

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҚОШИДАГИ
ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ ВА МИКРОЭЛЕКТРОНИКА
ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.FM/Т.01.12 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

ЗОКИРОВ САНЖАР ИКРОМЖОН ЎҒЛИ

**ТАНЛАНГАН НУРЛАНИШДА ИШЛОВЧИ
ФОТОТЕРМОГЕНЕРАТОРНИНГ ОПТИК ВА ФОТОЭЛЕКТРИК
ХУСУСИЯТЛАРИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**

01.04.10 – Яримўтказгичлар физикаси

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

Тошкент - 2022

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

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

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

Зокиров Санжар Икромжон ўғли

Танланган нурланишда ишловчи фототермогенераторнинг оптик
ва фотоэлектрик хусусиятларини тадқиқ қилиш. 3

Зокиров Санжар Икромжон угли

Исследование оптических и фотоэлектрических параметров
фототермогенераторов, работающих при селективном излучении ... 21

Zokirov Sanjar Ikromjon ugli

Investigation of the optical and photoelectric parameters of
photothermogenators operating in selective radiation..... 39

Эълон қилинган илмий ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 43

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҚОШИДАГИ
ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ ВА МИКРОЭЛЕКТРОНИКА
ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.FM/Т.01.12 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

ЗОКИРОВ САНЖАР ИКРОМЖОН ЎҒЛИ

**ТАНЛАНГАН НУРЛАНИШДА ИШЛОВЧИ
ФОТОТЕРМОГЕНЕРАТОРНИНГ ОПТИК ВА ФОТОЭЛЕКТРИК
ХУСУСИЯТЛАРИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**

01.04.10 – Яримўтказгичлар физикаси

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

Тошкент - 2022

Техника фанлари бўйича филозоф доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.4.PhD/Г2437 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Фарғона политехника институтини бажаришган.

Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саноҳида (isrtm.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот-таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: Қасимахунова Анархан Мамасадиковна
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оponentлар: Мамадалимов Абдуғафур Тинчабаевич
физика-математика фанлари доктори, академик

Тагаев Марат Баймуратович
техника фанлари доктори, профессор

Етабчи ташкилот: Тошкент давлат техника университети

Диссертация ҳаммаси Ўзбекистон Миллий университети ҳолатдаги Яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий-тадқиқот институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «09» 03 соғи 12-02 даги мажлисида бўлиб ўтган. (Манзил: 100057, Ўзбекистон, Тошкент ш., Янги Олмазор кўчаси, 20-уй, Тел.: (+99871) 248-79-94, факс: (+99871) 248-79-92, e-mail: info@isrtm.uz)

Диссертация билан Ахборот технологияларини жорий этиш бўлимида танишиш мумкин. 37 рақам билан рўйхатга олинган. Манзил: 100057, Ўзбекистон, Тошкент шаҳри, Янги Олмазор кўчаси, 20-уй. Тел.: (+99871) 248-79-59, e-mail: info@isrtm.uz).

Диссертация автореферати 2022 йил «24» 02 кунги тарқатилди.
(2022 йил «24» 02 даги 37 рақамли реестр боёниюмаси).



Ш.Б. Утамурадова
Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш раиси, ф.-м.ф.д., профессор

Ж.Ж. Хамдамов
Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш илмий котиби, PhD

Х.К. Аринов
Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш қотибдаги илмий семинар
раиси, ф.-м.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Ҳозирги даврда жаҳон амалиётида энергетиканинг истиқболли йўналишларидан бири яримўтказгичли материаллардан тайёрланган фотоэлектрик ўзгартиргичлар (ФЭЎ) ёрдамида қуёш энергиясини электр энергиясига айлантиришдир. Кремний, германий каби яримўтказгич материаллар асосида яратилган фотоэлектрик ўзгартиргичларни тайёрлаш технологияси, нисбатан содда ва таннархи арзонроқ бўлса-да, уларнинг фойдали иш коэффициентлари талаб даражасида эмас. Фойдали иш коэффициентлари нисбатан юқори бўлган фотоэлектрик ўзгартиргичларни ишлаб чиқариш эса, иқтисодий жиҳатдан қимматроқ ва технологик жиҳатдан мураккабдир. Шу сабабли, қуёш энергиясини электр энергиясига айлантиришнинг иқтисодий самарали, технологик содда ва унумли йўллари ишлаб чиқиш муҳим аҳамиятга эга.

Дунё миқёсида бу борада олиб борилаётган ишларнинг кўп қисми қуёш элементларини тайёрлаш технологиясини такомиллаштириш, материал таркибига турли қиришмалар қириштириш орқали қуёш элементлари учун қўлланган материалларнинг электрофизик хусусиятларини яхшилаш, шунингдек, уларнинг фойдал иш коэффициентларини оширишга бағишланган. Гетероўтишли ва каскадли қуёш элементларини юқори самарадорликка эга фото ва термоэлементлар асосида мужассамлашган тузилмаларни яратиш ишлари олиб борилмоқда. Бугунги кунда қуёш элементларининг дунё миқёсида кенг қўламда қўлланишига тўсиқ бўлаётган омил - яримўтказгичлар электрофизик хусусиятларининг ҳароратга боғлиқлиги ва энергия исрофининг салмоқли эканлигидир. Шундан келиб чиқиб, ушбу жараёнларни бартараф этувчи қурилмаларни яратиш масаласи долзарб ҳисобланади.

Республикамизда турли конструктив тузилишга эга қуёш панеллари ва уларнинг эксплуатацион характеристикаларини яхшилаш устида доимий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ҳозирда мамлакатимизда қуёш электр ўзгартиргичлари асосида қуёш коллекторлари ва термоэлектрик ўзгартиргичлар билан бириккан гибрид тизимлар яратиш соҳаси кенгаймоқда. Мазкур йўналишда фототермоўзгартиргичлар (ФТЎ)нинг мавжуд лойиҳаси такомиллаштирилиб, юқори самарадорликка эга, модернизацияланган танланган нур фототермогенераторларини (ТНФТГ) яратиш муҳим илмий аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012 сонли «2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида»ги, 2017 йил 13 февралдаги ПҚ-2772-сонли "2017-2021 йилларда электротехника саноатини бошқаришни янада такомиллаштириш, уни жадал ривожлантириш ва диверсификациялаш чора-тадбирлари тўғрисида"ги ва 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422-сонли «Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия

самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чоратадбирлари тўғрисида”ги қарорлари, шунингдек, ушбу соҳада қабул қилинган бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг III. «Энергия, энергия ресурсларини тежаш, транспорт, машинасозлик ва асбобсозлик; замонавий электроника, микроэлектроника, фотоника, электрон асбобсозликни ривожлантириш» устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Фототермогенераторлар ёрдамида қуёш энергиясини электр энергиясига айлантириш масаласи дастлаб россиялик олимлар Б. В. Тарнижевский, Э. К. Иорданишвили, ўзбекистонлик олима А. М. Касимахуновалар томонидан ўрганилган. Кейинги олиб борилган тадқиқотлар, фото ва термобатарейаларни танлаб олиш йўли билан яхши тавсифларга эга бўлган фототермобатарейалар олиш мумкинлигини кўрсатган.

Дунё миқёсида Э. С. Керн ва М. С. Рассел гибрид тизимларнинг асосий тузилмаларини таснифлаб бердилар. Италиялик олимлар гуруҳи Ф. Аттивиссимо бошчилигида фото ва термоэлектрик модулларнинг иқтисодий самарадорлигини ҳисоблаш устида иш олиб борган. Р. М. Свансон томонидан қайта тикланувчи иссиқлик двигателлари ва термоэлектрик ўзгартиргичларга эга концентрацияланган нур фотоэлектрик модулларининг самадорлигини оширишга мўлжалланган биринчи термофотоэлектрик (TRPV) ўзгартиргич тизими яратилган. Мексика ва Россия давлатлари олимлари Э.А.Чавез-Урбиола, Ю.В. Воробев ва Л.П. Булатлар томонидан эса концентраторсиз ва концентраторлардан фойдаланувчи тўрт хил конструкцияли гибрид тизимлар таклиф этилган. Хитойлик олимлар В. Панг ва бошқалар таркибидаги фото ва термоэлементлар каскад шаклида жойлаштирилган фототермогенераторларнинг бир неча намуналарини лойиҳалашган.

Ўзбекистонда ушбу соҳада илмий-тадқиқот ишлари дастлаб профессор А.М. Касимахунова томонидан амалга оширилган ва ҳозирга қадар каскадли, икки томонлама сезувчан, танланган нур фототермогенераторларининг турли намуналари яратилган ҳамда амалда татбиқ қилинган. Бундан ташқари, академик С.М. Саидов, М.Н. Турсунов бошчилигида амалий ва фундаментал илмий-тадқиқот ишлари олиб борилган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасаси илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация Фарғона политехника институтида ОТ-Ф-3-19 «Энергия ўзгартиришнинг иссиқлик циклларига асосланган қуёш энергетик қурилмалари учун янги типдаги параболоцилиндрик концентраторларининг модул тизимларини яратиш бўйича фундаментал тадқиқотларни ривожлантириш» номли илмий лойиҳа ва "Электрошок" МЧЖ билан ўзаро имзоланган 6-20-сонли хўжалик шартномаси асосида (03. 16. 20 йилдаги

6-сонли НИС буйруғи) "Фототермоэлектрик батареясини ишлаб чиқиш" мавзуси устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади кўзғалувчан тирқишли химоя блокига эга танланган нур фототермогенератори таркибидаги яримўтказгичли фотоўзгартиргичнинг оптик ва фотоэлектрик параметрларини тадқиқ қилишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

яримўтказгичли селектив нур фототермогенераторининг оптик параметрларини тадқиқ этиш учун курилманинг модернизацияланган моделини яратиш;

яримўтказгичли фототермогенератор учун куёш трекерини ишлаб чиқиш; фотоўзгартиргич юзасига ёруғлик нурининг тушиш бурчаги қийматига боғлиқ равишда, юзага келувчи энергия йўқотилиш миқдорини аниқлаш учун аналитик формулани такомиллаштириш;

яримўтказгичли танланган нур фототермогенераторининг фотоэлектрик қисмини электро-физик параметрларини рақамли технологиялар ёрдамида тадқиқ қилиш алгоритмининг оптималлаштириш;

намунавий фотоэлемент учун фотоактив бўлган спектрал ораликни автоматик танлаш технологиясини ишлаб чиқиш.

Тадқиқот объекти сифатида BiTeSb/BiTeSe асосидаги уч бирикмали яримўтказгичли материаллардан тайёрланган термоэлементлар ҳамда кремнийли яримўтказгичлардан тайёрланган фотоэлементлар намуналари олинди.

Тадқиқот предметини танланган ёруғлик нури таъсирида фототермогенератор таркибидаги фотоэлементларда рўй берувчи оптик ва фотоэлектрик ходисалар, шунингдек, фотоэлементлар электрофизик параметрларининг функционал боғлиқликлари ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Тадқиқот жараёнида ёруғлик нурини Черни-Тернер схемаси ёрдамида спектрларга ажратиш технологияси, турли ёритилганлик шароитларида спектрал сезувчанликни ўлчаш усуллари, яримўтказгич материалларни тадқиқ қилишнинг оптик-спектрал усуллари, вольт ампер характеристикани таҳлил қилишнинг замонавий усуллари, шунингдек, яримўтказгичдаги физик жараёнларни математик ҳисоблаш ва компьютерда моделлаштириш усулларидан фойдаланилди.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

биринчи марта селектив нур фототермогенератори учун кўзғалувчан тирқишли химоя блоки яратилди ва Si асосидаги куёш панелининг фойдали иш коэффициентини 6-7% дан 15-16% га оширишга эришилган;

фототермогенератор учун ишлаб чиқилган куёш трекеридан фойдаланиш натижасида фотоэлементнинг энергия ишлаб чиқариш имкониятидан фойдаланиш самарадорлиги 97,5% гача етиши аниқланган;

ёруғлик нурининг тушиш бурчагига боғлиқ энергия йўқотиш миқдорини аниқлаш учун ишлаб чиқилган формуладан фойдаланиш фототермогенераторнинг куёш нурлари тушиш бурчагига нисбатан оптимал созлаш имконини берган;

танланган нур фототермогенератори фотоэлектрик қисмининг электрофизик параметрларини тадқиқ қилиш учун ишлаб чиқилган дастурий таъминот комплекси, қурилма учун оптимал параметрли яримўтказгичли материаллардан тайёрланган фотоэлементларни танлаш имконини яратган;

илк маротаба фотоэлементни спектрнинг фотоактив соҳасига автоматик жойлаш технологиясини яратилди ва натижада, фотоэлементнинг қизиш вақтини узайтириш ва ҳароратини 37°C дан ортиқ бўлмаган ҳолда сақлашга эришилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари куйидагилардан иборат:

яримўтказгичли фото ва термоэлементлар асосида қўзғалувчан тирқишли химоя блокига эга, танланган нур фототермогенератори яратилган;

ҳаракатдаги ёруғлик манбасидан келаётган нурни фототермогенераторга оптимал бурчак остида тушишини, ёруғлик оқимини спектрал тақсимланган ҳолда фото- ва термоэлементлар юзасига йўналтиришни автоматик таъминловчи тизим ишлаб чиқилган;

стационар ўрнатилган қуёш панеллари оғиш бурчагининг оптимал қийматларини аниқлаш учун аналитик формула ва у асосида, алгоритмик модел такомиллаштирилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги қаттиқ жисмлар физикасининг замонавий назарий ва экспериментал тадқиқ қилиш усулларидан фойдаланилганлиги, экспериментал ва ҳисобланган маълумотларни бошқа муаллифларнинг назарий натижалари билан мувофиқлиги, олинган натижаларнинг замонавий физик моделлар асосида тавсифланганлиги билан асосланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти қуёш нурларини спектрларга ажратиш жараёни, фототермоэлементларнинг спектрал сезгирлиги, яримўтказгичли фотоэлементлар ҳажмида танланган нур таъсирида юзага келувчи жараёнларнинг физик асослари ҳақидаги тасаввурларни аниқлаштириш ва такомиллаштириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти BiTeSb/BiTeSe ва Si асосида тайёрланган қўзғалувчан тирқишли химоя блокига эга фототермогенератор кичик қувватли қуёш электр станцияларини лойиҳалашда қўлланилишидан иборат.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Яримўтказгичли фото- ва термоэлементлар асосида қўзғалувчан тирқишли химоя блокига эга танланган нур фототермогенераторини яратиш натижасида:

тушувчи ёруғлик нурининг, фототермогенератор нормалига нисбатан тушиш бурчаги қийматига боғлиқ равишда, юзага келувчи энергия йўқотилиш фоизини ҳисоблаш учун таклиф қилинган аналитик формула ва у асосида ишлаб чиқилган алгоритмик модели; фото ва термоэлементлардан ташкил топган, танланган нур фототермогенераторинининг оптик параметрларини тадқиқ этиш учун яратилган, имитацион ва амалий моделлари ЎзР ФА «Физика-Қуёш» ИИЧБ Материалшунослик институти тасарруфидаги иссиқлик қуввати 1МВт бўлган ноёб илмий-техник қурилма – Катта Қуёш

сандонининг гелиостат майдонини бошқарув тизимини модернизация қилиш доирасида ИЗ-20170927404 рақамли «Катта Қуёш Печи гелиостат майдонини бошқариш тизимини модернизация қилиш» лойиҳасида қўлланилган. (ЎЗР ФАнинг 18. 11. 2021 йилдаги 2/1255-3213 сонли маълумотномаси). Илмий тадқиқот ишининг натижаларидан фойдаланиш электр токи генерация қилишдаги тафовутлар орқали гелиостатик қуёш ортидан эргашиш аниқлигини баҳолаш имконини берган;

Диссертация ишининг натижалари Фарғона вилоятида «Бувайда туман йўллардан фойдаланиш унитар корхонаси»да жорий этилди. Унда қўзғалувчан тирқишли химоя блокига эга, селектив нурда ишлашга мўлжалланган фототермогенератори кўринишидаги, қуввати 100 Вт.гача бўлган мобил ёритиш тизимининг электр манбаини қувватлаш воситаси сифатида қўлланган (ЎЗР АЙ қўмитасининг 27.09.2021 йилдаги 02-3756 сонли маълумотномаси). Илмий тадқиқот ишининг натижаларидан фойдаланиш кунлик ф.и.к. 6-7 % ни ташкил этувчи MSM12-700 қуёш модулининг кунлик ўртача ф.и.к. ни 15-16 % га етказиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация ишининг натижалари 9 та халқаро ва 7 та республика илмий-амалий анжуманларда маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 32 та илмий иш, жумладан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиши тавсия этилган халқаро илмий нашрларда 6 та ва республика нашрларида 6 та илмий мақола, шунингдек, 1 та монография чоп этилган. 1 та халқаро муаллифлик ҳуқуқи гувоҳномаси, ЭХМлар учун 2 та дастурий маҳсулотга гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 44 та расм, 7 та жадвални ўз ичига олган ҳолда 124 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

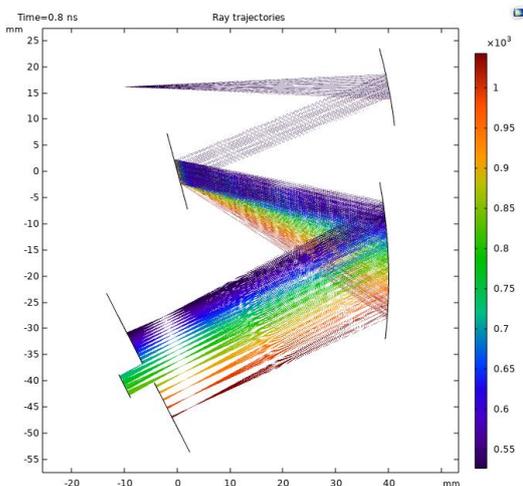
Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган,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

Диссертациянинг **"Қуёш энергиясини электр энергиясига айлантиришнинг физик асослари ва муаммолари"** деб номланган биринчи бобида қуёш энергиясини электр энергиясига айлантириб беришнинг физик асослари ва қонуниятларига таянган ҳолда, ёруғлик энергиясини ва иссиқликни бир пайтнинг ўзида электр энергиясига айлантириб берувчи фототермобатарларнинг ишлаш принциплари ва мавжуд намуналарнинг конструкциялари муҳокама қилинган. Қурилмаларнинг иш режимлари, юкламаларга уланиш вариантлари ва гибрид тизимларни яратишда, уни ташкил этувчи элементларни танлаб олиш шартлари, аниқланган. Мавжуд бўлган адабиётларни таҳлил қилиш асосида, олдинга қўйилаётган вазифалар аниқлаб олинган.

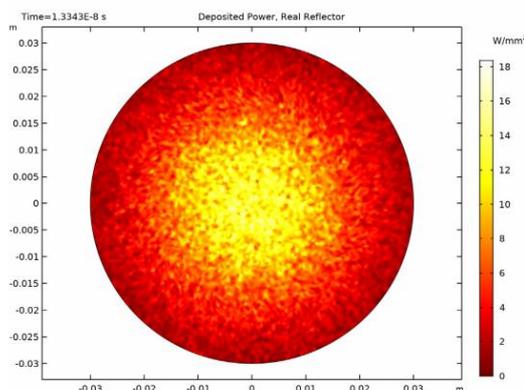
Диссертациянинг **"Танланган нур фототермоэлектрик ўзгартиргичларни лойиҳалаш"** деб номланган иккинчи бобида танланган нур фототермогенератори ёрдамида қуёш нурларини электр энергиясига айлантириш самарадорлигини ошириш учун, ёруғлик оқимини спектрларга ажратиш ва унинг турли соҳаларини шу соҳаларни, максимал ютувчи қуёш элементларига йўналтириш усуллари ва воситалари, таҳлил қилинган.

Лойиҳаланган фототермогенераторда, қуёш нурлари спектрларга ажратилган ҳолда, тўлиқлигича тизимга йўналтирилиши назарда тутилган. Тизим таркибидаги спектрларга ажратувчи воситасини яратишда Черни-Тернер схемаси асос қилиб олинди. Қурилманинг имитацион моделни яратиш ва оптик-техник параметрларини таҳлил қилишда, Comsol Multiphysics 5.5 дастурий таъминоти имкониятларидан фойдаланилди. Имитацион модел ташкил этувчиларининг оптик-техник параметрларини созлашда эса Зарубин томонидан келтирилган формула қўлланилди. Яратилган моделда фокусловчи ойнанинг эгрилик бурчаги $R=100$ ва ўртача ишчи тўлқин узунлик соҳаси 500 нм (300-900 нм) ҳамда фотоэлементнинг узунлиги 40 мм бўлган ҳолат назарда тутилди (1-расм).

Яратилган тизимда қуёш концентраторларидан фойдаланиш ҳам кўзда тутилган бўлиб, фокус масофаси ўртача $f = 70$ см га тенг бўлган параболик қуёш концентраторининг имитацион модели Comsol Multiphysics дастурининг 5.5 версияда яратилди ва оптик-энергетик параметрлари тадқиқ қилинди. Концентратор сирти силлиқ бўлган ҳолда унинг фокал текислигида концентрация нисбатини ҳисоблаш S.M.Jeter томонидан таклиф этилган формулалар асосида амалга оширилди.



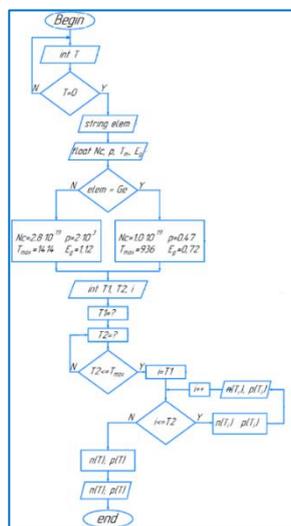
1-расм. Черни-Тернер схемаси асосида лойиҳаланган фотоактив нурларни ажратиш (beam splitter) тизимининг принципиал схемаси



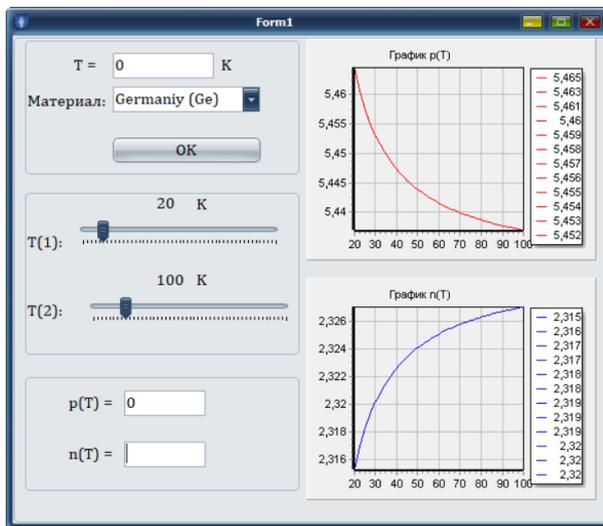
2-расм. Идеал силлиқ сирт ва акслантириш коэффициентига эга, қуёш халқаси четларидаги қоронғулик ҳисобга олинмаган параболик концентратордан қайтарилган иссиқлик энергиясининг қабул қилувчи сиртида тақсимланиши

Қуёш халқаси четларидаги, қоронғулик ҳисобга олинган ҳолатдаги идеал силлиқ сирт ва акслантириш коэффициентига эга, параболик концентратордан қайтарилган иссиқлик энергиясининг қабул қилувчи сиртида тақсимланиши 2-расмда келтирилган. Расмдан кўриниб турибдики, фокал текислик марказига тушаётган энергия жуда юқори бўлиб, қиймати 14 Вт/мм^2 га тенг. Лойиҳалашда йўл қўйилган статик хатоликлар туфайли, марказ чегарасининг айрим нуқталарида, бу кўрсаткич 30 Вт/мм^2 гача етган.

Тизим учун танланган яримўтказгичли фотоэлементларнинг электрофизик параметрларининг ташқи омилларга боғлиқлигини аниқлаш усулининг муқобил ечими сифатида замонавий ахборот технологиялари имкониятларидан фойдаланилди. Катта ҳажмли кирувчи дастлабки маълумотларни қайта ишлаш учун яримўтказгичларнинг асосий электрофизик параметрларини ҳисоблашга мўлжалланган алгоритмик (3а-расм) модел асосида, дастурий таъминот (3б-расм) яратилди.



а)

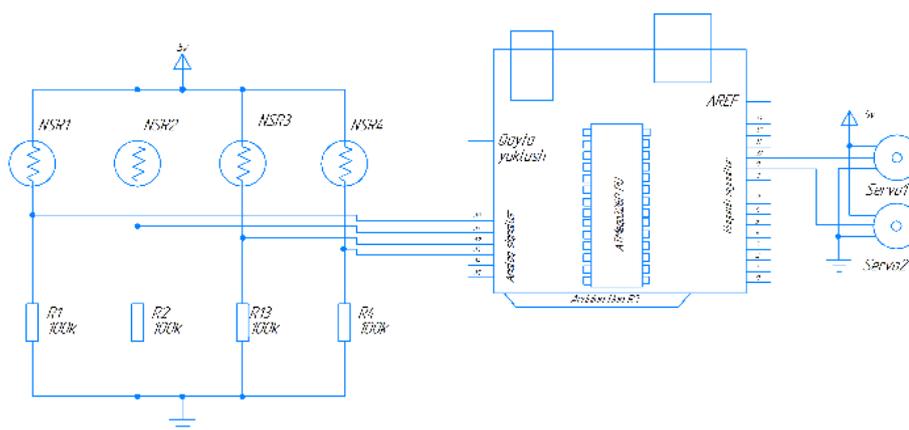


б)

3-расм. Асосий электрофизик параметрларни ҳисоблашнинг алгоритмик модели (а) ва дастурий таъминоти (б)

“Қуёш қуёшнинг ҳаракат траекториясини автоматик тарзда аниқлаш тизимлари (қуёш трекери) ни яратиш” деб номланган учинчи бобда қуёшнинг йиллик ва кунлик ҳаракати давомида унинг траекториясида юз берувчи горизонтал ва вертикал бурчак ўзгариши натижасида юзага келувчи фото ва термо ўзгартиргичлар имкониятларидан максимал фойдаланиш билан боғлиқ муаммоларни ҳал қилиш масалалари, таҳлил қилинган. Жумладан, танланган нур фототермогенератори учун қуёш координаталарини автоматик аниқаб қуёшга тақлид тизими – қуёш трекерини лойиҳалаш, эксплуатацион хусусиятларини таҳлил қилиш ва фототермогенераторнинг мўътадил самарадорлигини таъминлашда, уларнинг имкониятидан фойдаланиш, технологиялари келтирилган.

Яратилган қуёш трекерлари, 4-расмда кўрсатилган схема асосида қурилган.



4-расм. Arduino UNO платформаси асосида яратилган икки ўқли қуёш трекерининг электр схемаси

Қуёш трекерларининг, тизим умумий самарадорлигига таъсирини аниқлаш мақсадида, оптимал бурчакли қўзғалмас асосга ва қуёш трекерига жойлаштирилган фотоэлементларнинг самарадорлигини солиштириш устида тажрибалар олиб борилди. Назарий ҳисоб-китоблар ва тажрибалар асосида олинган натижалар шуни кўрсатадики, қўзғалмас асосга ўрнатилган қуёш панелларидан олинган максимал қувват 5.64W, ёки қуёш панелидан олиш мумкин бўлган, ишлаб чиқувчи томонидан кўрсатилган максимал қувватнинг 62.6% ни ташкил этади.

Назарий ҳисобларга кўра, ушбу панелдан олинувчи қувват соат 11-00 ва 13-00 оралиғида, ўзининг максимал қийматига эришиши лозим эди. Куннинг иккинчи ярмига ўтганда, иссиқ ҳаво ва тўғридан-тўғри тушаётган ёруғлик нурлари таъсирида панелларнинг ҳарорати кескин ортиб кетиши натижасида, кун давомида олинган реал ўртача қувват шу панелдан олинishi мумкин бўлган идеал қувватнинг 24% ташкил этди. Қуёш трекерларига ўрнатилган панеллар устида параллел равишда олиб борилган тажрибалар натижасига кўра, максимал қувватга соат 12-30 атрофида эришилди, ва бу ҳолатда ҳам, куннинг иккинчи ярмида қувватнинг тушиб кетиши кузатилди.

Қўзғалмас асосга ўрнатилган панел оғиш бурчагининг хатолиги ортиб бориши билан, ўзгарувчи энергия йўқотиш фоизи хатолик бурчагига

экспоненциал боғланган бўлиб, берилган хатолик бурчагидаги йўқотишни аниқлаш учун, қуйидаги (1) формула таклиф этилди.

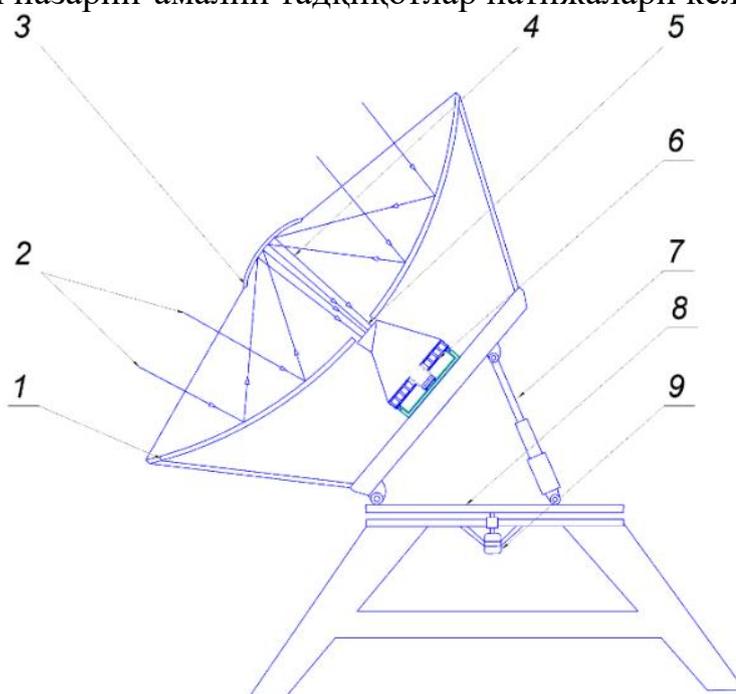
$$\eta_{yt} = \Delta a_t \cdot E_{yb} + E_{a_n} \quad (1)$$

$$\Delta a = |a_n - a_{n+1}| \quad (2)$$

$$E_{yb} = \frac{E_{y(n+1)} - E_{yn}}{\Delta a} \quad (3)$$

E_{yn} ва $E_{y(n+1)}$ – мос равишда a_n ва a_{n+1} бурчаклардаги энергия йўқотилишлар қиймати бўлиб, ушбу формулалар асосида қуёш панели ўрнатилган кенгликка мос равишда оптимал оғиш бурчаги ва ўрнатилган панелнинг оғиш бурчаги хатолигини ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилди.

“Қўзғалувчан тирқишли химоя блокига эга танланган нур фототермогенераторини лойиҳалаш ва тадқиқ қилиш” номли тўртинчи бўлимда аввалги бўлимларда лойиҳаланган имитацион ва амалий моделлар ёрдамида ўтказилган амалий ва назарий тажрибалар натижалари асосида қўзғалувчан тирқишли химоя блокига эга фототермогенераторларини ишлаб чиқиш ҳамда уларнинг электрофизик ва энергетик хусусиятларини тадқиқ қилиш юзасидан назарий-амалий тадқиқотлар натижалари келтирилган.



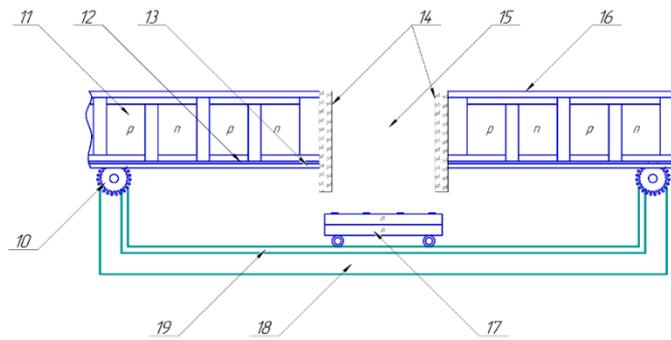
5-расм. Қўзғалувчан тирқишли химоя блокига эга танланган нур фототермогенераторининг схематик тузилиши

5-расмда келтирилган қўзғалувчан тирқишли химоя блокига эга танланган нур фототермогенератори учун ёруғлик нуруни спектрларга ажратиш тизими дисперсион призма ёки дифракцион панжара асосида тайёрланиши назарда тутилган. Лекин ҳар икки ҳолатда ҳам ёруғлик оқимининг фототермогенератор кириш нуқтасига перпендикуляр бурчак остида келиб тушиши муҳим.

Бунинг учун 1 концентраторга келиб тушаётган 2 қуёш нурларининг концентратор юзаси нормалига нисбатан перпендикуляр бўлиши, аввалги

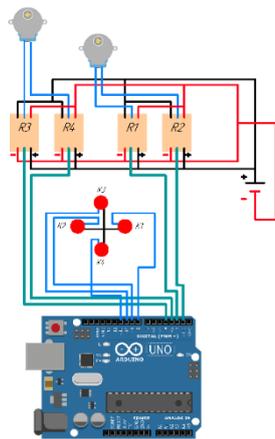
бобда таърифланганидек, куёш трекерлари ёрдамида таъминланади. Концентратор фокал текислигида оптимал нуқтага жойлаштирилган 3 иккиламчи акслантирувчи ойна эса, 4 йиғилган нурларни, 5 коллимация тизимига йўналтиради. Тузилмада фотоактив нурларни танлаш жараёнини автоматлаштиришда, химоя блокининг кириш нуқтасига келаётган ёруғлик оқими, блок сиртининг нормалига нисбатан перпендикуляр бурчак остида тушаётган деб ҳисобланган. Коллимацион тизим ёрдамида параллел йўналишга эга бўлган нурлар оқими Черни-Тернер схемаси асосида лойиҳаланган монохроматорга келиб тушади ва спектрларга ажратилган нурлар 6 қўзғалувчан тирқишли химояга блоки юзасига йўналтирилади.

Қўзғалувчан тирқишли химоя блокининг конструктив схемаси 6–расмда келтирилган. Химоя блокининг 11 термоэлементлар, 12 совутиш тизими, 13 ҳаракатланиш йўлакчаси, 14 акслантирувчи ойналар, 15 тирқиш ва термоэлементларнинг 16 ёруғлик қабул қилувчи юзасидан ташкил топган юқори қисми, кичик қувватли 10 кадамли двигателлар ёрдамида, спектрал тасвирга нисбатан горизонтал йўналишда ҳаракатга келтирилади ва автоматик тарзда фотоактив нурларнинг тирқиш орқали блок ичига ўтишига имкон яратилади. Блок ичига кирган ёруғлик оқими, айнан 17 фотоэлемент юзасига келиб тушиши учун, фотоэлемент тирқиш билан синхрон равишда ҳаракатлантирилади. Блок ичидаги ҳароратнинг мўътадиллиги, химоя блокининг 18 ташқи муҳит таъсиридан химояловчи 19 иссиқлик изоляция тизими ёрдамида, таъминланади. Ушбу тузилманинг мавжуд тузилмалардан асосий фарқи шуки, унда ташқи муҳит таъсирлари ва фотоактив бўлмаган нур тушишидан химояланган фотоэлемент ва ташқи муҳитдан келаётган, фотоактив бўлмаган нурларни тўсиб қолувчи термоэлементлар, бир вақтнинг ўзида тушаётган барча ёруғлик энергиясини электр энергиясига айлантириш имконини беради. Бундан ташқари, ёруғлик нурлари спектрларга ажратилгандан кейин, фотоактив ва фотоактив бўлмаган нурлар алоҳида йўналишга ажратилмаган ҳолда яхлит юзадан иборат текисликка йўналтирилади. Фотоэлементлар эса, юзада ҳосил бўлган дифракцион тасвирнинг керакли соҳасига, автоматик жойлаштирилади. Фотоэлемент юзасига фақат фотоактив нурлар йўналтирилганлиги оқибатида, уларнинг фойдали иш коэффициентига салбий таъсир қилувчи, ҳарорат омили мавжуд бўлмайди. Концентратор ёрдамида жамланган бир неча куёш бирликка эга ёруғлик энергиясининг кичик соҳага тўпланиши фойдаланилаётган фотоэлементлар ҳажмини кичрайтириш имконини беради.



6-расм. Қўзғалувчан тирқишли химоя блокининг конструктив схемаси

Фотоэлемент юзасига тушаётган ёруғлик интенсивлигини ўлчаш учун 7а-расмда кўрсатилган схема асосида автоматик ишловчи қурилма яратилди. Қурилма Arduino платформаси асосида яратилган бўлиб, иккита кичик қувватли мотор ёрдамида вертикал ва горизонтал ҳаракатга келтириладиган асосга ўрнатилган фоторезистор ёрдамида ёруғлик тушаётган соҳадаги интенсивликни ўлчашга мўлжалланган.



а



б

7-расм. Фотоэлемент юзасига тушаётган ёруғлик интенсивлигини ўлчаш қурилмаси (б) ва унинг электрон схемаси (а)

Фототермогенератор таркибидаги фотоэлементнинг оптимал координаталарини аниқлаш мураккаб физик-техник масала. Чунки ёруғлик нуруни спектрларга ажратиш ва маълум тўлқин узунлиқдаги нур оқимини фотоэлементга йўналтириш жараёнида ҳисобга олиниши лозим бўлган бир нечта физик катталиқлар ва техник вазифалар мавжуд (8-расм):

1. Призманинг γ учидан туширилган h баландликка нисбатан перпендикуляр нур оқимини ҳосил қилиш масаласи;

2. Призмадан ўтганда спектрнинг трапециясимон тарқалиши натижасида, тўлқин узунлиқнинг шартли равишда олинган $\lambda \in (\lambda_1; \lambda_2)$ оралиғида, спектр тасвирининг кенглиги L_λ призма ва тирқиш орасидаги масофа M нинг турли қийматлари M_λ да ўзгариб боради.

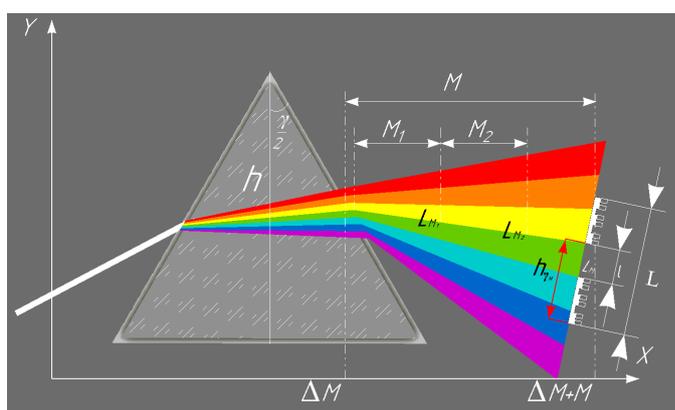
$$L_{M_1} \neq L_{M_2} \quad (4)$$

Ҳусусий ҳолда, фотоэлемент узунлиги l_Φ ва тирқиш узунлиги l ўзаро тенг деб олинadиган бўлса, M нинг $l = L_M$ шарт бажариладиган қиймати ва шу

шарт бажарилган ҳолда, ёруғлик спектрининг шартли равишда олинган юқори чегарасига мос $y = h_{\lambda_M}$ координата, аниқланиши керак.

Биринчи масала куёш трекеари ёрдамида ҳал қилинди. Иккинчи масаланинг ечими эса, махсус яратилган алгоритм асосида ишловчи механизм ёрдамида ҳал қилинади. Лекин, келтирилган алгоритм, фақат горизонтал ўқ бўйича оптимал жойлашиш координаларини ҳисоблашга мўлжалланган бўлиб, уни бир ўқли трекерларда қўлланади.

Ушбу алгоритмга асосланган автоматлаштирилган тизим, фотоэлементнинг спектр бўйлаб ёнлама ҳаракати давомида, вақт бирлиги оралиғида вольтметрдан N марта аналог сигнал қабул қилади. Олинган қийматлар $V[i]$ массивга ёзиб борилади. Жараённинг иккинчи босқичида эса, қийматларни солиштириш орқали, сигналларнинг максимал қийматлари кўринишидаги оптимал координаталар ($соог_x$) саралаб олинади ва фотоэлемент ана шу қийматлар асосида, шу координата бўйича жойлаштирилади.



8-расм. Спектр соҳасини аниқлаш жараёнида ҳисобга олинувчи катталикларнинг принципиал схемаси

Танланган нур фототермогенератори ёрдамида кремнийли фотоэлементнинг самарадорлигини тадқиқ қилишда фото ва термо элементларнинг электро-физик параметрларини тузилмадан ташқари иш ҳолатида таҳлил қилинди. Бунинг учун, Россия федерацияда ишлаб чиқарилган, кўрғошин-кислотали батареяларни қувватлашга мўлжалланган, монокристалли кремний асосида тайёрланган фотоэлементлардан иборат MSM 12-700 – куёш модулидан фойдаланилди. Куёш модули атроф-муҳит таъсиридан ҳимояловчи қути ичига жойлаштирилган ҳолда, унга 100%, 72% ва 32% нур ўтказувчанликка эга стандарт фоликлар билан қопланган шиша ойна орқали нур туширилди. Таҷрибалар, хона шароитида галоген ёритиш мосламалари ёрдамида амалга оширилган ҳолда, ўзгартириш коэффициенти $K=30$ Люкс \cdot м²/Вт га тенг бўлса, табиий шароитда ўтказилган таҷрибалар учун бу қиймат $K=15$ LЛюкс \cdot м²/Вт га тенг олинди. 783, 559 ва 403 люкс ёритилганлик учун мос равишда 52,2 Вт/м², 39,9 Вт/м² ва 26,9 Вт/м² қийматлар ҳисобланди. Ҳисоб-китоблар натижасида ушбу қийматларда мос равишда салт ишлаш кучланиши ҳамда қисқа туташув токи $U_{си}=3,91$ В да

$I_{кт}=1,25$ мА, $U_{си}=4,75$ В да $I_{кт}=2,62$ мА, $U_{си}=5,19$ В да $I_{кт}=4,8$ мА га тенг эканлиги аниқланди.

Олинган натижалар асосида, тушаётган ёруғлик ва элементдан олинаётган электр токининг максимал қуввати, мос равишда $Wi(52.2) = 5.2$ Вт, $Wi(39.9) = 4.0$ Вт, $Wi(26.9) = 2.7$ Вт ҳамда $Wmax(52.2) = 2,1$ Вт, $Wmax(39.9) = 1,3$ Вт, $Wi(26.9) = 0,6$ Вт эканлиги аниқланди.

Кўрилаётган уч ҳолат учун фойдали иш коэффициентларининг қуйидаги қийматлари аниқланди.

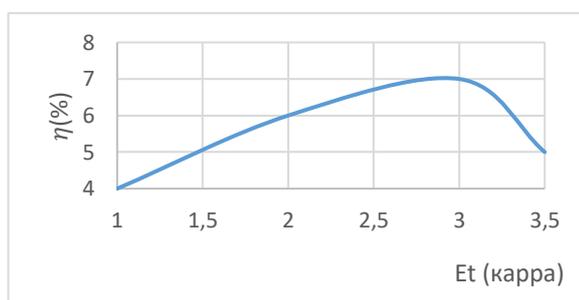
$$\eta(52.2) = 0.0403 = 4.0\%$$

$$\eta(39.9) = 0.0325 = 3.3\%$$

$$\eta(26.9) = 0.0222 = 2.2\%$$

Таҳлил кўрсатишича, фотоэлемент бир хил спектрал таркибга эга ёруғлик манбаи ёрдамида турли даражада ёритилганда, фотоэлементнинг фойдали иш коэффициенти ёритилганлик ўзгаришига мос равишда ўзгармайди. Биринчи ва учинчи ҳолатдаги ёритилганлик, уч марта фарқ қилса-да, бу ҳолатлар учун фойдали иш коэффициенти атиги 2% га фарқланяпти. Фойдали иш коэффициенти юқорироқ (ўртача 15%-18%) намуналар устида олиб борилган тажрибалар натижасида ҳам, шу каби натижаларга эришилди.

Тажрибанинг иккинчи босқичида намунадаги фотоэлементнинг ёруғлик тўлқин узунлигига сезувчанлиги текширилди. Ўртача $+30^{\circ}\text{C}$ ҳароратда, тўлқин узунлиги 400-600 мкм оралиғида бўлган нурларни, электр энергиясига айлантиришнинг фойдали иш коэффициенти ўртача 6-7% ни ташкил этувчи фотоэлементнинг самарадорлиги, фототермогенератор таркибида текширилди. Монохроматик ҳусусиятга эга нур оқими ёрдамида 201 люкс интенсивлик билан ёритилган фотоэлементдан олинаётган токнинг максимал қуввати $Wmax(13.4) = 1,3$ Вт бўлгани ҳолда, фотоэлементнинг фойдали иш коэффициентининг қиймати 9,7-10% оралиғида аниқланди. Ушбу кўрсаткич интенсивлик ортиши билан 15-16% гача етди.

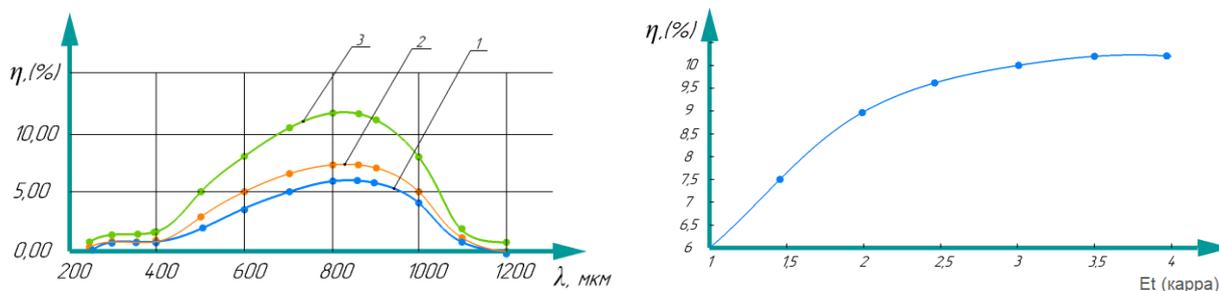


9-расм. МСМ 12-700 – қуёш модули самарадорлигининг нурланиш зичлигига боғлиқлиги

Ҳарорат ёруғлик интенсивлигига боғлиқ ўзгаришини ҳисобга олинса, кўпроқ энергия олиш учун бир нуктада концентрланган қуёш нурларининг йўналиши одатда бу соҳада ҳароратнинг кескин кўтарилишига олиб келади. Қуёш батареясининг ҳарорати нисбий чегарадан ошиб кетганда, унинг фойдали иш коэффициенти n марта кескин пасайиши кузатилди (9-расм).

Ушбу муаммонинг олдини олиш учун, бизнинг тажрибамизда, жамланган ёруғлик поликристалли кремнийли фотоэлементга юборишдан олдин спектрга

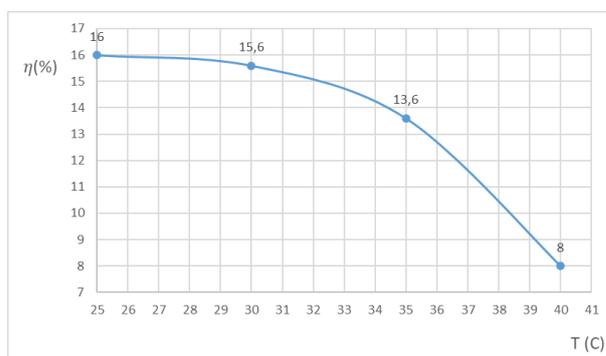
бўлинди. Натижада, ёруғлик зичлиги ошиши билан, юклама сифатида уланган вольтметр кўрсаткичлари ҳам ошди (10-расм).



10-расм. Танланган нур фототермогенератори таркибидаги MSM 12-700 – қуёш модули фойдали иш коэффициентининг фотоэлементнинг спектрал сезгирлиги (а) (1, 2 ва 3 - мос равишда: 1, 2 ва 3 карра зичлик билан ёритилганда) ва ёруғлик интенсивлигига боғлиқлиги (б) графиклари

Назарий ҳисоб-китобларга кўра, вақт ўтиши билан танланган ёруғлик нурлари интенсивлигининг ошиши, иш самарадорлигига салбий таъсир кўрсатмаслиги керак. 9 ва 10б-расмларда кўрсатилган натижаларни таққослаб, биринчи ҳолда вақт ўтиши билан фойдали иш коэффициенти 2-3 баравар камайганлигини аниқлашимиз мумкин. Танланган нурдан фойдаланиш натижасида пасайиш тезлиги камайибгина қолмай, балки максимал ва минимал қийматлар орасидаги фарқ сезиларли даражада камайди. Агар, фойдали иш коэффициенти ўртача қийматини иккита ҳолат учун таҳлил қилинса, иккинчи тажриба натижалари 3-4 баравар самаралироқ эканини кўриш мумкин.

Фотоэлемент фойдали иш коэффициенти хароратга боғлиқлигини текшириш тажрибаларида фотоэлементнинг харорати $+25$ дан $+45^{\circ}\text{C}$ гача ораликда ўзгартирилди (11-расм).



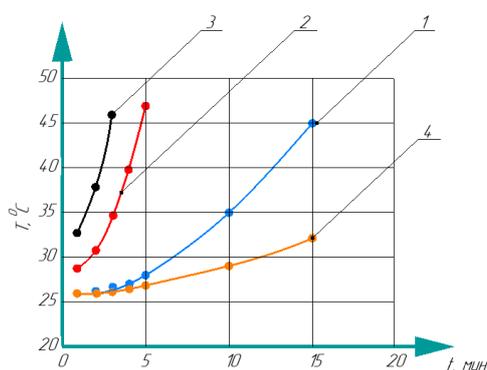
11-расм. Фотоэлемент фойдали иш коэффициентининг унинг хароратига боғлиқ равишда ўзгариши

Расмдан кўриниб турибдики, $+25^{\circ}\text{C}$ дан $+30^{\circ}\text{C}$ гача, ҳамда $+30^{\circ}\text{C}$ дан $+35^{\circ}\text{C}$ гача бўлган ораликда, фотоэлемент хароратининг 1°C га ошиши унинг фойдали иш коэффициенти мос равишда ўртача 0,1% ва 0,4% га камайишига олиб келади. Дастлабки ва сўнгги хароратлар фарқи, 15°C дан ортгандан кейин, самарадорлик деярли икки марта камайди. Кейинги босқичларда қуёш нурлари қуёш элементи юзасига концентрацияланган ҳолда йўналтирилди. Ёруғлик интенсивлигини ўзгартириш, фотоэлементни йиғувчи

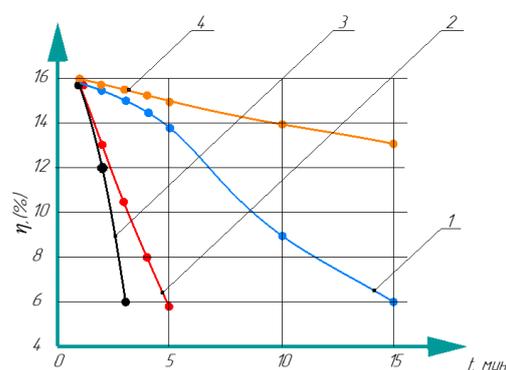
линзанинг фокал текислиги бўйлаб ҳаракатлантириш орқали, амалга оширилди. Электр занжирга юклама сифатида уланган резисторнинг қаршилиқ қийматини ўзгартириш орқали салт ишлаш кучланиши, қисқа туташув токи ва максимал қувват аниқланди.

Ўртача ҳарорат $+27^{\circ}\text{C}$ бўлган шароитда олинган натижалар шуни кўрсатадики, ёруғлик интенсивлигининг икки-уч марта ортиши, фойдали иш коэффициентининг қийматларига, сезиларли ижобий таъсир кўрсатмайди. Аксинча, нисбатан юқори интенсивлик остида ёритилган фотоэлементнинг тез қизиб кетиши (12-расм) оқибатида, унинг самарадорлиги нисбатан тезроқ камайиши кузатилди (13-расм).

Қуёш элементининг электро-физик параметрларига салбий таъсир кўрсатувчи ҳарорат омили, асосан, фотоактив бўлмаган нурлар таъсири натижасида юзага келганлиги сабабли, ушбу омилнинг таъсир даражасини аниқлаш мақсадида тажрибалар танланган ёруғлик ёрдамида амалга оширилди.



12-расм. Турли интенсивлик билан ёритилган фотоэлементлар ҳароратининг вақт ўтиши билан ўзгариши: 1, 2 ва 3 - мос равишда: 1, 2 ва 3 карра зичлик билан ёритилганда; 4-селектив нур билан 3 карра зичликда ёритилганда



13-расм. Турли интенсивлик билан ёритилган фотоэлементлар фойдали иш коэффициентининг вақт ўтиши билан ўзгариши: 1, 2 ва 3 - мос равишда: 1, 2 ва 3 карра зичлик билан ёритилганда; 4-селектив нур билан 3 карра зичликда ёритилганда

Тажрибанинг кейинги босқичларида, фотоактив бўлмаган нурлар ҳимоя блоканинг юза қисмида жойлашган Пельтье термоэлементлари ёрдамида тўсилиб, фотоэлемент юзасига фақат фотоактив нурлар йўналтирилганида қизиш вақти узайгани кузатилди. Лекин, салт ишлаш кучланиши ва қисқа туташув токи билан боғлиқ аввалги олинган қийматлар, деярли ўзгармаган бўлса-да, фотоактив бўлмаган нурларнинг фотоэлемент юзасига тушмаганлиги сабабли элемент ҳароратининг қиймати $+37^{\circ}\text{C}$ дан ортмади. Ўз навбатида, тажриба давомида фотоэлементнинг фойдали иш коэффициенти ўртача 13% дан юқори бўлди.

ХУЛОСА

1. Кўзгалувчан тирқишли химоя блокига эга, селектив нурда ишлашга мўлжалланган фототермогенератори кўринишидаги қуввати 100 Вт.гача бўлган мобил ёритиш тизимининг электр манбаини қувватлаш воситаси яратилди. Кунлик самарадорлиги 6-7 %ни ташкил этувчи MSM12-700 қуёш модули тизим таркибида қўлланганда унинг кун давомидаги ўртача фойдали иш коэффиценти 15-16 %га етиши таъминланди;

2. Фототермогенератор учун қуёш трекери яратилди. Натижада, кўзгалмас асосга ўрнатилганда (техник тавсифномасида кўрсатилган қувват ишлаб чиқариб бериш имкониятига нисбатан!) самарадорлиги максимал 63% ни, кун давомида олинган кўрсаткичларнинг ўртача қиймати 24 %ни ташкил этган фотоэлементнинг энергия ишлаб чиқариш имкониятидан фойдаланиш самарадорлигини мос равишда 97,5 % ва 62 %гача оширишга эришилди;

3. Манбадан келувчи ёруғлик нурининг фототермогенератор нормалига нисбатан тушиш бурчаги қийматига боғлиқ равишда юзага келувчи энергия йўқотилиш фоизини ҳисоблаш учун аналитик формула ва у асосида алгоритмик модел ишлаб чиқилди. Натижада, фототермогенератор (параболик концентратор нормали)нинг қуёш нурлари тушиш бурчагига нисбатан оптимал жойлашиш координаталарини ҳисоблаш имкони яратилди;

4. Танланган нур фототермогенератори фотоэлектрик қисмининг электрофизик параметрларини, рақамли технологиялар ёрдамида тадқиқ мақсадида мавжуд физик формулалар асосида алгоритмик модел яратилди. Алгоритм асосида C++ Builder XE7 муҳитида C++ тилида тузилган дастурий таъминотлар комплексидан фойдаланиш, фототермогенератор учун оптимал параметрли Si асосидаги фотоэлементларни танлаш имконини берди;

5. Фотоэлементни спектрнинг фотоактив соҳасига автоматик жойлаш технологияси ишлаб чиқилди. Фото ва термоэлементлардан ташкил топган танланган нур фототермогенераторининг оптик параметрларини тадқиқ этиш учун яратилган имитацион ва амалий моделлар яратилди. Натижада, фототермогенератор таркибидаги Si асосидаги MSM12-700 қуёш модулининг юзасига фақат фотоактив нурлар йўналтириш ёрдамида, уларнинг қизиш вақти узайгани ва фотоэлемент ҳароратининг қиймати мўтадил $+37^{\circ}\text{C}$ да сақлангани кузатилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ
ИНСТИТУТЕ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И МИКРОЭЛЕКТРО-
НИКИ ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

ФЕРГАНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЗОКИРОВ САНЖАР ИКРОМЖОН УГЛИ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ФОТОТЕРМОГЕНЕРАТОРОВ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ
СЕЛЕКТИВНОМ ИЗЛУЧЕНИИ**

01. 04. 10 – Физика полупроводников

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

Ташкент – 2022

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2021.4.PhD/T2437

Диссертация выполнена в Ферганском политехническом институте

Аннотация диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-сайте Научного совета (www.ispm.uz) и Информационно-образовательном портале "ZiyoNet" (www.ziyo.net).

Научный руководитель:	Касимахунова Анархин Мамасадировна, доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Мамадалимов Абдулғафур Тишабаевич доктор физико-математических наук, академик Тагаев Марат Баймуратович доктор технических наук, профессор
Ведущая организация:	Ташкентский государственный Университет

Защита диссертации состоится «05» 03 2022 года в 12 часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 по присуждению ученых степеней при Научно-исследовательском институте Физики полупроводников и микроэлектроники Национального университета Узбекистана (Адрес: 100057, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Янги Алмалар, дом 20. Тел: (+99871) 248-79-94, факс (+99871) 248-79-92, e-mail: info@ispm.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Отделе внедрения информационных технологий института (зарегистрирована за № 37) по адресу: 100057, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Янги Алмалар, дом 20. Тел: (+99871) 248-79-59

Аннотация диссертации разослана «24» 02 2022 г.
(реестр протокола рассылки № 37 от 24.02 2022 г.)




Ш. Б. Утамурадова,
Председитель Научного совета
по присуждению ученых степеней, д. ф.-м. н., профессор


Ж. Ж. Хамдамов,
Ученый секретарь Научного совета
по присуждению ученых степеней, PhD


Х. К. Аризов
заместитель председателя научного семинара
при Научном совете по присуждению ученых степеней,
д. ф.-м. н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии(PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мировой практике, одним из наиболее перспективных направлений развития энергетики является преобразование солнечной энергии в электрическую с помощью фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) из полупроводниковых материалов. Хотя технология производства фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводниковых материалов, таких как кремний и германий относительно проста и недорога, их коэффициент полезного действия не отвечают степени требований. Производство фотоэлектрических преобразователей с относительно высоким коэффициентом полезного действия является нерентабельно и технологически сложно. Поэтому важно разработать экономически эффективные, технологически простые и высокопроизводительные методы преобразования солнечной энергии в электрическую.

На мировом уровне, бóльшая часть работ, направлена на улучшение электрофизических параметров используемых материалов за счет совершенствования технологии изготовления солнечных элементов и добавления различных примесей, а также повышение их к. п. д. Также ведутся работы по созданию гетеропереходных и каскадных солнечных элементов, и структур на основе высокоэффективные фото- и термоэлементов. Сегодня, фактором препятствующим широкому использованию солнечных элементов во всем мире, является температурная зависимость электрофизических свойств полупроводников и значительные потери энергии. Исходя из этого создание устройств, позволяющие устранить этих процессов, считается актуальной проблемой.

В нашей республике непрерывно ведутся исследования по совершенствованию солнечных панелей различной конструкции и улучшению их эксплуатационных характеристик. В настоящее время, в стране расширяется область создания гибридных систем на основе преобразователей солнечной энергии, совмещенные с солнечными коллекторами и термоэлектрическими преобразователями. В этом направлении, модернизация существующих фото- и термоэлектрических преобразователей (ФТЭП) и создание высокоэффективных модернизированных фототермогенераторов селективного излучения (ФТГСИ) имеет большое научное значение.

Данное диссертационное исследование соответствует задачам, обозначенным в Указах и Постановлениях Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 7 февраля 2017 года, за № ПП-3012 «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017 — 2021 годы» от 26 мая 2017 года, за № ПП-2772 «О мерах по дальнейшему совершенствованию управления, ускоренному развитию и диверсификации электротехнической отрасли в 2017-2021 гг. » от 13 февраля 2017 г, за № ПП-

4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» от 22 августа 2019 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики: III. «Энергия, энергосбережение, транспорт, машиностроение и приборостроение; развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники, электронного приборостроения».

Степень изученности проблемы. Вопросы преобразования солнечной энергии в электрическую с помощью фототермоэлектрических генераторов впервые исследовались российскими учеными Б. В. Тарниевский, Э. Иорданишвили и узбекской ученой А. М. Касимахуновой. Последующие практические исследования показали, что правильно подобрав фото и термоэлементы, можно получить фототермобатареи с хорошими характеристиками.

В мировом масштабе, Э. С. Керн и М. С. Рассел классифицировали основные структуры гибридных систем. Группа итальянских ученых под руководством Ф. Аттивиссимо работала над расчетом экономической эффективности фото- и термоэлектрических модулей. Р. М. Свансон предложил первую термофотоэлектрическую преобразовательную систему (ТФЭП) с возобновляемыми тепловыми двигателями и термоэлектрическими преобразователями, предназначенную для повышения эффективности фотоэлектрических модулей концентрированного света. Мексиканские и российские ученые Э. А. Чавес-Урбиола, Ю. В. Воробьев и Л. П. Булат предложили гибридные системы четырех различных конструкций без концентраторов и с концентраторами. Китайские ученые В. Панг и другие проектировали несколько образцов фототермогенераторов, в которых фото и термоэлементы расположены в каскаде.

Исследования в этой области в Узбекистане первоначально проводились профессором А. Касимахуновой. К настоящему времени разработаны и внедрены в практику различные модели фототермогенераторов, в том числе каскадные, конструкции с двухсторонней чувствительностью и фототермогенераторы селективного излучения. Кроме того, под руководством академика С. Саидова и ученого М. Турсунова проводились практические и фундаментальные исследования.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного или научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертация выполнена в Ферганском политехническом институте в рамках фундаментального проекта ОТ-Ф-3-19 «Развитие фундаментальных исследований по созданию новых типов параболоцилиндрических концентрирующих модульных систем для солнечных энергетических установок с тепловыми циклами преобразования энергии» и хозяйственного

договора между Ферганским политехническим институтом и ООО «Электрошок» (№6 НИС от 16. 03. 20г.) на тему: «Разработка фототермоэлектрической батареи».

Целью исследования является исследование оптических и фотоэлектрических параметров полупроводникового фотоэлектрического преобразователя в конструкции фототермогенератора селективного излучения с подвижным щелевым блоком защиты.

Задачи исследования:

создание модернизированного модели полупроводникового фототермогенератора селективного излучения для исследования его оптических параметров;

создание солнечного трекера для полупроводникового фототермогенератора;

разработка аналитической формулы для определения количества потерь энергии, в зависимости от угла падения излучения от источника на поверхности фотопреобразователя;

разработка алгоритма для исследования электрофизических параметров фотоэлектрической части селективного фототермогенератора с использованием цифровых технологий;

разработка технологии автоматического выбора фотоактивного спектрального диапазона для образцового фотоэлемента.

Объектами исследования являются образцы термоэлементов на основе полупроводниковых материалов тройного соединения BiTeSb/BiTeSe и образцы фотоэлементов из кремниевых полупроводников.

Предметом исследования являются оптические и фотоэлектрические явления, происходящие в фотоэлементах фототермогенератора под действием селективного излучения, а также функциональные зависимости электрофизических параметров фотоэлементов.

Методы исследований. Для решения поставленных задач были использованы следующие методы: технология спектрального разделения светового света по схеме Черни-Гернера, методы измерения спектральной чувствительности при различных условиях освещения, оптико-спектральные методы исследования полупроводниковых материалов, современные методы анализа вольтамперных характеристик, а также методы математического расчета и компьютерного моделирования физических процессов в полупроводниках.

Научная новизна исследования заключается в следующих:

впервые разработан защитный блок с подвижной щелью, для фототермогенератора селективного излучения, и достигнуто повышение значения КПД кремниевых солнечных панелей от 6-7% до 15-16%;

выявлено, что в результате использования солнечного трекера, разработанного для фототермогенератора, можно достичь эффективности выработки энергии, от максимальной мощностью фотоэлемента до 97,5%;

предложенная аналитическая формула для определения количество потери энергии в зависимости от угла падения света, позволила более

оптимально настроить фототермогенератор под угол падения солнечного света;

разработанный программный комплекс, для исследования электрофизических параметров фотоэлектрической части фототермогенератора селективного излучения, позволил подобрать фотоэлементы из полупроводниковых материалов с оптимальными параметрами для данного устройства.

впервые была разработана технология автоматического размещения фотоэлемента в фотоактивной области спектра, в результате чего время нагрева фотоэлемента было увеличено, а температура поддерживалась на уровне не выше 37⁰С.

Практические результаты исследования заключаются в следующем.

разработан фототермогенератор селективного излучения с защитным блоком с подвижной щелью на основе полупроводниковых фото и термоэлементов;

создана автоматическая система, обеспечивающая попадание излучения от движущегося источника на фототермогенератор под оптимальным углом и направляющая спектрально распределенного светового потока на поверхность фото и термоэлементов;

разработаны аналитическая формула и основанная на ней алгоритмическая модель для определения оптимальных значений угла наклона стационарно установленных солнечных панелей.

Достоверность результатов исследований обосновывается использованием современных теоретических и экспериментальных методов изучения физики твердого тела, соответствием экспериментальных и расчетных данных с теоретическими результатами других авторов, а также трактовкой полученных результатов на основе современных физических моделей.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в развитии и уточнении представлений о процессе спектрального разделения солнечного света, спектральной чувствительности фототермоэлектрических элементов, физических основах процессов, происходящих под действием селективного излучения в объеме полупроводниковых фотоэлементов.

Практическая значимость результатов исследований заключается в применении фототермогенератора с защитным блоком с подвижной щелью на основе BiTeSb / BiTeSe и Si при проектировании солнечных электростанций малой мощности.

Внедрение результатов исследования. В результате создания полупроводникового фототермогенератора селективного излучения, с подвижным щелевым блоком защиты, на основе полупроводниковых фото- и термоэлементов:

Предложенная аналитическая формула для расчета процента потерь энергии из-за угла падения света относительно нормали фототермогенератора и разработанная на ее основе алгоритмическая модель, имитационные и

практические модели, предназначенные для исследования оптических параметров фототермогенератора селективного излучения, состоящего из фото и термо элементов были использованы в области модернизации системы управления гелиостатическим полем уникальной научно-технической установки - Большой Солнечной Печи (БСП) тепловой мощностью 1 МВт в Институте материаловедения «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан в проекте № ИЗ-20170927404 «Модернизация системы управления гелиостатическим полем Большой солнечной печи». Использование результатов научно-исследовательских работ, позволило оценить точность слежения за солнцем за счет различий в генерации тока. (Справка АН РУз №2/1255-3213 от 18. 11. 2021 г.).

Результаты диссертационной работы были внедрены на «Унитарном предприятии по использованию автомобильных дорог Бувайдинского района» в Ферганской области. Здесь проведены испытания источника питания мобильной системы освещения мощностью до 100 Вт в виде источника электрической энергии зарядного посредника - фототермогенератора селективного излучения (Справка Комитета АД РУз №02-3756 от 27. 09. 2021 г.). Использование результатов научно-и исследовательской работы позволило достичь к. п. д. солнечного модуля МСМ12-700 с суточным КПД 6-7% до 15-16%.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 9 международных конгрессах и конференциях и 7 республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследований. По теме диссертации опубликовано 32 научных работ. В том числе 6 статей в зарубежных и 6 в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций. Опубликовано 1 монография. Получен 1-Международный сертификат на авторское произведение и 2 свидетельство на программные обеспечения для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четыре глав, заключения, списка литературы. Текст диссертации изложен на 124 страницах машинописного текста, включая 44 рисунков и 7 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, охарактеризованы цели и задачи исследования, объекты и предметы, приведены соответствие исследования к основным приоритетным направлениям развития науки и технологии в стране, изложены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены информации о внедрении в практику результатов исследования, опубликованных научных работах и структуре диссертации.

В первой главе, под названием **«Физические основы и проблемы преобразования солнечной энергии в электрическую»**, опираясь на физические основы и принципы преобразования солнечной энергии в электрическую, обсуждаются принципы работы и конструкция существующих моделей фототермоэлектрических систем.

Определены режимы работы устройств, варианты подключения к нагрузкам и условия выбора элементов, при создании гибридных систем. На основе анализа имеющихся литературных данных сформулирована постановка задачи.

Во второй главе, именуемой **«Разработка фототермоэлектрических преобразователей селективного излучения»**, анализируются методы и средства разделения светового потока, на спектры и направления фото активных зон излучения на солнечные элементы, для повышения эффективности преобразования солнечного света в электрическую, с помощью фототермогенератора селективного излучения.

В разработанном фототермогенераторе намечается то, что солнечные лучи, разделенные на спектры, полностью направляются на систему. В качестве основы, для создания устройства разделения спектров, была использована схема Черни-Тернера. При создании имитационной модели и анализе оптико-технических параметров были использованы программные обеспечения Comsol Multiphysics 5.5. Для регулирования составляющих оптико-технических параметров была использована формула Зарубина. Разработанный модель рассчитан на угол вогнутости окна фокусировки $R = 100$, среднюю рабочую длину волны 500 нм (300-900 нм) и длину фотоэлемента 40 мм (рисунок 1).

В созданной системе также предусматривается использование солнечных концентраторов. В программе Comsol Multiphysics версии 5. 5 была создана имитационная модель этого концентратора со средним фокусным расстоянием $f = 70$ см и исследованы его оптико-энергетические параметры. Расчет отношения концентраций в фокальной плоскости концентратора с гладкой поверхностью проводился на основе выражений, предложенных С. М. Джетером.

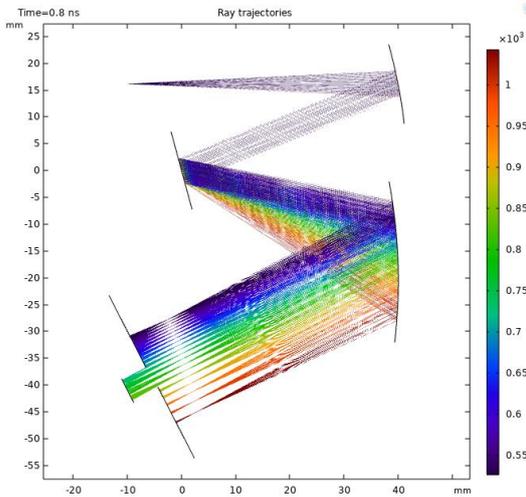


Рисунок 1. Принципиальная схема системы разделения фотоактивного излучения, проектированной на основе схемы Черни-Тернера

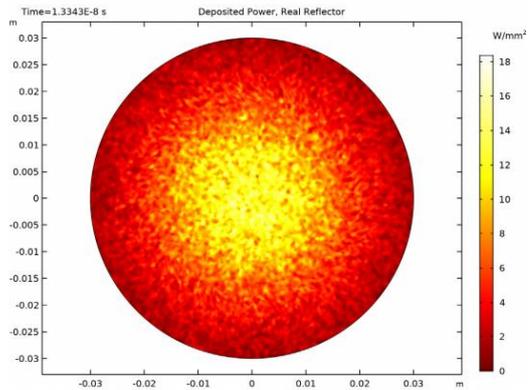
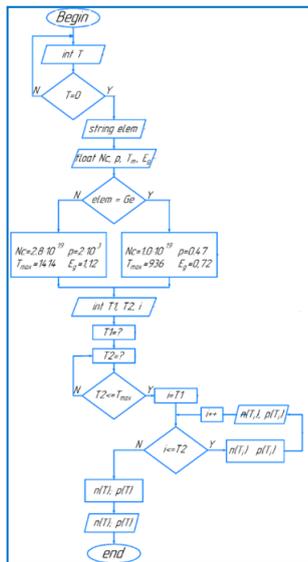
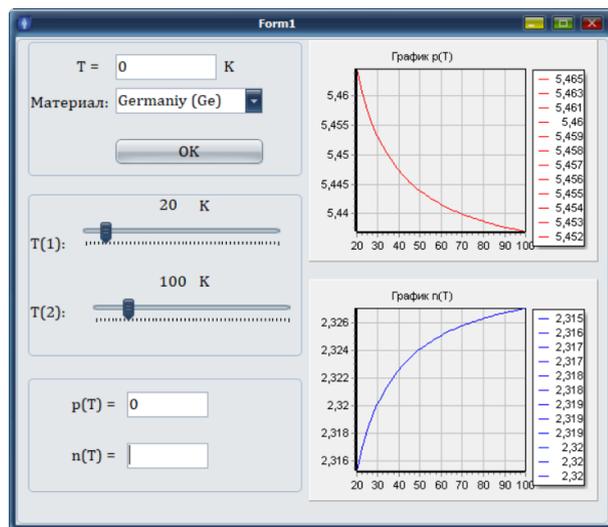


Рисунок 2. Распределение тепловой энергии, возвращаемой параболическим концентратором от идеально гладкой поверхностью и коэффициентом отражения на принимающей поверхности, без учета эффекта темноты на краях солнечного кольца

Распределение тепловой энергии, возвращаемой параболическим концентратором с идеально гладкой поверхностью и коэффициентом отражения на принимающей поверхности с учетом темноты на краях солнечного кольца, показано на рисунке 2. Как видно из рисунка энергия, падающая в центр фокальной плоскости, очень высока, со средними значениями 23 Вт/мм^2 (а) и 14 Вт/мм^2 (б). Однако из-за наличия статических ошибок при моделирование, в некоторых точках центральной области, этот показатель зашкаливает до 30 Вт/мм^2 .



а)



б)

Рисунок 3. Алгоритмическая модель для расчета основных электрофизических параметров (а) и программное обеспечение (б)

В качестве альтернативного решения метода определения зависимости электрофизических параметров выбранных полупроводниковых

фотоэлементов для системы от внешних факторов, были использованы возможности современных информационных технологий.

Было разработано программное обеспечение (рис.3б) на основе алгоритмической (рис.3а) модели, предназначенное для обработки больших объемов поступающих данных при расчете основных электрофизических параметров полупроводников.

В третьей главе, под названием «Создание системы автоматического слежения (солнечных трекеров) за траекторией движения солнца», анализируются проблемы, связанные с максимальным использованием возможностей фото- и термопреобразователей, вызванные изменением горизонтального и вертикального углов траектории Солнца в течение года и дня. В частности, представлена технологии проектирования системы автоматического отслеживания траектории движения Солнца - солнечного трекера для селективного фототермогенератора, анализ его рабочих характеристик и использование их возможностей для обеспечения стабильной работы фототермогенератора.

Солнечные трекеры спроектированы на основе схемы, показанной на рисунке 4.

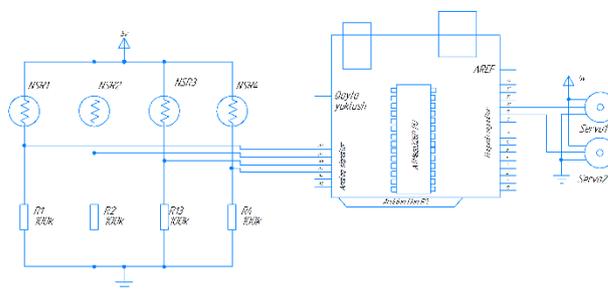


Рисунок 4. Схема подключения двухосного солнечного трекера на платформе Arduino UNO

С целью определения влияние наличия солнечных трекеров на общую эффективность системы, были проведены эксперименты по сравнению эффективности солнечных элементов, размещенных на стационарную основу с оптимальным углом наклона и размещенных на трекере. Результаты, полученные на основе теоретических расчетов и экспериментов, показывают, что максимальная мощность, получаемая от солнечных панелей, установленных на стационарном основании, составляет 5,64 Вт, или 62,6% от максимальной мощности, указанного разработчиками, которая может быть получена от этой солнечной панели.

Согласно теоретическим расчетам, мощность, получаемая от этой панели, должна была достичь своего максимального значения между 11:00 и 13:00. В результате резкого повышения температуры панелей под воздействием горячего воздуха и прямых падающих световых лучей, реальная средняя мощность, полученная в течение дня, составила 24% от идеальной мощности, которую можно было получить от этой панели. Согласно экспериментам, проведенным параллельно на панелях, установленных на солнечных трекерах,

максимальная мощность была достигнута около 12-30 часов, и в этом случае также наблюдалось снижение мощности во второй половине дня.

По мере увеличения ошибки наклона панелей, размещенных на стационарную основу, процент потерь энергии изменяется экспоненциально. В связи с этим была предложена формула (1) для определения потерь энергии при заданном угле погрешности.

$$\eta_{yt} = \Delta a_t \cdot E_{yb} + E_{a_n} \quad (1)$$

$$\Delta a = |a_n - a_{n+1}| \quad (2)$$

$$E_{yb} = \frac{E_{y(n+1)} - E_{yn}}{\Delta a} \quad (3)$$

где E_{yn} и $E_{y(n+1)}$ – соответственно, значения потерь энергии при углах a_n и a_{n+1} . На основе этих формул был разработан алгоритм расчета оптимального значения угла установки и погрешности угла наклона установленной панели в соответствии с шириной местности.

Четвертый раздел, **«Разработка и исследование селективного фототермогенератора с подвижным щелевым защитным блоком»**, посвящен разработке фототермогенераторов с защитным блоком с подвижной щелью и исследованию их электрофизических и энергетических свойств, на основе результатов практических и теоретических экспериментов с использованием имитационных и реальных моделей, приведенных в предыдущих разделах.

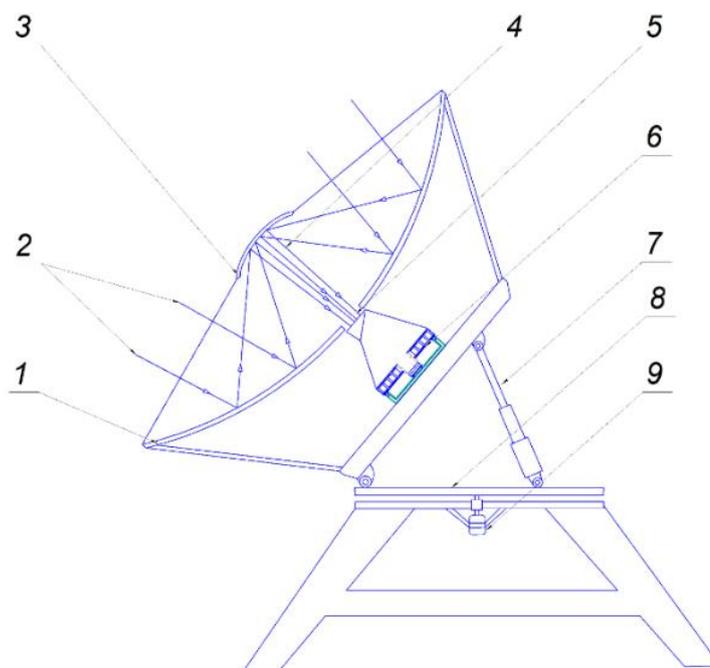


Рисунок 5. Схема селективного фототермогенератора с подвижным щелевым защитным блоком

Для фототермогенератора селективного излучения с подвижным щелевым защитным блоком, показанного на рисунке 5, предполагался создание системы спектрального разделения светового пучка на основе

дисперсионной призмы или дифракционной решетки. Но, в обоих случаях важно, чтобы световой поток падал перпендикулярно точке поверхности фотогенератора.

Для этого, как это была сформулирована в предыдущем разделе, перпендикулярность падающего солнечного света 2 к нормали поверхности концентратора 1 обеспечивается с помощью солнечных трекеров. Вторичное отражающее зеркало 3, расположенное в оптимальной точке фокальной плоскости концентратора, направляет собранные пучки 4 в коллимационную систему 5. При автоматизации процесса выбора фотоактивных лучей в конструкции предполагается, что световой поток, попадающий в точку входа блока защиты, падает перпендикулярно нормали к поверхности блока. Поток параллельных лучей поступает в монохроматор, проектированного по схеме Черни-Тренера и лучи 6, разделенные на спектры, направляются на поверхность блока защиты с подвижной щелью.

Конструктивная схема защитного блока с подвижной щелью представлена на рисунке 6. Верхняя часть защитного блока, состоящая из термоэлементов 11, системы охлаждения 12, подвижной полосы 13, отражающих окон 14, щели 15 и светопринимающей поверхности 16 термоэлементов, перемещается по горизонтали относительно спектрального изображения маломощными шаговыми двигателями 10. В этом случае автоматически пропускает фотоактивные лучи через щель. Фотоэлемент движется синхронно со щелью, так что световой поток, попадающий в блок, падает точно на поверхность фотоэлемента 17. Стабильность температуры внутри блока обеспечивает система теплоизоляции 19 защитного блока 18.

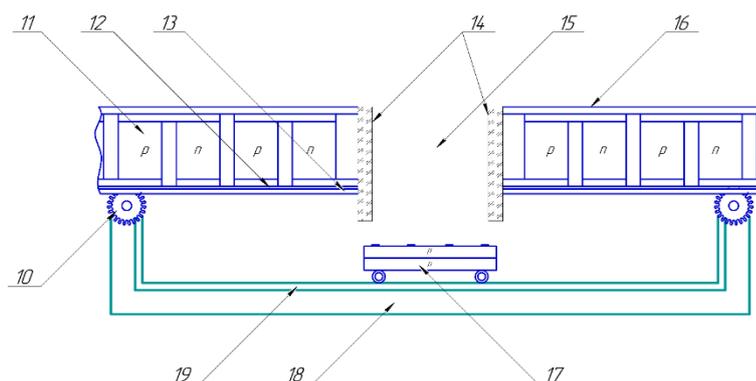


Рисунок 6. Конструктивная схема защитного блока с подвижной щелью

Основное отличие этой конструкции от существующих заключается в том, что фотоэлемент, защищенный от внешних воздействий и нефотоактивного света, и термоэлементы, блокирующие нефотоактивный свет, преобразуют всю поступающую световую энергию в электричество. Кроме того, после разделения световых лучей на спектры фотоактивные и нефотоактивные лучи, без разделения на отдельные направления, направляются в плоскость, состоящую из единой поверхности. Фотоэлементы автоматически размещаются в оптимальной области дифракционного изображения, формируемого на поверхности. Благодаря тому, что на поверхность фотоэлемента направляются только фотоактивные

лучи, отсутствует температурный фактор, отрицательно влияющий на их эффективность. Савокупность световой энергии, сконцентрированная концентратором на несколько солнечных единиц, позволяет уменьшить габарит используемых фотоэлектрических элементов.

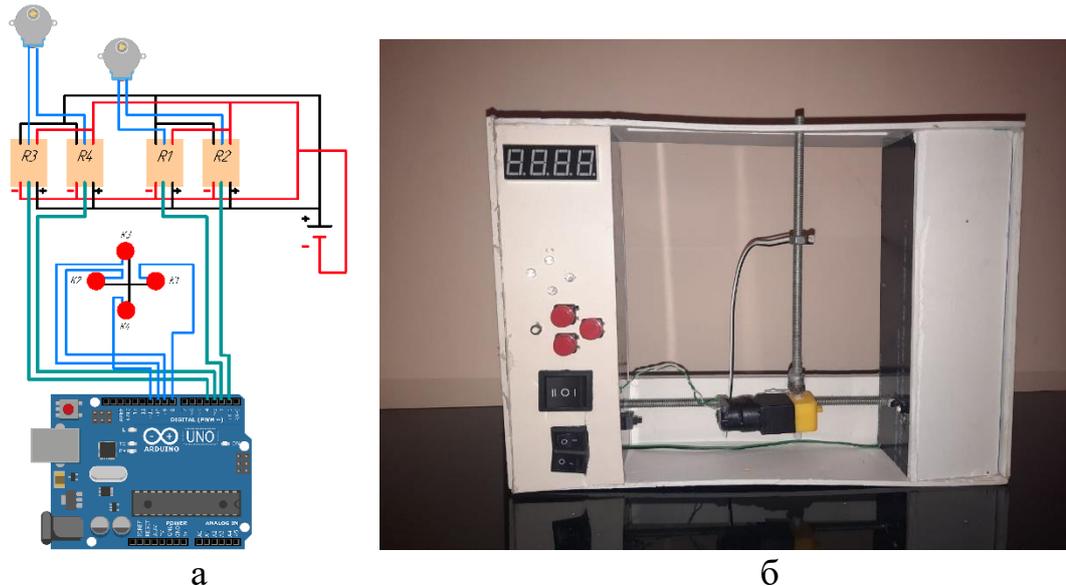


Рисунок 7. Схема(а) и общий вид (б) автоматического устройства для измерения интенсивности света, падающего на поверхность фотоэлемента

Для измерения интенсивности света, падающего на поверхность фотоэлемента, разработано автоматическое устройство на основе схемы, представленной на рисунке 7а.

Устройство основано на платформе Arduino и предназначено для измерения интенсивности света в зоне падения с помощью фоторезистора, установленного на основании, которое можно перемещать вертикально и горизонтально с помощью двух двигателей малой мощности.

Определение оптимальных координат фотоэлемента, входящего в состав фототермогенератора - сложная физико-техническая задача. Потому что, при разделении света на спектры и направлении светового потока определенной длины волны на фотоэлемент, необходимо учитывать несколько физических показателей и технические задачи (рисунок 8).

1. Создание светового потока, перпендикулярный высоте h , поступающего от угла γ призмы.

2. В результате трапециевидного распространения спектра ширина L_λ спектрального изображения, в условном диапазоне $\lambda \in (\lambda_1; \lambda_2)$ длин волн, изменяется при различных значениях M_λ расстояние между призмой и щелью M .

$$L_{M_1} \neq L_{M_2} \quad (4)$$

В частном случае если принять, что длина фотоэлемента l_ϕ и длина щели l равны, необходимо определить значение M , соответствующее условию $l = L_M$, и координату $y = h_{\lambda_M}$, соответствующую условно полученному верхнему пределу светового спектра.

Первая задача решается с помощью солнечного трекера. Решение второй задачи осуществляется с помощью механизма, основанного на специально разработанный алгоритм. Однако данный алгоритм, предназначен только для расчета оптимальных координат позиционирования на горизонтальной оси и используется в одноосных трекерах.

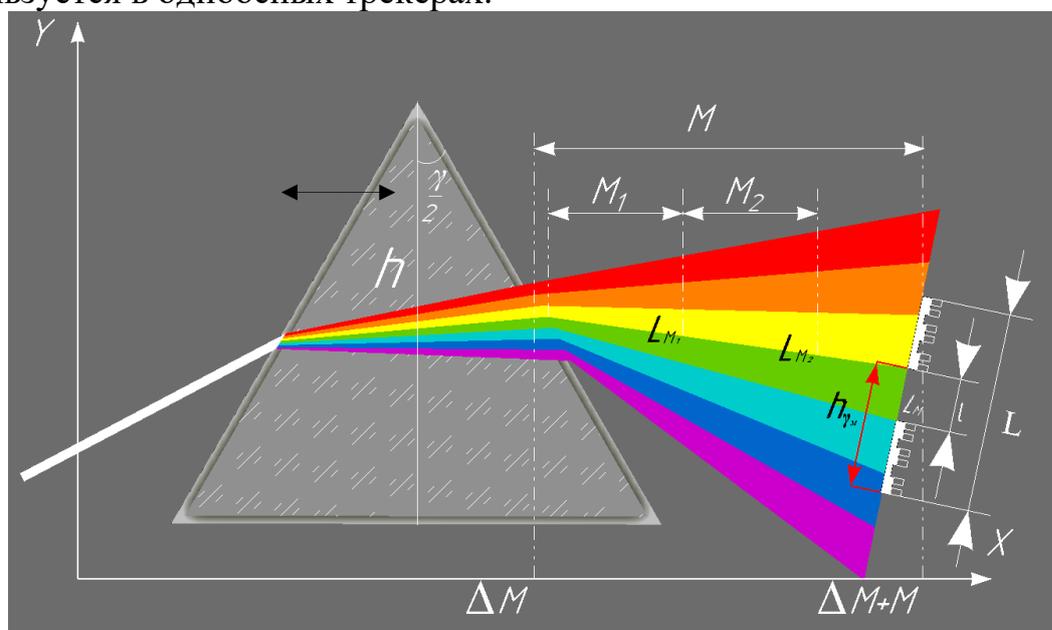


Рисунок 8. Принципиальная схема значений, учитываемых при определении спектральной области

Автоматизированная система, основанная на этом алгоритме, принимает аналоговый сигнал от вольтметра N раз за единицу времени, при движении фотоэлемента по спектру. Полученные значения записываются в массив $V [i]$. На втором этапе процесса, путем сравнения значений, производится выбор оптимальных координат в виде максимальных значений ($coor_x$). Затем фотоэлемент, на основе этих значений, размещается по этой координате.

При исследовании эффективности кремниевого фотоэлемента в конструкции селективного фототермогенератора, в первую очередь, отдельно проверялись электрофизические параметры фото и термоэлементов, входящие в его состав. Для этого был использован солнечный модуль МСМ 12-700, состоящий из фотоэлементов на основе монокристаллического кремния, предназначенный для зарядки свинцово-кислотных аккумуляторов российского производства. Солнечный модуль был помещен в защитную коробку, защищающая от влияния внешних воздействий. Она освещалась через стеклянное окно, покрытой стандартной фольгой со светопропусканием 100%, 72% и 32%. Поскольку опыты проводились в комнатных условиях освещенного галогенными лампами, коэффициент преобразования в естественных природных условиях был принят равным $K = 15 \text{ люкс} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$ вместо $K = 30 \text{ люкс} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$. Расчетные мощности составляли $52,2 \text{ Вт/м}^2$, $39,9 \text{ Вт/м}^2$ и $26,9 \text{ Вт/м}^2$ соответствующие к значениям при освещении 783, 559 и 403 лк. В результате расчетов было установлено, что значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания при этих значениях равны $U_{x. x}$.

=3,91В при $I_{к.з.} = 1,25$ мА, $U_{х.х.} = 4,75$ В при $I_{к.з.} = 2,62$ мА и $U_{х.х.} = 5,19$ В при $I_{к.з.} = 4,8$ мА.

На основании полученных результатов было определено, что максимальная мощность падающего света и электрический ток, полученный от элемента, равны соответственно $Wi(52.2) = 5.2$ Вт, $Wi(39.9) = 4.0$ Вт, $Wi(26.9) = 2.7$ Вт и $Wmax(52.2) = 2,1$ Вт, $Wmax(39.9) = 1,3$ Вт, $Wi(26.9) = 0,6$ Вт.

Для трех рассматриваемых случаев были определены следующие значения коэффициентов эффективности.

$$\eta(52.2) = 0.0403 = 4.0\%$$

$$\eta(39.9) = 0.0325 = 3.3\%$$

$$\eta(26.9) = 0.0222 = 2.2\%$$

Анализы показывают, что при освещении фотоэлемента разной интенсивностью, с использованием источника света с одинаковым спектральным составом света, к. п. д. фотоэлемента изменяется не сильно пропорционально. Было установлено, что несмотря на трехкратное отличие освещенности в первых и третьих случаях, разница в изменениях эффективности составляет всего на 2%. Аналогичные результаты были получены в экспериментальных образцах с более высокой эффективностью (в среднем 15-18%).

На втором этапе эксперимента была проверена чувствительность образцового фотоэлемента к длине волны света. Была проверена к. п. д. фотоэлемента в конструкции фототермогенератора, с первоначальными данными к. п. д. преобразования света в электрическую энергию 6-7%, при длинах волн в диапазоне 400-600 мкм, при температуре +30°C. Значение к. п. д. фотоэлемента определялось в диапазоне 9,7-10%, с максимальным значением мощности $W_{max}(13,4) = 1,3$ Вт, освещенного с интенсивностью 201 люкс с использованием монохроматического светового потока. Этот показатель увеличился до 15-16% с увеличением интенсивности.

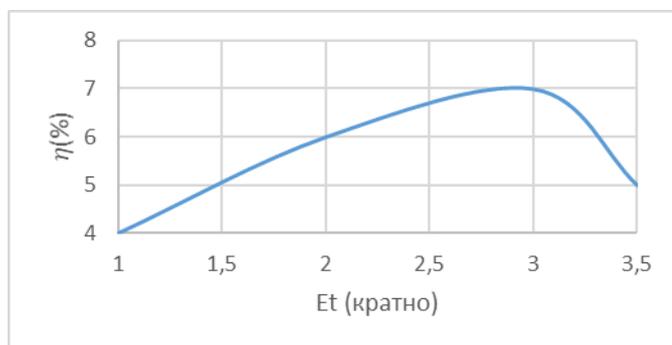


Рисунок 9. Зависимость КПД солнечного модуля МСМ 12-700 от интенсивности излучения

Если учесть то, что температура меняется в зависимости от интенсивности света, направление концентрированного солнечного света в одну точку, для получения большей энергии, обычно приводит к резкому повышению температуры в этой области. Когда температура солнечного

элемента превышала относительный предел, наблюдалось резкое снижение его к.п.д. в n раз (рисунок 9).

Чтобы избежать этой проблемы, сконцентрированный свет был разделен нами на спектр, перед отправкой на фотоэлемент из поликристаллического кремния. В результате, по мере увеличения интенсивности света, показания вольтметра, подключенного как нагрузка, также увеличились (Рисунок 10).

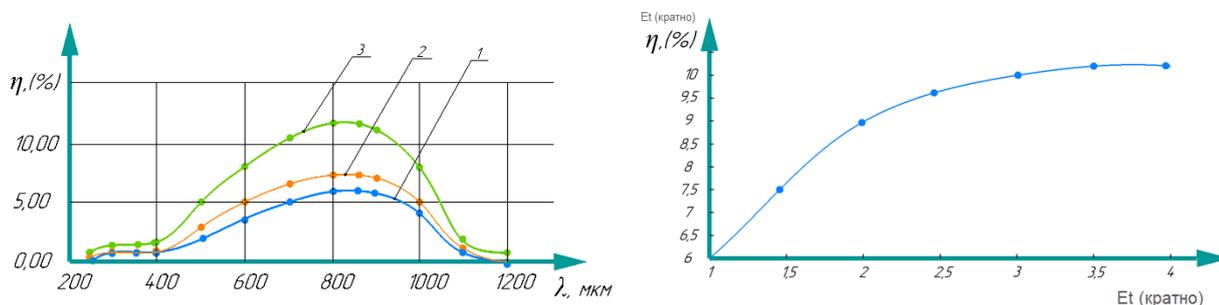


Рисунок 10. Зависимость КПД солнечного модуля МСМ 12-700 в составе фототермогенератора селективного излучение от спектральной чувствительности фотоэлемента (а) (1, 2 и 3 - при освещении с интенсивностью в 1, 2 и 3 раза соответственно) и интенсивности света (б)

Согласно теоретическим расчетам, увеличение интенсивности селективных световых лучей со временем не должно отрицательно сказаться на эффективности работы. Сравнивая результаты, показанные на рисунках 9 и 10б, можно определить, что в первом случае к. п. д. снизилась в 2-3 раза с течением времени. В результате использования селективного света не только снизилась скорость снижения, но и значительно уменьшилась разница между максимальным и минимальным значениями. Если проанализировать среднее значение к. п. д. для двух случаев, можно увидеть, что результаты второго эксперимента в 3-4 раза эффективнее.

В последующих экспериментах, по *исследованию температурной зависимости к. п. д. фотоэлемента*, температура фотоэлемента изменялась в диапазоне от $+25$ до $+45^{\circ}\text{C}$ (рисунок 11).

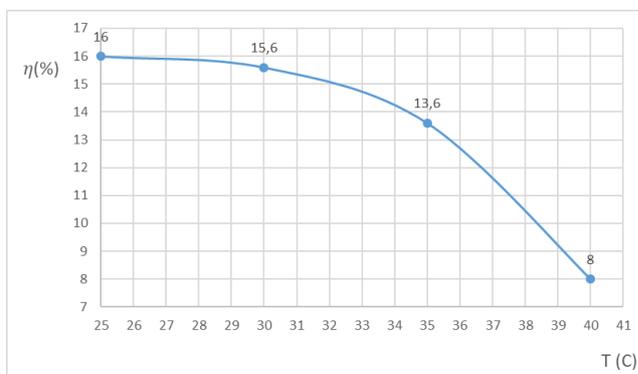


Рисунок 11. Изменение к. п. д. фотоэлемента в зависимости от его температуры

Как видно из рисунка, повышение температуры фотоэлемента на 1°C в диапазоне от $+25^{\circ}\text{C}$ до $+30^{\circ}\text{C}$ и от $+30^{\circ}\text{C}$ до $+35^{\circ}\text{C}$ приводит к снижению его эффективности в среднем на 0,1% и 0,4% соответственно. После увеличения разницы между начальной и конечной температурами до 15°C к. п. д. уменьшался почти вдвое. На следующих этапах солнечные лучи на

поверхности солнечного элемента направлялись сконцентрированно. Изменение интенсивности света осуществлялось перемещением фотоэлемента по оптической оси линзы. Изменяя значение сопротивления резистора, подключенного к электрической цепи в качестве нагрузки, определяли рабочее напряжение, ток короткого замыкания и максимальную мощность.

Результаты, полученные в условиях со средней температурой + 27°C, показывают, что увеличение интенсивности света в 2-3 раза не оказывает сильного положительного влияния на значения к. п. д. Напротив, относительно быстрое снижение его эффективности (рисунок 13) наблюдалось в результате быстрого нагрева фотоэлемента (рисунок 12), освещенного при относительно высокой интенсивности.

Поскольку температурный фактор, отрицательно влияющий на электрофизические параметры солнечного элемента, в основном вызван действием нефотоактивных лучей, эксперименты проводились с использованием селективного света для определения степени влияния этого фактора.

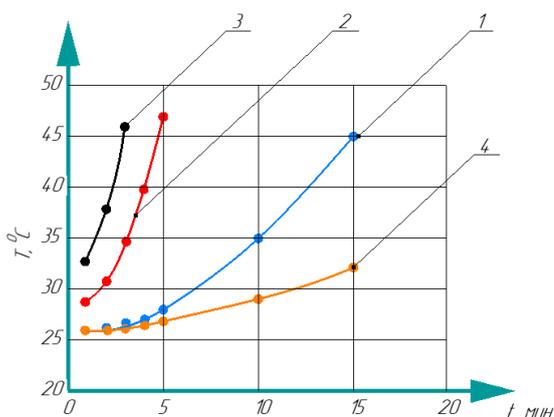


Рисунок 12. Изменение температуры фотоэлементов во времени, освещенных с разной интенсивностью: 1, 2 и 3 - при освещении с интенсивностью в 1, 2 и 3 кратном размере плотностью соответственно; 4-При освещении селективным излучением в 3 кратном размере

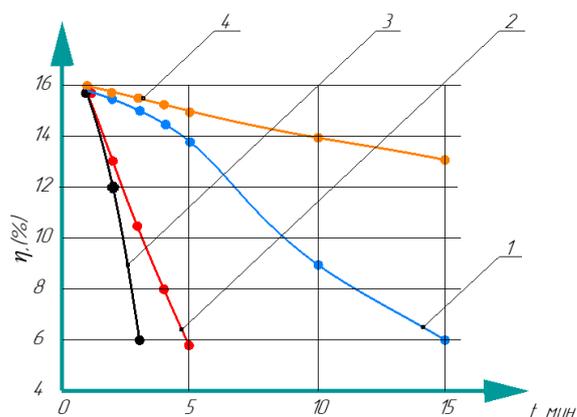


Рисунок 13. Зависимость к. п. д. во времени фотоэлектрических элементов, при разных интенсивностях света: 1, 2 и 3 - при освещении соответственно 1, 2 и 3 кратном увеличении плотности излучения; 4-при освещении селективным светом с 3 кратной плотностью

На следующих этапах эксперимента нефотоактивные лучи блокировались термоэлементами Пельтье, расположенными на поверхности защитного блока. Было замечено, что время нагрева увеличивалось, когда только фотоактивные лучи направлялись на поверхность фотоэлемента. Хотя предыдущие значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания практически не изменились, из – за не попадания нефотоактивных лучей на поверхность фотоэлемента, значение температуры элемента не превышало +37°C. В свою очередь, среднее к. п. д. фотоэлемента во время эксперимента был выше 13%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Создан источник питания мобильной системы освещения мощностью до 100 Вт в виде фототермогенератора селективного излучения с защитным блоком с подвижной щелью. При использовании в системе, солнечного модуля MSM12-700 с суточным КПД 6-7%, был обеспечен его среднесуточный к. п. д. порядка 15-16%;

2. Создан солнечный трекер для фототермогенератора. В результате этого эффективность фотоэлемента с максимальной эффективностью 63% и среднесуточной эффективностью 24% (относительно возможности выработки электроэнергии, указанной в технических характеристиках!) увеличился до 97,5% и 62% соответственно;

3. Разработаны аналитическая формула и основанная на ней алгоритмическая модель, для расчета процента возникающих потерь энергии, в зависимости от величины угла падения света от источника относительно нормали фототермогенератора. В результате этого появились возможности определить координаты оптимального расположения фототермогенератора (нормали параболическому концентратору) относительно угла падения солнечного света;

4. Была разработана алгоритмическая модель, основанная на существующих физических формулах, для исследования электрофизических параметров фотоэлектрической части фототермогенератора селективного излучения с целью использования цифровых технологий. Использование программного комплекса написанных на языке C ++ в среде C++ Builder на основе алгоритмов, позволило подобрать Si фотоэлементов с оптимальными параметрами для фототермогенератора;

5. Разработана технология автоматического размещения фотоэлемента в фотоактивной области спектра. Созданы имитационные и практические модели для исследования оптических параметров фототермогенератора селективного излучения, состоящего из фото- и термоэлементов. В результате было определено, что время нагрева солнечного модуля на основе кремния MSM12-700 в фототермогенераторе было увеличено за счет направления только фотоактивных лучей и значение температуры фотоэлемента поддерживалась на уровне около + 37⁰С.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 ON THE
AWARDING ACADEMIC DEGREES AT THE SCIENTIFIC RESEARCH
INSTITUTE OF SEMICONDUCTOR PHYSICS AND MICROELEC-
TRONICS OF THE NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

FERGANA POLYTECHNICAL INSTITUTE

ZOKIROV SANJAR IKROMJON UGLI

**INVESTIGATION OF THE OPTICAL AND PHOTOELECTRIC
PARAMETERS OF PHOTOTHERMOGENERATORS OPERATING IN
SELECTIVE RADIATION**

01. 04. 10-Physics of semiconductors

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

Tashkent-2022

The theme of the dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2021.4.PhD/T2437.

The dissertation was carried out at the Fergana Polytechnic Institute.

The abstract of the dissertation was posted in three (Uzbek, Russian, English (resume)) languages on the website of the Scientific Council at www.ispm.uz and on the website of "ZiyoNet" Information and Educational Portal at www.ziyo.net.uz.

Scientific supervisor: **Kasimakhunova Anarkhan Mamasadikovna**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Mamadlimov Abdugafur Tshabaevich**
doctor of physical and mathematical sciences, academician

Tagaev Marat Baimuratovich
doctor of technical sciences, professor

Leading organization: **Tashkent State Technical University**

The defense of the doctoral dissertation will be held on "09" 03 2022, at 12-00 at the meeting of the Scientific Council No. DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 at the Scientific Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics of the National University of Uzbekistan (Address: 20 Yangi Olmazor str., 100057 Tashkent city, Uzbekistan. Phone: (+99871) 248-79-94, fax: (+99871) 248-79-92, e-mail: info@ispm.uz).

The doctoral dissertation can be looked through in the ICT Implementation Unit (registered under No 37). Address: 20 Yangi Olmazor str., 100057 Tashkent city, Uzbekistan. Phone: (+99871) 248-79-59, e-mail: info@ispm.uz.

The abstract of the dissertation was distributed on "24" 02 2022 y.
(Registry record No. 37 dated "24" 02, 2022 y.)



[Signature]
Sh. B. Utamuradova,
Chairwoman of the Scientific Council
for the award of scientific degrees,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

[Signature]
J. Khamdamov,
Scientific Secretary of the Scientific Council
for the award of scientific degrees, PhD

[Signature]
Kh.K. Arifov
Chairman of the Scientific Seminar at the
Scientific Council for the Awarding of Scientific Degree,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of the PhD dissertation)

The aim of the research work is to investigate the optical parameters of a semiconductor photoelectric converter in a selective radiation photothermogenerator with a protection unit with a movable slot.

The objects of investigation samples of thermoelements based on semiconductor materials of the ternary compound BiTeSb / BiTeSe and samples of photocells made of silicon semiconductors..

The scientific novelty of the research consists of the following:

for the first time, a protective block with a movable slit for a photothermogenerator of selective radiation was created and an increase in the efficiency of silicon solar panels was achieved with an efficiency of 6-7% up to 15-16%;

it was revealed, as a result of the use of a solar tracker developed for a photothermogenerator, that it is possible to achieve an energy generation efficiency, from the maximum power of a photocell, to 97.5%;

the proposed analytical formula for determining the amount of energy loss depending on the angle of incidence of light made it possible to more optimally adjust the photothermogenerator to the angle of incidence of sunlight;

the developed software package for studying the electrophysical parameters of the photovoltaic part of the selective radiation photothermogenerator made it possible to select semiconductor photocells with the optimal parameter for this device.

for the first time, a technology for automatic placement of a photocell in the photoactive region of the spectrum was developed, as a result of which the heating time of the photocell was increased, and the temperature was maintained at a level not higher than 37°C.

Implementation of research results. Based on the results of the development of design of a semiconductor photothermogenerator of concentrated selective radiation with a protection unit with a movable slot based on semiconductor photo- and thermoelements:

the proposed analytical formula for calculating the percentage of energy losses due to the angle of incidence of light relative to the photothermogenerator normal and the algorithmic model developed on its basis; simulation and practical models designed to study the optical parameters of a photothermogenerator of selective radiation, consisting of photo and thermal elements, are used in the modernization of the heliostatic field control system of a unique scientific and technical installation - the Large Solar Furnace (BSP) with a thermal power of 1 MW at the Institute of Materials Science "Physics Sun "of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan in the project No. IZ-20170927404" Modernization of the control system for the heliostatic field of the Large solar oven ". Using the results of research work, it was possible to evaluate the accuracy of tracking the sun due to differences in the generation of current. (Reference of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan No. 2 / 1255-3213 of 18. 11. 2021).

the results of the dissertation work were applied to the "Unitary enterprise for the use of highways in Buvaida region" in the Fergana region. Tests of the power source of a mobile lighting system with a power of up to 100 W in the form of a selective radiation photothermogenerator with a movable slotted protection unit have been carried out. The use of the results of research work made it possible to achieve the efficiency of the MSM12-700 solar module with a daily efficiency of 6-7% to 15-16%. (Reference of the Committee of AD RUz No. 02-3756 dated September 27, 2021).

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, list of references and applications. The text of the dissertation consists of 124 pages, including 44 figures and 7 tables.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. А. М. Касимахунова, С. И. Зокиров. Фототермоэлектрик батареялар. Монография. Фарғона: Classic, 2021 йил. 150 с.
2. S. I. Zokirov, L. K. Mamadaliyeva, M. A. Norbutaev. Research of production characteristics of single-crystal silicon based photocells using a photothermogenerator of selective radiation // STJ FerPI. – Fergana, 2020. Vol. 24, Spec. Iss. – pp. 169-172. (05.00.00, №20)
3. A. M. Kasimakhunova, S. I. Zokirov, D. B. Sarsenbaev. Analysis of the efficiency of polycrystalline-silicon photocells mounted on a fixed and moving substrate // Science and Education in Karakalpakstan (Қорақалпоғистон Республикаси олий таълим муассасалари олимларининг илмий тўплами). – Karakalpakstan, 2020. Iss. 2. – pp. 84-90. (05.00.00, №27)
4. А. М. Касимахунова, С. И. Зокиров, Д. Н. Мухторов. Қўзғалувчан тирқишли химоя блокига эга фототермогенераторнинг автоматлаштирилган конструкциясини лойиҳалаш // НамМТИ илмий-техника журнали. – Наманган, 2020. - Том 5, №1. – С. 177-182. (05.00.00, №33)
5. С. И. Зокиров, М. Н. Собиров, Х. Х. Турсунов, М. М. Собиров. Разработка гибридной модели термофотогенератора и эмпирический анализ зависимости эффективности фотоэлемента от температуры. // Вестник ТашИИТ. – Ташкент, 2019. - №3. – С. 97-105. (05.00.00, №11)
6. A. Kasimakhunova, S. I. Zokirov, M. A. Norbutaev. Development and Study of a New Model of Photothermogenerator of a Selective Radiation with a Removable Slit. // International journal of advanced research in science, engineering and technology. India, 2019. – Vol. 6, Iss. 4. – pp. 8796-9799. (05.00.00, №8)

II бўлим (II часть; part II)

7. С. И. Зокиров, З. Обиджонов. Гибридная фото-термоэлектрическая система селективного излучения с защитным блоком. // Universum: технические науки. – Россия, 2021. – Том 4, №3(84). – С. 12-17. (02.00.00, №1)
8. С. И. Зокиров, М. А. Норбутаев. Солнечный трекер для фототермогенератора селективного излучения. // Universum: технические науки. – Россия, 2021. – Том 5, №4(85), – С. 9-14. (02.00.00, №1)
9. L. K. Mamadaliyeva, S. I. Zokirov. Algorithmic model of research of the temperature dependence of the basic parameters of solar cells based on pure semiconductors Ge and Si. // STJ FerPI. – Fergana, 2020. Vol. 24, Iss. 1. – pp. 60-66 (05.00.00, №20)
10. Л. К. Мамадалиева, С. И. Зокиров. Проблемы автоматизации нахождения оптимальных координат фотоэлемента в фототермогенераторе селективного излучения. // Вестник Туринского политехнического Университета. – Ташкент, 2019. – №4. – С. 88-93. (05.00.00, №25)

11. L. Mamadaliyeva, S. I. Zokirov. Automation problems of finding the optimal coordinates of a photocell in a selective radiation photothermogenerator. // International journal of advanced research in science, engineering and technology. – India, 2019. – Vol. 6, Iss. 9. – pp. 10931-10936. (05.00.00, №8)

12. Sh. A. Olimov, M. A. Kasimakhunova, L. K. Mamadaliyeva, R. Nurdinova, S. I. Zokirov. Development and research of heterostructures with an internal thin layer based on p-type silicon. // European Science Review. – Austria, 2018. – №9-10, Vol. 1. – pp. 183-186. (05.00.00, №3)

13. С. И. Зокиров. Методы измерение электрофизических параметров полупроводниковых солнечных элементов. // Материалы V Международной конференции по «Оптическим и фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро- и наноструктурах». – Фергана, 2020. – С. 126-129.

14. С. И. Зокиров. Review of methods for measuring the electrical resistivity of semiconductor solar cells. // «Иқтидорли талабалар, магистрантлар, докторантлар ва мустақил изланувчилар Республика илмий-амалий анжумани. – Фарғона, 2020. – С. 160-163.

15. С. И. Зокиров. Analysis of the dependence of the performance of silicon semiconductors on temperature // «Иқтидорли талабалар, магистрантлар, докторантлар ва мустақил изланувчилар» Республика илмий-амалий анжумани. – Фарғона, 2020. – С. 163-166.

16. А. Касимахунова, С. И. Зокиров, М. А. Норбўтаев. Фототермогенератор селективного излучение с подвижной щелью // Международный сертификат на авторское произведение. – Germany, 2018. – № ЕС-01-002848.

17. С. И. Зокиров, З. Обиджонов. Қуёш панеллари самарадорилигини оширишда қуёш трекерларининг аҳамияти // Иқтидорли талабалар, магистрантлар, докторантлар ва мустақил изланувчилар online илмий-амалий анжумани. – Фарғона, 2020. – С. 265-266.

18. С. И. Зокиров. Оптимал бурчакли қўзғалмас асос ва қуёш трекерига жойлаштирилган фотоэлементларнинг самарадорлиги // «Муқобил энергия манбаларидан фойдаланишнинг жорий ҳолати ва истиқболлари» Республика онлайн илмий-амалий конференцияси. – Тошкент, 2020. – С. 426-428.

19. S. I. Zokirov, M. I. Parpiev. Photo-thermoelectric conversion of solar energy using a photothermogenerator // ЛОГОΣ Online. – Ukrain, 2020. – doi:10.36074/2663-4139.05.06(№35. CrossRef IF U/E (2020))

20. А. М. Касимахунова, Ш. А. Олимов, Л. К. Мамадалиева, С. И. Зокиров, М. А. Норбўтаев. Фототермопреобразователь избирательного излучение // «Solar energy: trends of researchs and developments». International conference. – Tashkent, 2019.

21. С. И. Зокиров, З. О. Обиджонов, Х. Х. Турсунов. Қуёш панелларининг оптимал оғиш бурчаги, йўл қўйилган хатолик ва энергия йўқотиш фоизини ҳисоблаш алгоритмини ишлаб чиқиш // «Техника ва технологик фанлар соҳаларининг инновацион масалалари» Республика илмий-анжумани. – Термиз, 2019. – С. 205-207.

22. С. И. Зокиров, Д. Абдурахимов. Исследование производственных характеристик фотоэлементов с использованием фототермогенератора селективного излучения // II международная научно-практическая конференция по «Приоритетные направления научных исследований». – Россия, 2019. – С. 58-62.

23. А. Касимахунова, С. И. Зокиров, М. Норбутаев. Исследование механизма протекания тока вдоль ветвей одно и двух каскадных термоэлементах // Международная конференция «Современные проблемы физики полупроводников». – Каракалпакстан, 2019. – С. 207-208.

24. С. И. Зокиров, И. Б. Омонилаев, З. О. Обиджонов. Эмпирический анализ зависимости эффективности фотоэлемента от интенсивности света с использованием фототермогенератора селективного излучения // Международная конференция «Современные проблемы физики полупроводников». – Каракалпакстан, 2019. – С. 63-65.

25. С. И. Зокиров, Д. Д. Шералиев. Фототермогенераторлар учун кўзгалувчан тирқишли химоя блоки конструкциясини яратиш ва тадқиқ қилиш // I Международная научно-практическая конференция по «Актуальные проблемы внедрения инновационной техники и технологий на предприятиях по производству строительных материалов, химической промышленности и в смежных отраслях». – Фергана, 2019. – Том 3. – С. 154-156.

26. С. И. Зокиров, Ш. С. Назиржонова. Фототермогенераторларнинг химоя блоки конструкциясини яратиш ва тадқиқ қилиш // «Қайта тикланувчи энергия манбалари ва барқарор атроф муҳит физикаси» Республика илмий-техникавий анжумани. – Қарши, 2019. – С. 108.

27. A. M. Kasimakhunova, S. I. Zokirov, M. A. Norbutaev. Development and research of a new model of photothermogenator selective radiation // International Congress of the Turkic World on health and natural sciences. – Kyrgyzstan, 2019.

28. Ш. А. Олимов, А. М. Касимахунова, С. И. Зокиров, М. Норбутаев, М. Абдуллаева, Б. И. Омонуллаев. Разработка и исследование гетероструктур с внутренним тонким слоем на основе кремния р-типа // Материалы IV международной конференции по оптическим и фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро и нано структурах. – Фергана, 2018, - С. 254-258.

29. Л. К. Мамадалиева, С. И. Зокиров. Технологические аспекты создания термоэлектрической части фототермопреобразующих устройств // Физика-электроника бўйича 7-халқаро конференция. – Термиз, 2018. – С. 80.

30. С. И. Зокиров, З. Обиджонов. Кўзгалмас асосли куёш панелларининг оптимал жойлашиш бурчагини аниқлаш // «Иқтидорли талабалар, магистрантлар, докторантлар ва мустақил изланувчилар» республика илмий-амалий анжумани. – Фарғона, 2018.

31. С. И. Зокиров, Д. Б. Сарсенбаев, А. Қ. Хомидов. Яримўтказгичлар асосида фотоэлементларнинг электрофизик параметрларини ҳисоблаш тизими // Расмий ахборотнома. – Тошкент, 2020. – № 233. – DGU08834. – С. 359-360.

32. А. М. Касимахунова, С. И. Зокиров, И. Р. Мамасодиқов. «“Optometrics” – оптик катталиқларни ҳисоблаш тизими» // Расмий ахборотнома. – Тошкент, 2020. – № 3(227). – DGU07818. – С. 464-465.

Автореферат “Тил ва адабиёт таълими” журнали тахририятида тахрирдан ўтказилиди ва ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди (16.02.2022 йил).

Бичим 60x841/16. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.

Шартли босма табағи: 3. Адади 60. Буюртма №32

Гувоҳнома reester № 10-4434

Яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий-тадқиқот институти босмаҳонасида чоп этилган.

Босмаҳона манзили: 100057, Тошкент ш., Янги Олмазор кўчаси 20-уй

