I_{ph} , I_0 , n , R_s , R_{sh} . Чтобы определить значения этих неизвестных параметров, необходимо решить 5 уравнений. Обычно в таблице данных СП (шильдике) указываются значения трех точек ($I_{sc}, 0$), ($U_{oc}, 0$) и (U_m, I_m), полученные производителями СП в стандартных условиях. Формула эквивалентной модели (2), для разомкнутой цепи напряжение U равно постоянному напряжению U_{oc} , то есть в случае $I=0$ и $U=U_{oc}$ оно имеет следующий вид.

$$0 = I_{ph} - I_0 \cdot \left\{ \exp \left[\frac{U_{oc}}{nkT} \right] - 1 \right\} - \frac{U_{oc}}{R_{sh}} \quad (3)$$

В случае тока короткого замыкания I_{sc} формула (2) принимает следующий вид, где $I=I_{sc}$, $U=0$.

$$I_{sc} = I_{ph} - I_0 \cdot \left\{ \exp \left[\frac{I_{sc} \cdot R_s}{nkT} \right] - 1 \right\} - \frac{U_{oc}}{R_{sh}} \quad (4)$$

В точках максимума тока и напряжения при измерениях, т.е. $I=I_{max}$ и $U=U_{max}$ формула (2) выглядит следующим образом.

$$I_{max} = I_{ph} - I_0 \cdot \left\{ \exp \left[\frac{U_m + I_m \cdot R_s}{nkT} \right] - 1 \right\} - \frac{U_m + I_m \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (5)$$

При выводе трех приведенных выше формул (3), (4) и (5) использовались конкретные случаи. Для определения оставшихся двух неизвестных возьмем дифференциал по напряжению U для первого случая из формулы (2).

$$\frac{dI}{dU} = -I_0 \cdot \left[\frac{1}{kT} \left(1 + \frac{dI}{dU} \cdot R_s \right) \exp \left(\frac{U_m + I_m \cdot R_s}{nkT} \right) - \frac{1}{R_{sh}} \left(1 + \frac{dI}{dU} \cdot R_s \right) \right] \quad (6)$$

Используя вольт-амперную характеристику (ВАХ) для разомкнутой цепи, т.е. пользуясь тем, что при $I=0$ и $U=U_{oc}$ равен $\frac{dI}{dU} = \frac{dI}{dU}\Big|_{I=0}$, формула (6) принимает вид:

$$\frac{dI}{dU}\Big|_{I=0} = -I_0 \cdot \left[\frac{1}{kT} \left(1 + \frac{dI}{dU}\Big|_{I=0} \cdot R_s \right) \exp\left(\frac{U_{oc}}{nkT}\right) - \frac{1}{R_{sh}} \left(1 + \frac{dI}{dU}\Big|_{I=0} \cdot R_s \right) \right] \quad (7)$$

Из вольт-амперной характеристики (ВАХ) для состояния короткого замыкания, то есть где $I=I_{sc}$, $U=0$, $\frac{dI}{dU} = \frac{dI}{dU}\Big|_{U=0}$ и формулы (6) принимает следующий вид:

$$\frac{dI}{dU}\Big|_{U=0} = -I_0 \cdot \left[\frac{1}{kT} \left(1 + \frac{dI}{dU}\Big|_{U=0} \cdot R_s \right) \exp\left(\frac{U_{oc}}{nkT}\right) - \frac{1}{R_{sh}} \left(1 + \frac{dI}{dU}\Big|_{U=0} \cdot R_s \right) \right] \quad (8)$$

Приведенные выше формулы (1) – (8) использовались в методах исследования параметров и выходных характеристик солнечных панелей. Также эксплуатационные характеристики солнечных панелей зависят от процесса эксплуатации, материала и технологии изготовления.

Обзор установка исследования выходных характеристик солнечной панели представлен на рисунке 2. Лаборатория, в которой проводится исследование, оснащена специальным прибором «EESFC», изучающим выходные характеристики СП в системе «SCADA» компании «EDIBON». Данное установка предназначено для проведения исследований выходных характеристик и компьютерного управления СП. Для излучения света в экспериментальной исследовательском установке установлены 8 галогенных ламп типа NH-J117. Каждая галогенная лампа имеет световой поток 9500 лм и мощность 500 Вт. Общий диапазон интенсивности света установка составляет $0 \div 1000 \text{ W/m}^2$. Установка способно измерять изменения тока $I(A)$, напряжения $U(V)$ и мощности $P(W)$, вырабатываемые в СП по мере изменения интенсивности света.



Рис.2. Общий вид установки исследования выходных характеристик солнечной панели

Для определения процессов деградации СП также использовались это установка и требования международного стандарта IEC-61724.

В третьей главе диссертации под названием «**Энергетические показатели Наманган-Поп солнечной фотоэлектрической станции**» представлены 7-летняя эксплуатация СФЭС Пап-Наманган в реальных климатических условиях Узбекистана, схема расположения СП в нем, инверторы и их технические характеристики. Приведен анализ суточной, месячной и годовой динамики электроэнергии, производимой на СФЭС, закономерности сезонного изменения параметров производства и результатов экспериментальных исследований. Динамика выработанной, переданной в сеть и потребленной для собственных нужд электроэнергии со стороны СФЭС Пап-Наманган в 2015-2021 годах представлена на рисунке 3.

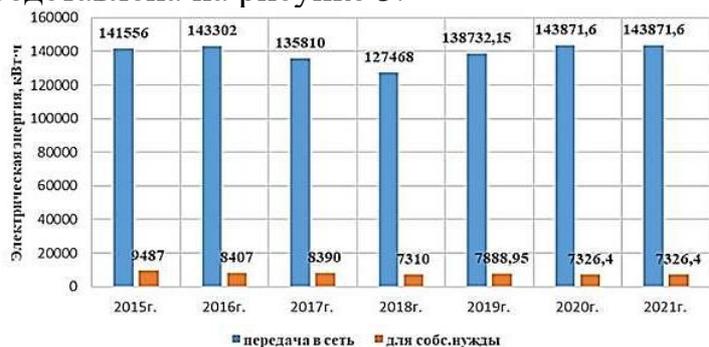


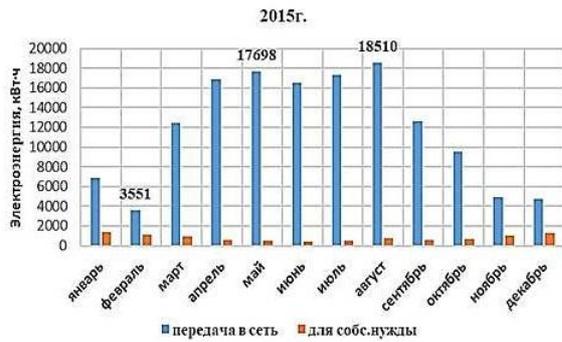
Рис. 3. Динамика показателей, произведенной и потребленной для собственных нужд электроэнергии за период 2015-2021г.г

Анализ показал, что с 2015 по 2018 год выработка электроэнергии СФЭС снизилась на 10%. Вариации этой эффективности зависят от адаптации СФЭС к реальным климатическим условиям, разным временам года, частицам пыли на поверхности солнечных панелей.

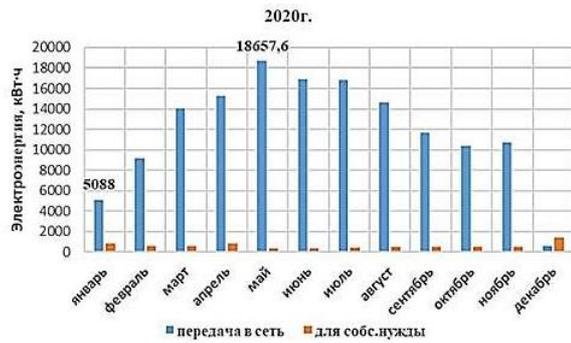
Из рисунка 3 видно, что в 2019 году производство выросло на 12% по сравнению с 2018 годом после устранения вышеперечисленных факторов, влияющих на эффективность. За исследуемый период, то есть с 2015 по 2021 год, максимально произведенная электроэнергия приходится на 2020 год, что составляет 143 871,6 кВтч. С целью определения изменений в производстве электроэнергии на СФЭС по итогам года были проведены ежемесячные анализы за период с 2015 по 2021 год.

На рисунках 4 а) и б) показаны объемы производства и потребления электроэнергии на собственные нужды в СФЭС с 2015 по 2020 год по месяцам. Из изменений электроэнергии, выработанной за 5 лет в СФЭС, известно, что максимальное объем выработки электроэнергии приходится на август 2015 года, а в 2020 году приходится на май месяц, также установлено, что больший объем выработки электроэнергии приходится на первые шесть месяцев года.

Сезонные изменения климата в 2015-2021 годах показали, что эффективность СФЭС в весенний и летний сезоны была признана высокой по сравнению с осенним и зимним сезонами года. Эта закономерность сезонной изменчивости была подтверждена в ходе 7-летних исследований.



а) в разрезе месяцев за 2015 год



б) в разрезе месяцев за 2020 год

Рис.4. а) и б). Объемы производства и потребления на собственные нужды электроэнергии в СФЭС Пап-Наманган

Динамика сезонного изменения солнечных панелей каждой компании, установленных в СФЭС, представлена на рисунках 5-а), б), в) и г).

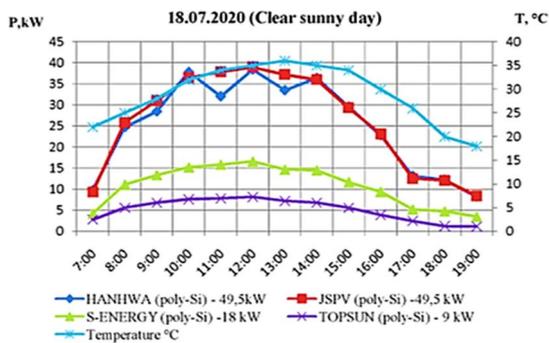


Рис.5-а) 18 июня 2020 года

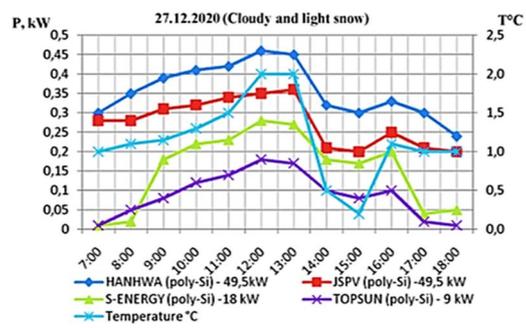


Рис.5-б) 27 декабря 2020 года

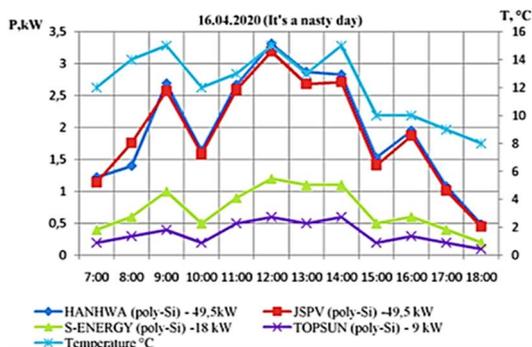


Рис. 5-в) 16 апреля 2020 года

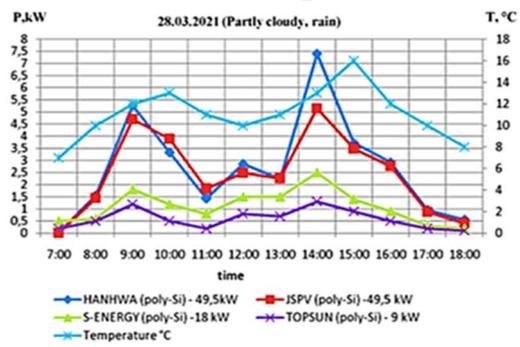


Рис. 5-г) 3 марта 2021 года

На рисунке 5-а) даётся динамика выработки за 18 июня 2020 года, стояла летняя ясная погода, продолжительность дня составляла с 7:00 утра до 19:00 вечера (т.е. 12 часов), а температура внешней среды составляла 34-35°C. Эффективность выработки СП 4-х компаний в течение этого периода была практически одинаковой, но на СП компании HANHWA наблюдалось резкое снижение эффективности с 12:00 и по 14:00 часов дня. На рисунке 5-б) даётся динамика выработки за 27 декабря 2020 года, зимний сезон, день пасмурный и немного снежный, температура внешней среды составляла +3°C, видно, что СП 4-х компаний работали эффективнов первой половине дня, т.е. с 9:00 до 13:00, но во второй половине дня, между 13:00 и 15:00, производительность СП компании HANHWA резко снизилась. На рисунке 5-в) проведено исследование

16 апреля 2020 года в условиях, когда в воздухе содержалось запыленность, температура воздуха была 14°C, эффективность выработки электроэнергии СПями 4-х компаний была выше первой половине дня с 7:00 до 14:00, температура воздуха снизилась до 8°C с 14:00 до 18:00 во второй половине дня, соответственно, эффективность выработки СП также снизилась. На рисунке 5-г) даётся динамика выработки за 28 марта 2021 года, исследования проводились в частично облачную и дождливую погоду весны, температура воздуха колебалась в диапазоне от 8°C до 16°C в течение дня, при этом суточный ход мощностей СП компаний HANHWA, JSPV, S-ENERGY и TOPSUN был одинаковым и изменялся пропорционально температуре внешней среды. Однако, несмотря на то, что пропускная способность СП компаний HANHWA и JSPV одинаковы, при изменении температуры воздуха мы можем наблюдать резкое снижение показателей СП компании HANHWA относительно СП компании JSPV. При осмотре внешней поверхности всех СП, установленных в СФЭС Пап-Наманган, выявлено ряд дефектов на СП компании HANHWA (HSL 250) (Рис. 6).



Рис.6. Дефекты солнечных панелей компании HANHWA (HSL250)

В ходе реальной эксплуатации в летнее время года из-за превышения нормы температуры $T_{сп}$ (°C) СП, наблюдалось появление воздушных пузырьков между слоем пленки EVA и СЭ на некоторых частях поверхности СП HANHWA (HSL250). В результате этого, поскольку часть солнечных лучей, падающих на СЭ, рассеивается в этих пузырьках, солнечные лучи не достигают СЭ полностью. В результате наблюдается снижение эффективности работы СП.

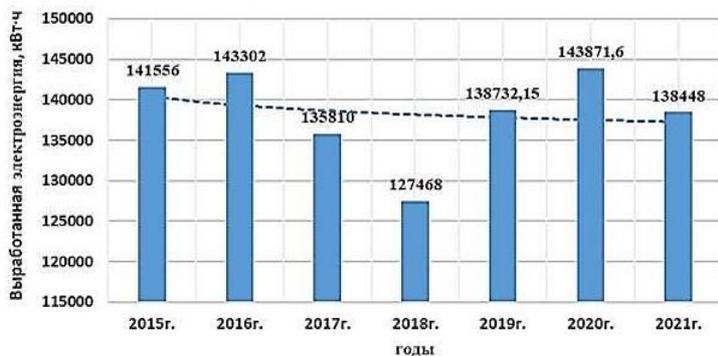


Рис.7. График и ступенчатая линия тренда производства электроэнергии за период 2015-2021 гг

В результате наблюдений, проведенных за последние 7 лет, установлено, что эффективность производства СФЭС снизилась на 2,2%, что видно по ступенчатой линии тренда (рис 7). Среднегодовая производственная мощность СФЭС за 7 лет составила 139026,8 кВт·ч.

В таблице 1 приведены результаты влияния температуры СП на выходные параметры для случая, когда интенсивность света, падающего на новую вновь эксплуатируемую СП составляет $J=750\text{W/m}^2$. Экспериментальное исследование проводилось в диапазоне интенсивности света $200\div 750\text{ W/m}^2$. За счет увеличения интенсивности света, падающего на КП, измерялись изменения генерируемого тока $I(\text{A})$, напряжения $U(\text{V})$ и мощности $P(\text{W})$.

1-таблица

Показатели параметров новой солнечной панели		Температура солнечной панели °С									
Энергетические параметры		31	35	39	43	47	51	55	57	59	61
U (V)		32,9	32,2	31,9	31,5	31,1	30,9	30,5	30,3	30,2	30,1
I (A)		6,71	6,84	6,85	6,87	6,88	6,89	6,95	6,98	7,00	7,01
P (W)		220,8	220,3	218,5	216,4	214,0	213,0	212,0	211,5	211,4	211,0

В таблице 2 приведены экспериментальные результаты, полученные по влиянию температуры дефектной СП на выходные параметры.

2-таблица

Показатели параметров солнечной панели за 7 лет эксплуатации		Температура солнечной панели °С									
Энергетические параметры		31	35	39	43	47	51	55	57	59	61
U (V)		30,8	30,7	30,7	30,6	30,5	29,8	29,2	28,8	28,5	28,1
I (A)		6,58	6,58	6,59	6,59	6,61	6,62	6,63	6,64	6,65	6,66
P (W)		202,7	200,6	202,3	201,7	201,6	197,3	193,6	191,2	189,5	187,2

Результаты экспериментов анализировались с помощью программ Microsoft Excel. Графики зависимости ВАХ, мощности и напряжения для дефектной и новой СП компании HANHWA (HSL 250) приведены на рисунках 8-а) и 8-б).

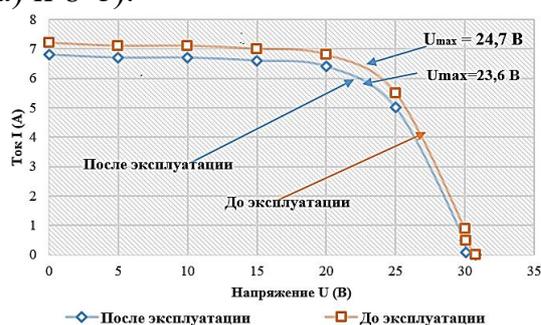


Рис.8-а). ВАХ СП

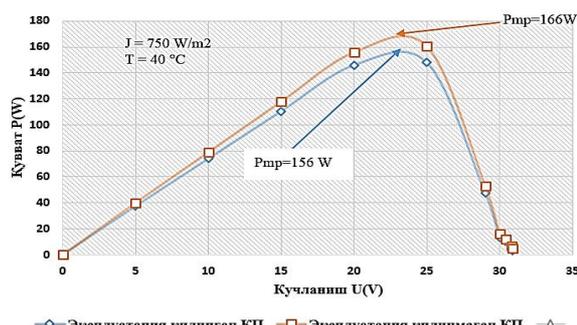


Рис.8-б). зависимость мощности от напряжения СП

Определено, что максимальное напряжение дефектной СП HANHWA (HSL 250), проработавшего 7 лет в реальных климатических условиях, составляет $U_{\text{max(деф.СП)}}=23,6\text{V}$, а максимальное напряжение новой неиспользованной СП $U_{\text{max(нов.СП)}}=24,7\text{V}$. Следовательно, вырабатываемое напряжение $U(\text{V})$ и ток $I(\text{A})$ уменьшились до определенного значения, то есть до 1,1. Для определения зависимости мощности от напряжения измерения проводились

при температуре СП $T=40^{\circ}\text{C}$. Полученные результаты экспериментов показали, что максимальная мощность новой СП составила $P_{\text{max}}=166\text{W}$, максимальная мощность дефектной, т.е. эксплуатированной СП составила $P_{\text{max}}=156\text{W}$. Аналогичным образом были изучены ток короткого замыкания $I_{\text{sc}}(\text{A})$ и напряжение холостого хода $U_{\text{oc}}(\text{V})$, а также вольт-амперные характеристики при интенсивности падения света до СП 550 W/m^2 , 650 W/m^2 и 750 W/m^2 . С увеличением интенсивности светового потока $J(\text{W/m}^2)$, падающей на СП, напряжение холостого хода $U_{\text{oc}}(\text{V})$ значительно уменьшалось, в то время как ток короткого замыкания $I_{\text{sc}}(\text{A})$ незначительно увеличивался. Для приведенных выше значений интенсивности светового потока, выходная мощность $P_{\text{нов}}(\text{W})$ новой СП сравнивалась с выходной мощностью $P_{\text{деф}}(\text{W})$ дефектной СП, проработавшей 7 лет и были обнаружены различия в их рабочих характеристиках. Причина в том, с увеличением температуры $T(^{\circ}\text{C})$ обеих СП, уменьшение выходной мощности $P(\text{W})$ наблюдалась на дефектной СП, что свидетельствует о влиянии процесса деградации на КПД СП.

В четвертой главе диссертации под названием **“Математические методы и модели оценки эффективности и деградации солнечной фотоэлектрической станции”**, с использованием разработанных математических методов представлен корреляционный и регрессионный анализ климатических показателей, влияющих на результативность СФЭС по 2018, 2019, 2020 и 2021 годам. Также представлены математический алгоритм определения коэффициента продуктивности (PR) СФЭС за счет повышения внешней температуры $T_{\text{сред}}(^{\circ}\text{C})$ и блоки математического алгоритма определения деградационных процессов, происходящих в СП. Рассчитаны контрольное (Y_r) и конечное (Y_f) часы производства СФЭС, а также значения коэффициента производства электроэнергии (PR). Результаты эксперимента были смоделированы в Matlab/Simulink для определения адекватности.

С учётом изменения 5 климатических показателей за 2020 год сформировалась следующая функция, выражаемая 5 неизвестными:

$$W(Y) = f(X_1(I), X_2(T), X_3(P), X_4(V), X_5(\phi)); \quad (9)$$

здесь, $W(Y)$ –Значение электроэнергии, выработанной СФЭС, W (кВт·ч); X_1 –солнечное излучение Вт/м^2 , X_2 –температура внешней среды, $T_{\text{сред}}(^{\circ}\text{C})$; X_3 – атмосферное давление, $P(\text{kPa})$; X_4 – скорость ветра, V (м/с); X_5 –влажность атмосферы, ϕ (%).

Из формулы (9) уравнение линейной регрессии с 5 неизвестными может быть выражено следующим образом:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 \quad (10)$$

здесь, $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ – неизвестные числа.

В таблице 3 представлена матрица корреляции для 5 неизвестных переменных с использованием климатических показателей на 2020 год.

Корреляционная матрица для 4 неизвестных переменных факторов

	У	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
У	1					
X ₁	0,816787	1				
X ₂	0,87835	0,981535	1			
X ₃	-0,82328	-0,95866	-0,94387	1		
X ₄	0,89247	0,894261	0,923083	-0,9171	1	
X ₅	-0,85427	-0,94149	-0,96191	0,886468	-0,91111	1

Из таблицы 3 известно, что коэффициент корреляции связи между величинами вырабатываемой на СФЭС $W(Y)$ электрической энергии и температурой $T(X_1)$ внешней среды равен 0,8783, аналогично, коэффициент корреляции скорости ветра $V(X_3)$ равен 0,8924, чем ближе эти числа к единице, тем выше связь между величинами. Регрессионная модель корреляции между значениями произведённой в 2020 году электроэнергии $W(Y)$ и внешней температурой $T_{сред}(X_1)$ и динамика производства электроэнергии СФЭС в зависимости от изменения $T_{сред}(^{\circ}C)$ представлены на рисунках 9-а) и 9-б).

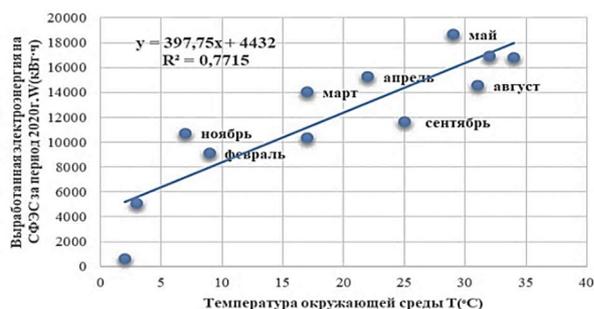


Рис.9-а). Регрессионная модель



Рис.9-б). Динамика производства электроэнергии СФЭС

На рисунке 9-а) точки, расположенные над прямой линией, указывают на то, что в течение этих месяцев СФЭС работал эффективно, а точки, расположенные под прямой линией, указывают на не эффективную работу СФЭС. Прямая линия показывает средние значения производства в этом году. Уравнение прямой линии с одним неизвестным равно $y = 397,75 \cdot x + 4432$, а коэффициент детерминации равен $R^2 = 0,7715$. Если коэффициент детерминации равен или близок к единице $R^2 \approx 1$, то зависимость величин вырабатываемой электрической энергии $W(Y)$ и внешней температуры $T_{сред}(X_1)$ высокая. По результатам исследований установлено, что внешняя температура $T_{сред}(^{\circ}C)$ и скорость ветра $V(\text{м/с})$ прямо пропорциональны, а атмосферное давление $P(\text{кПа})$ и влажность воздуха ϕ (%) обратно пропорциональны производительности СФЭС. Уравнение регрессии 5-х неизвестных переменных выражается следующим образом.

$$Y = 98385,07 - 23,21X_1 + 715,0X_2 - 998,0X_3 + 3666,09X_4 + 3,2X_5 \quad (11)$$

Аналогичные анализы, проведенный за 2018, 2019, 2020 и 2021 годы,

показали, что СФЭС работает эффективнее в первом полугодии по сравнению со вторым полугодием. По результатам исследований был разработан математический алгоритм, выражающий зависимость коэффициента продуктивности (PR)СФЭС от внешней температуры $T_{\text{среда}}(^{\circ}\text{C})$ (рис. 10).

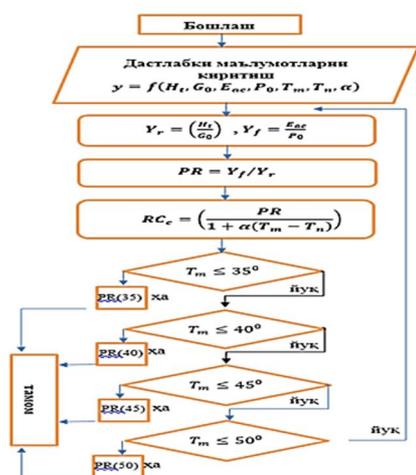


Рис. 10. Блок математического алгоритма

Программа дает возможность определить, какой процент солнечного света, попадающего на СФЭС, преобразуется в электрическую энергию на СП, а также повысить эффективность производства электроэнергии на СФЭС за счет изменения их температуры и сезонного расположения относительно горизонта. Коэффициент выработки СФЭС – это величина, показывающая, насколько он близок к выработке в идеальных условиях и процессе реальной эксплуатации.

Аналогичным образом был разработан математический алгоритм определения скорости процессов деградации в СП с учетом внешних и внутренних факторов. Программа в основном определяет скорость деградационных процессов в СФЭС с учетом внешних и внутренних факторов. Благодаря этим результатам можно предотвратить и уменьшить процессы деградации и повысить производительность СП. Используя формулы (1) – (8), приведенные выше, в программном обеспечении Matlab/Simulink смоделированы сила тока $I(A)$, напряжение $U(V)$ и мощность $P(W)$ с учетом изменений. (рис. 11).

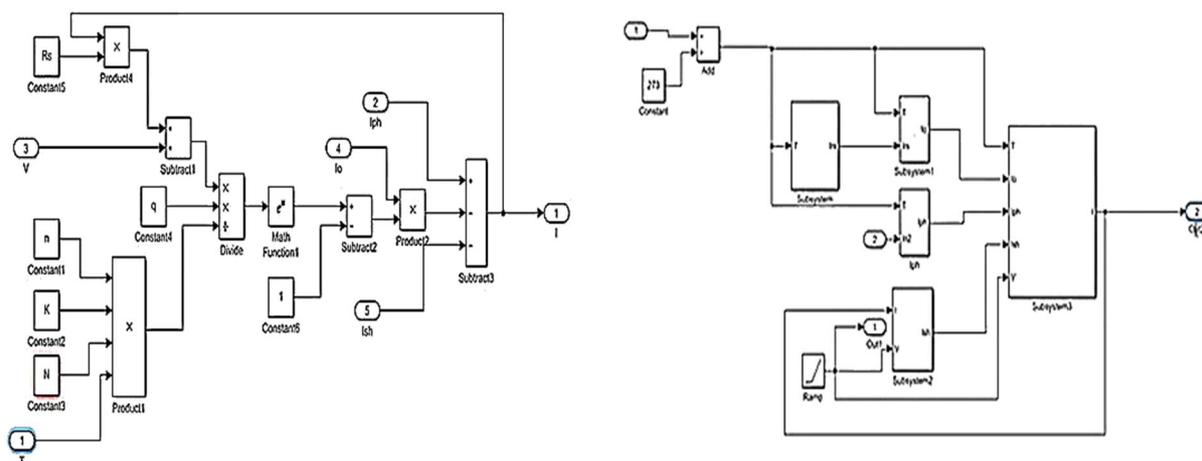


Рис. 11. Моделирование в Matlab/Simulink

На рисунке 12 представлены ВАХ, полученные в Matlab/Simulink для случаев, когда интенсивность излучения (G), падающая на СП, составляет 550 W/m^2 , 650 W/m^2 и 750 W/m^2 , а также на рисунке 13 даётся зависимость выходной мощности $P(W)$ от напряжения $U(V)$.

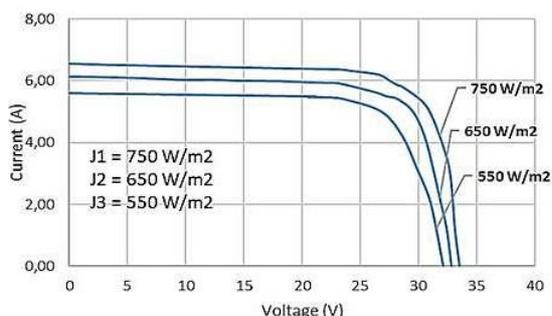


Рис.12. ВАХ моделирования СП

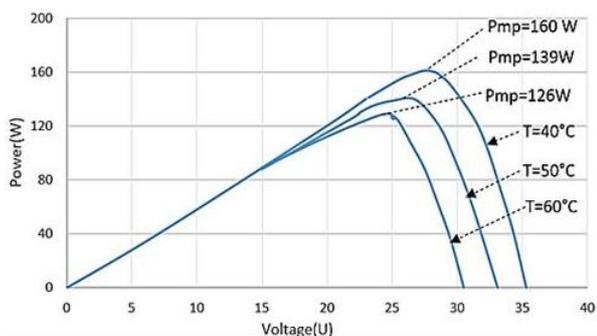


Рис.13. Зависимость выходной мощности от напряжения

Таким образом, было показано, что можно исследовать температуру и выходные параметры СП в программе Matlab/Simulink за счет изменения интенсивности света, падающего на СП. При сравнении результатов моделирования с результатами экспериментальных испытаний разница не превысила 4%.

На рисунке 14 показано, что средние значения эталонной выработки (Y_r) и конечной выработки (Y_f) за исследуемый период составляют 4,12 часа и 3,67 часа соответственно (Рис.14). Аналогичным образом установлено, что значения среднего изменения производственных коэффициентов (PR) СФЭС по годам составляют 80,74% - 87,25%, а коэффициент эффективности за 2020 год равен 93% (Рис.15).

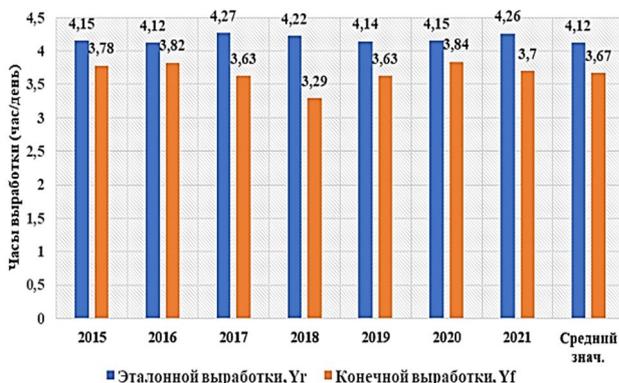


Рис.14. Часы эталонной (Y_r) и конечной (Y_f) выработки.

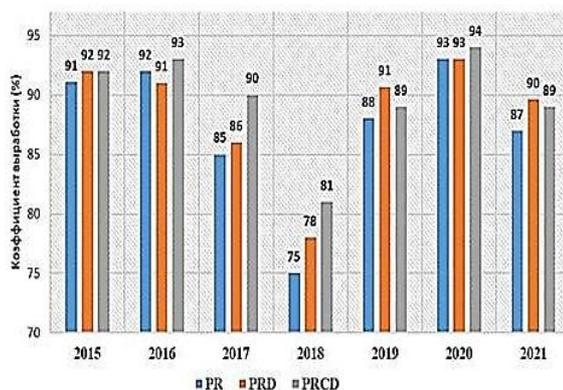


Рис.15. Изменение коэффициента выработки.

Сравнение показателей коэффициента выработки (PR), эталонное (Y_r) и итоговое (Y_f) производственные часы работы СФЭС Пап-Наманган с показателями СФЭС Европы и Азии приведены в таблице 4. В Италии (Сардиния) коэффициент выработки СФЭС за один год (PR) составил 83,20%, в то время как в Испании II и Испании III коэффициенты выработки (PR) составили 85,08% и 80,96% соответственно, а во Франции (Сурдун) составляет 87,18%.

В данном случае разница между эталонным (Y_r) и окончательным (Y_f) производственными часами составила 1,04 часа в Испании, 0,59 часа во Франции и 0,45 часа в Узбекистане. Следовательно, эффективность выработки СФЭС во Франции более высокое по сравнению с Испанией.

4-таблица

Коэффициенты выработки СФЭС Европейских и Азиатских стран

Страна	Период исследования (год) / макс. мощность	Технология	PR (%)	Диапазон значений для PR (%)	U_T (день/час)	U_T (день/час)	Ссылка
Сардиния, Италия	1 год 300 кВт	p-Si	83.20	от 74.81 до 89.93	-----	-----	(Ghiani ва б., 2013)
Испания II	3 года 4,6 МВт	p-Si	84.96	от 83.56 до 87.12	7.25	6.16	(Martín-Martínez ва б., 2019)
Испания III	3 года 370 кВт	p-Si	80.95	От 80.39 до 81.43	5.46	4.42	(Martín-Martínez ва б., 2019)
Сурдун, Франция	7 лет 4,5 МВт	p-Si	87.9	От 84.12 до 90.54	3.92	3.33	Mohamed El Hacen ва б., 2018)
Поп-Наманган Ўзбекистон	7 лет 130 кВт	p-Si	89,1	От 75.85 до 93.28	4.12	3.67	Результаты исследования

Таким образом, установлено, что эффективность выработки СФЭС в климатических условиях Узбекистана высока относительно Испании и Франции.

На рисунке 16 представлены показатели деградации СФЭС Пап-Наманган по сравнению с СФЭС других Европейских и Азиатских стран. В Испании II показатель деградации составила 0,721%, так как СФЭС проработала 10 или более лет, а в Испании III составила 0,18% за год, в течение более 3 лет работы, несмотря на то, что в Джибути тропический пустынно-морской климат, скорость деградации в год составила 0,186%.

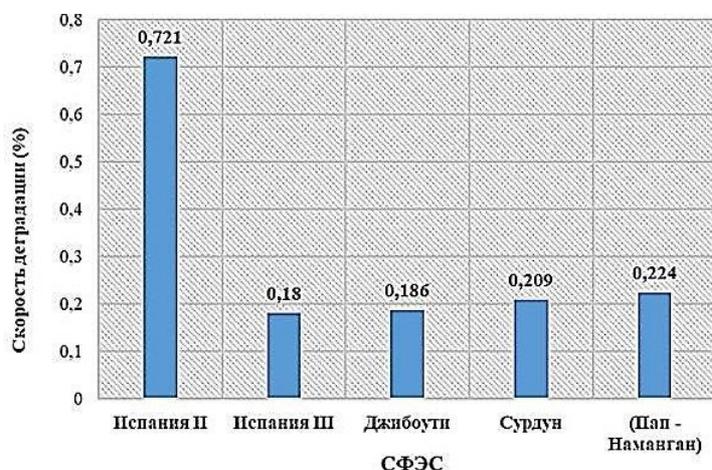


Рис.17. Диаграмма сравнения степени деградации

В другом исследовании, проведенном в странах с умеренным климатом, скорость деградации СФЭС во Франции (Сурдэн) составила 0,209% в год. Таким образом, было установлено, что скорость деградации СФЭС Пап-Наманган в период с 2015 по 2021 год составляет в среднем 0,224% в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования по теме “Исследование выходных характеристик и процессов деградации солнечных панелей в климатических условиях Узбекистана” были представлены нижеследующие выводы:

1. В целях повышения эффективности производства СФЭС в климатических условиях Узбекистана определены сезонные закономерности изменения климата и суточные, месячные и годовые режимы производства.

2. Корреляционным и регрессионным методами определены внешние и внутренние факторы, влияющие на эффективность производства СФЭС.

3. Разработаны универсальный алгоритм и программа для ЭВМ, позволяющая определять коэффициент выработки электроэнергии СФЭС с учетом интенсивности света и температуры внешней среды.

4. Было установлено, что за 7 лет эксплуатации СФЭС Пап-Наманган максимальная выработка электроэнергии была в 2020 году (143871кВт.час), а минимальная - в 2018 году (127468 кВт.час) и эффективность выработки снизилась на 2,2% за период 2015-2021 годов.

5. Разработаны универсальный математический алгоритм и программа для ЭВМ, определяющий скорость течения процессов деградации СП с учетом внешних и внутренних факторов.

6. В программе Matlab/Simulink смоделировано изменение выходного тока, напряжения и выходной мощности в зависимости от температуры СП за счет изменения интенсивности света, падающего на СП. При сравнении результатов моделирования с результатами экспериментальных испытаний разница не превысила 4%.

7. В результате повышения температуры солнечных панелей в жаркие дни в климатических условиях Узбекистана было обнаружено появление дефектов на поверхности солнечных панелей компании HANHWA, что представляет собой процесс деградации.

8. В СФЭС Пап-Наманган было установлено, что эталонная (Y_r) и конечная (Y_f) время выработки в период исследования составляли в среднем 4,12 часа и 3,67 часа в год соответственно, а коэффициент выработки (PR) варьировался в пределах 87,24%-93,58%, а также определено, что значение деградация СФЭС в период с 2015 по 2021 год составил в среднем 0,224% в год.

9. По результатам научных исследований разработаны инструкции и рекомендации по устранению факторов, приводящих к раннему процессу деградации и улучшению показателей выходных параметров СП СФЭС. За счет применения этих научных результатов на СФЭС Пап-Наманган производство электроэнергии увеличилось на 8%, за счет чего достигнут реальный экономический эффект в размере 62,429 млн. сумов.

**ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN
INSTITUTE OF ENERGY PROBLEMS GRANT OF SCIENTIFIC DEGREES
IN THE PRESENCE DSc.02/30.12.2021.T.143.01
DIGITAL SCIENTIFIC COUNCIL**

GULISTAN STATE UNIVERSITY

KOMILOV MIRZIYO MIRKAMOLOVICH

**STUDY OF OUTPUT CHARACTERISTICS AND DEGRADATION
PROCESSES OF SOLAR PANELS IN THE CLIMATIC CONDITIONS OF
UZBEKISTAN**

05.05.01 – Energy systems and complexes

**ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2024

The topic of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences is registered with Higher Attestation Commission under the Ministry Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under the number №B2023.2.PhD/T2683.

Dissertation has been prepared at the Gulistan State University.

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

Scientific supervisor: **Odamov Umarbay Omonovich**
candidate of technical sciences, senior researcher

Official opponents: **Zokhidov Roman Abdullaevich**
doctor of technical sciences, professor, academician

Izzatillaev Jurabek Olimjonovich
doctor of philosophy in engineering sciences, (PhD)

Leading organization: **Karshi Engineering and Economic Institute**

The defense will take «___» _____ 2024 y. in _____ at the meeting of Scientific Council DSc 02/30.12.2021.T.143.01 at the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan. (Address: 100076, Tashkent, Mukhtor Ashrafiy street 1-way, 9-A. Tel.: (99871) 283-23-08; fax: (99871) 283-23-08; e-mail: energetika_in@umail.uz.)

The dissertation is available at the Information Resource Centre of the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Registration number _____). (Address: 100076, Tashkent, Mukhtor Ashrafiy street 1-way, 9-A. Tel.: (99871) 283-23-08; fax: (99871) 283-23-08.)

Abstract of the dissertation was distributed on «___» _____ 2024 year.
(mailing report № «___» on «___» _____ 2024 year).

Kh.M. Muratov

Chairman of the Scientific Council for the award of scientists degrees, Doctor of technical sciences, Professor

J.N. Tolipov

Scientific secretary of the scientific council for awarding scientific degrees, Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Senior researcher

O.Kh. Ishnazarov

Scientific Secretary of the Scientific Council for the Award of Scientistsdegrees, Doctor of technical sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The purpose of the study is to study changes in the output characteristics of solar panels during the operation of solar photovoltaic stations in the climatic conditions of Uzbekistan, as well as degradation processes occurring under the influence of external and internal factors. (Using the climate of the Fergana Valley as an example).

Tasks of the research:

analysis of the current situation, prospects and problems of using solar photovoltaic stations;

analysis of daily, monthly, annual modes of electricity generation from solar photovoltaic stations in the climatic conditions of Uzbekistan;

determination of effective operating time taking into account the output parameters of solar panels, current-voltage and voltage-power characteristics, coefficient of performance (efficiency) and patterns of their seasonal changes in real climatic conditions;

external factors influencing the efficiency of SPVS production: determining the influence of environmental temperature, wind speed, atmospheric pressure and humidity using methods of correlation and regression analysis and developing mathematical methods for determining their influence taking into account seasonal changes in climatic conditions;

determination of the rate of degradation of solar panels produced by the companies "HANHWA", "JSPV", "S_ENERGY" and "TOPSUN" installed on SPV, by visual observation, determination of heating zones using a thermal imager, thermocouple power equipment, measurement of current-voltage, volts - power characteristics and analysis of production coefficient;

improvement of methods for determining the output indicators of solar panels and their degradation processes based on modeling in the Matlab/Simulink program;

The object of the study is a test solar photovoltaic station with a capacity of 130 kW, built in the Pap district of the Namangan region and its solar panels from the companies: "HANHWA", "JSPV", "S_ENERGY" and "TOPSUN".

Subject of the research is studying the patterns of changes in the output characteristics of solar panels during the operation of solar photovoltaic stations in the climatic conditions of Uzbekistan, studying degradation processes occurring under the influence of external and internal factors.

Research methods. During the research process, analytical and experimental methods were used: correlation and regression analysis, mathematical statistics, mathematical modeling and multivariate regression analysis.

Scientific novelty of the research consists in the following:

the algorithm has been developed for optimizing control modes of power transmitted to the network, taking into account the regularities of changes in electrical energy production by solar photovoltaic stations;

the mathematical model has been developed for determining the energy efficiency of solar photovoltaic stations, taking into account climatic conditions which affect their output parameters;

the methodology for assessing the energy efficiency of solar panels has been

improved, taking into account changes in their current-voltage, voltage-power characteristics and efficiency factors in real climatic conditions during operation;

the algorithm has been created that allows to evaluate the operating efficiency of solar photovoltaic stations, based on data of the output characteristics of the solar panel, its degradation processes and determining the performance coefficient.

The practical result of the study is as follows:

the production efficiency of solar photovoltaic plants and their control modes have been optimized taking into account seasonal climate changes;

equations were created to calculate the pattern of changes in the efficiency of a solar photovoltaic station, taking into account the influence of external and internal factors based on correlation and regression methods;

an algorithm has been developed for determining production coefficients and output parameters of solar photovoltaic stations;

methods have been developed for determining the rate of degradation processes occurring in solar panels under the influence of external and internal factors, and recommendations for their prevention.

Implementation of the research results. Based on the scientific results obtained on the study of the output characteristics and degradation processes of solar panels:

recommendations on increasing the power efficiency of solar photoelectric plants and optimizing their operating modes, taking into account seasonal climate changes, were introduced to the "Namangan-Pop Solar Photoelectric Plant" ("Regional Grids" Joint Stock Company of the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan No. 01 dated September 13, 2023 Reference No. 03-42/948). As a result, the efficiency of power generation increased by 138732,2 kWh per year.

taking into account the influence of external and internal factors, recommendations were introduced to improve the output characteristics of solar photoelectric power plants and prevent degradation processes occurring in them ("Regional Grids" Joint Stock Company of the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan No. 01 dated September 13, 2023 Reference No. 03-42/948). As a result, the annual economic efficiency is 62,429,400 (sixty two million four hundred twenty nine thousand four hundred) soums.

Approval of the results of the study. The results of the research were presented and discussed at 8 scientific and technical conferences, including 2 international and 6 national scientific and practical conferences.

Publication of the research results. A total of 22 scientific works on the topic of the dissertation, of which 7 articles were published in scientific journals recommended for publication of the main scientific results of doctoral dissertations of the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan, including 4 articles in republican scientific journals and 3 articles in foreign journals. 1 article was published at scientific conferences included in the Scopus database. 2 Certificates for Electronic computer programs were received from the Intellectual Property Agency under the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan.

Structure and scope of the thesis. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The length of the dissertation is 116 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Одамов У.О., Комилов М.М., Ниязов Ш.К., Кутлимратов А. Анализ деградации и изменения производительности солнечной фотоэлектрической станции Пап-Наманган // Международный журнал Гелиотехника. Ташкент. Физико-технический институт, 2023. ISSN 0130-0997 Том 59, № 3-4, С. 218-232 (05.00.00; №1).

2. Одамов У.О., Комилов М.М. Регрессионный анализ климатических показателей, влияющих на производительность солнечной фотоэлектрической электростанции // Проблемы энерго-и ресурсосбережения. Ташкент. ISSN (print) 2091-5985. Спец.номер №84/2023, С.351-359. (05.00.00; №21).

3. Odamov U.O, Komilov M.M. Assessment of the degradation process of solar photovoltaic plants in the climatic conditions of Uzbekistan // Scientific and Technical Journal Namangan Institute of Engineering and Technology, Volume 8 Issue 4 2023 ISSN 2181-8622. -P 68-75.(05.00.00; №33).

4. Odamov U.O., Komilov M.M., Niyazov S.K., Kutlimratov A. Investigation of the effect of changes in the temperature of the solar panel on the output parameters // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology -India, ISSN: 2350-0328, Vol. 10, Issue 3, March 2023, P.20435-20440. (05.00.00; №8).

5. Odamov U.O., Komilov M.M., Kutkimratov A. Mathematical modeling of parameters of solar panels for solar photoelectric power with a capacity of 130 kW in the climatic conditions of the Republic of Uzbekistan // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology-India, ISSN: 2350-0328, Vol. 10, Issue 3, March 2023, P.20447-20453. (05.00.00; №8).

6. Odamov U.O., Komilov M.M. Regression analysis of climatic changes affecting the production efficiency of a solar photovoltaic plant // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology -India, Vol. 10, Issue 9, September 2023, ISSN: 2350-0328 P.21041-21048. (05.00.00; №8).

7. Комилов М.М. Ўзбекистоннинг реал иқлим шароитида қуёш панелларида юзага келадиган нуқсонларнинг таъсирини экспериментал тадқиқотлар асосида аниқлаш // Нукус давлат педагогика институти. Фан ва жамият илмий услубий журнали. ISSN2010-720X. №4/2023, 12-15-б. (05.00.00; №37).

II бўлим (II часть; Part II)

8. Odamov.U.O., Komilov M.M. Evaluation of solar panels quality and research of degradation processes in the climate conditions of Uzbekistan // Scinces of Europa. ISSN:3162-2364. №43(43) Vol1 2019. P.62-65.

9. Одамов У.О., Комилов М.М. Ўзбекистон иқлим шароитида қуёш панелларининг техник характеристикаларини ўзгариш жараёнларини ўрганиш // Наманган Давлат Университети илмий ахборотномаси, ISSN:2181-0427, 2020 йил 11 июнь, №6 31-44 б.

10. Odamov U.O., Komilov M.M., Niyazov Sh.K., Kihyun Song. Research of the efficiency of the solar battery operations in real exploitation conditions // Scientific Reports of Bukhara State University, 2021.4(86) P.2-18. DOI:10.52297/2181-1466/2021/5/4/1 April 2021.

11. Одамов У.О., Комилов М.М. Реал эксплуатация шароитида қуёш панелларида юзага келадиган нуқсонларнинг экспериментал тадқиқоти // Наманган Давлат Университети илмий ахборотномаси, ISSN:2181-1458, 2022 йил 11 май №5 10-16 б.

12. Odamov U.O., Komilov M.M., Niyazov Sh. The efficiency of the solar battery operations in real exploitation conditions // AIP Conference Proceedings 2686, 020006 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0113482> Dec 5, (Scopus.com)

13. Комилов М.М. Одамов У.О. Изучение деградации процессов в солнечных элементах // “RENES: Qayta tiklanuvchi energiya manbalari va barqaror atrof-muhit sohasida magitsterlik dasturini ishlab chiqish” loyihasi doirasidagi xalqaro ilmiy-amaliy seminar maqolalari to‘plami. Guliston. 2019 yil 19-21 aprel. 94-99 б.

14. Одамов У.О., Комилов М.М. Наманган вилояти Поп туманидаги 130 кВт ли қуёш фотоэлектрстанциянинг мавсумий иқлим шароитларида техник характеристикаларини ўрганиш // “Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы” Сборник материалов международной онлайн конференции -Ташкент. 2020 г. 13 май. С.207-218

15. Одамов У.О., Комилов М.М. Монокристал ва поликристал қуёш панелларининг эксплуатация шароитида техник ҳолатларини таққослаш ва деградация жараёнлари аниқлаш // “Қайта тикланадиган энергия манбалари: илмий тадқиқотлар, инновацион технологиялар ва ишланмалар”. Республика илмий-амалий анжумани материаллари тўплами, Қарши шаҳри, 2020 йил 16-17 октябрь 47-50 б.

16. Odamov U.O., Komilov M.M., Niyazov Sh.K. Analysis of electric power generation and degradation processes of solar panels under climatic conditions of Uzbekistan // “Янги материаллар ва гелиотехнологиялар”. Халқаро илмий конференция тезис ва маърузалари тўплами Ўзбекистон. Паркент ш. 2021 йил 20-21 май. 149-152 б.

17. Одамов У.О., Комилов М.М. Хамраев С.И. Оценка деградации фотоэлектрических модулей на основе кристаллического кремния после нескольких лет эксплуатации в реальных условиях // Сборник трудов международной конференции «Энерго-и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и инновационные подходы», Карши 24-25 сентября 2021 г. С.319-324.

18. Комилов М.М. Қуёш панелларининг чиқиш характеристикаларига таъсир этувчи омилларни ўрганиш ва аниқлаш // Яримўтказгичли микроэлектроника, нанотехнологиялар ва ноанъанавий энергия манбалари физикасининг долзарб муаммолари” мавзусидаги Республика илмий–амалий анжумани Андижон шаҳри 2021- 7-8-октябрь йил. 108-109-б.

19. Одамов У.О., Комилов М.М., Матрзаев Г.Р. Анализ снижения фотоэлектрических характеристик солнечных панелей на основе поликристаллического кремния в эксплуатации реальных условиях // Наука, Инновации, образование: Актуальные вопросы XXI века. Сборник статей VI международной научно-практической конференции, состоявшейся 30 августа 2023г.г. Пенза, С.70-76.

20. Одамов У.О., Комилов М.М., Матрзаев Г.Р. Регрессионный и корреляционный анализ внешних факторов, влияющих на производительность солнечной фотоэлектрической электростанции // Наука, Инновации, образование: Актуальные вопросы XXI века. Сборник статей VI международной научно-практической конференции. 30 августа 2023 г. Россия, г. Пенза. С. 63-69.

21. Odamov U.O., Komilov M.M. “Quyosh panellarining degradatsiya jarayoni ketish tezligini tashqi va ichki omillarni hisobga olgan holda aniqlash” nomli EHM uchun dastur // O‘zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. DGU raqami № DGU 22567, 27.02.2023.

22. Odamov U.O., Komilov M.M. “Quyosh fotoelektrstantsiyasining elektr energiyani ishlab chiqarish koeffitsientini tashqi va quyosh paneli temperaturasini hisobga olgan holda aniqlash” nomli EHM uchun dastur // O‘zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. DGU raqami № DGU 22568, 27.02.2023.

