

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ ВА САМАРҚАНД ДАВЛАТ  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ 14.07.2016.ФМ/Т.12.01 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ**

**ЮЛДОШЕВ ИСРОИЛ АБРИЕВИЧ**

**КРИСТАЛЛИ КРЕМНИЙ ФОТОЭЛЕКТРИК БАТАРЕЯЛАРИ  
АСОСИДА БИРИКТИРИЛГАН ЭНЕРГЕТИК ҚУРИЛМАЛАР**

**05.05.06 – Қайта тикланидиган энергия турлари асосидаги  
энергия қурилмалари  
(техника фанлари)**

**ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2016**

**Докторлик диссертацияси автореферати мундарижаси**  
**Оглавление автореферата докторской диссертации**  
**Content of the abstract of doctoral dissertation**

**Юлдошев Исроил Абриевич**

Кристалли кремний фотоэлектрик батареялар асосида бириктирилган энергетик курилмалар..... 3

**Юлдошев Исроил Абриевич**

Комбинированные энергоустановки на основе фотоэлектрических батарей из кристаллического кремния..... 29

**Yuldoshev Isroil Abrievich**

Combined energy installations based on the photoelectric batteries from crystalline silicon..... 55

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ ..... 78  
List of published works .....

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ ВА САМАРҚАНД ДАВЛАТ  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ 14.07.2016.ФМ/Т.12.01 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ**

**ЮЛДОШЕВ ИСРОИЛ АБРИЕВИЧ**

**КРИСТАЛЛИ КРЕМНИЙ ФОТОЭЛЕКТРИК БАТАРЕЯЛАРИ  
АСОСИДА БИРИКТИРИЛГАН ЭНЕРГЕТИК ҚУРИЛМАЛАР**

**05.05.06 – Қайта тикланидиган энергия турлари асосидаги  
энергия қурилмалари  
(техника фанлари)**

**ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2016**

Докторлик диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида 30.09.2014/В2014.3–4Т252 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Физика-техника институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз) Илмий кенгашнинг веб-саҳифаси (fti-kengash.uz) ва “ZiyoNet” ахборот-таълим порталига (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

<b>Илмий маслаҳатчи:</b>	<b>Турсунов Муҳаммад Нишанович</b> техника фанлари доктори
<b>Расмий оппонентлар:</b>	<b>Муҳаммадиев Муродулла</b> техника фанлари доктори, профессор <b>Хайриддинов Ботир Эгамбердиевич</b> техника фанлари доктори, профессор <b>Абдукодиров Муҳиддин Абдурашидович</b> техника фанлари доктори, профессор
<b>Етакчи ташкилот:</b>	<b>Фарғона политехника институти</b>

Диссертация ҳимояси Физика-техника институти ва Самарқанд давлат университети ҳузуридаги 14.07.2016.ФМ/Т.12.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2016 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_куни соат \_\_\_даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Бодомзор йўли кўчаси, 26-уй. Тел./факс: (99871) 235-42-91, e-mail: lutp@uzsci.net, Физика-техника институти мажлислар зали).

Докторлик диссертацияси билан Физика-техника институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (04 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Бодомзор йўли кўчаси, 26-уй, Физика-техника институти. Тел./факс: (99871) 235-30-41.

Диссертация автореферати 2016 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_ куни тарқатилди.  
(2016 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_ даги \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси)

**С.Л. Лутпуллаев,**  
фан доктори илмий даражасини берувчи  
илмий кенгаш раиси ф.-м.ф.д., профессор

**А.В. Каримов**  
Фан доктори илмий даражасини берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби, ф.-м.ф.д.,  
профессор

**А. Абдурахмонов**  
Фан доктори илмий даражасини берувчи  
илмий кенгаш ҳузуридаги илмий семинар  
раиси ўринбосари, т.ф.д.

## **КИРИШ (докторлик диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти.** Жахонда бугунги кунда қизғин ривожланаётган гелиоэнергетика йўналишида муҳим физик - техник муаммолардан бири янги материалларни қуёш элементиغا татбиқ қилиш имкониятларини аниқлаш ва узоқ ишлаш муддатига эга, арзонлиги билан фарқланувчи, ҳар хил иқлимий шароитларга мослашиш имконияти мавжуд бўлган фотоэлектрик ўзгартиргичларни ишлаб чиқишдан иборат. Шу нуқтаи назардан бириктирилган фотоиссиқлик энергия тизимлари соҳасининг ривожини истиқболли йўналишлардан бири бўлиб ҳисобланади.

Фотоэлектрик ўзгартиргичларда иссиқлик ажралиши билан боғлиқ ва қўшимча қуёш нурланиши спектрини қамраб олишни таъминлаш орқали электр энергияси ишлаб чиқаришни маълум даражада ошишини таъминловчи бириктирилган фотоэлектрик ва термоэлектрик тизимларини ишлаб чиқаришга мамлакатимиз олимлари томонидан алоҳида эътибор қаратилган. Бу соҳада металл ва полимер трубкalar асосидаги сув билан совитиладиган конструкция ёрдамида ҳароратни пасайтириш имконини берувчи бириктирилган фотоиссиқлик қурилмасини яратиш, шунингдек совитувчи элемент – конструкцияси ёрдамида (вентилятор, иссиқлик коллектори билан) фотоэлектрик батарея параметрларини маълум бир даражада тиклаш, замонавий талабларга жавоб берувчи конструкциялар ишлаб чиқиш борасида сезиларли натижаларга эришилмоқда.

Бириктирилган фотоэлектрик ва термоэлектрик тизимларини ишлаб чиқишда бутловчи қисмларни муваффақиятли саралаб танлаб олиш, шунингдек қуёш элементи жуфтлигида электр энергиясини ишлаб чиқариш фойдали иш коэффициентини ошириш муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу борада иссиқ иқлим шароитидаги минтақаларда бошқа қурилмалар билан кристалл кремний асосидаги бириктирилган фотоэлектрик қурилмани яратиш, фотоэлектрик батареянинг орқа юзаси билан ҳар хил юзада туташтириладиган “буфер” иссиқлик қабул қилгич асосидаги фотоиссиқлик қурилмасининг тайёрлаш технологиясини ишлаб чиқиш, фотоиссиқлик батарея электрофизик ва иссиқлик техникавий параметрларини оптималлигини таъминлаш, ҳудудлар учун иқлим шароитига жавоб берадиган совитиш ускунасига эга фотоэлектрик батареясини ишлаб чиқариш муҳим ҳисобланади. Юқорида келтирилган илмий-тадқиқотлар йўналишида бажарилаётган илмий изланишлар мазкур диссертация мавзусининг долзарблигини изоҳлайди.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2013 йил 1 мартдаги ПҚ–4512-сон “Муқобил энергия манбаларини янада ривожлантириш чора - тадбирлари тўғрисида”ги Фармони ва 2015 йил 5 майдаги ПҚ–2343-сон “2015–2019 йилларда ижтимоий соҳа ва иқтисодиёт тармоқларида энергия сарфини қисқартириш, энергиятежамкор технологияларни татбиқ этиш чоралари дастури тўғрисида”ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли

бошқа меъерий-хукукий 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 IV. “Қайта тикланувчи энергия манбаларини ишлатиш усулларини ривожлантириш, бошқа илғор технологиялар ва фотоника, нанотехнологиялар асосидаги қурилмалар ва технологияларни яратиш” устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи.<sup>1</sup>**

Ҳар хил конструкцияли бириктирилган фотоиссиқлик қурилмалар параметрларини ўрганиш ва конструкция ишланмаларига оид муаммоларга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари, институт ва олий таълим муассасалари, жумладан, Photovoltaic Special Research Centre, University of New South Wales Sidney, (Australia), Massachusetts Technological Institute (USA), Dept. of Mechanical and Aerospace Engineering, university of Roma (Italy), Energy Research Centre (Netherlands), City University of Hong Kong (China), Department of Mechanical and Materials Engineering, Queen’s University (Canada), Brno University of Technology (Czech Republic), Қишлоқ хўжалигини электрлаштириш Умумроссия илмий-тадқиқот институти (Россия) олиб борилмоқда.

Кристалл кремнийли қуёш элементлари асосида фотоэлектрик батареяни бошқа қурилмалар билан бириктиришга оид муаммолар юзасидан жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан, қуйидаги илмий натижалар олинган: Жанубий кутбда эксплуатация вақтида одатий шароитда (300 K) уларнинг самарадорлиги 23,5% бўлса,  $-33^{\circ}\text{C}$  да (239 K) бу натижа 25,9% га оширувчи қурилма ишлаб чиқилган (Сидней); икки абсорберли фотоиссиқлик батареялари (ФИБ) иссиқлик самарадорлиги юқори кўрсаткичга эгаллиги аниқланган (Массачусетс технология институти); полимер материаллар асосида фотоэлектрик батареяни совитиш усуллари ишлаб чиқилган (Брно технология университети); электромагнит қопқокни қўллаш орқали иссиқлик ташувчини ўлчовли узатиш ва очиқ контурли фотоиссиқлик батарея асосидаги қўшма генерацияли қуёш қурилмасининг технологик схемаси ишлаб чиқилган (Қишлоқ хўжалигини электрлаштириш Умумроссия илмий-тадқиқот институти).

Бугунги кунда истеъмолчилар талаб даражасидаги кремнийли фотоэлектрик батарея асосидаги бириктирилган энергетик қурилмаларнинг конструкцияларини яратиш бўйича қатор, жумладан, қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: қурилманинг фойдаланиш самарадорлигини ошириш учун акслантирувчи ускуналарни қўллаш; нисбатан арзон материаллардан фойдаланиш; қурилманинг электр ва иссиқлик техникавий параметрларини оптималлаштириш; совитиш

---

<sup>1</sup>Диссертация мавзуси бўйича халқаро илмий-тадқиқотлар шарҳи: Annual Report. UNSW Photovoltaic Special Research Centre, University of New South Wales // Sidney, Australia.; [www.elsevier.com/locate/apenergy](http://www.elsevier.com/locate/apenergy) / Ж. Applied Energy. 2009-2014; [www.elsevier.com/locate/solener/](http://www.elsevier.com/locate/solener/). Ж. Solar Energy, 2002-2006; Energy and buildings, 2006; Ж. Техника в сельском хозяйстве. 2013; ва бошқа манбалар асосида бажарилган.

мосламаларини катта қувватли фотоэлектрик станцияларга жорий этиш.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Фотоиссиқлик қурилманинг ҳар хил конструкциялари параметрларини илмий-назарий нуқтаи назардан ўрганишга йўналтирилган илмий-тадқиқотлар хорижлик олимлар Т.Т.Сhow, Н.Р.Сarg, Р.К.Аgarwal, С.А.Кalогirou, Y.Tripаnаgnostopoulos, В.Сandnes, J.А.Rekstad кабилар томонидан ўрганилган. S.A.Kalogirou ва Y.Tripаnаgnostopoulosлар биргаликда термосифон жараёнида ишлайдиган мажбурий циркуляция режимидан фойдаланиб фотоиссиқлик қурилмасининг параметрларини тадқиқ этишган. Улар фотоэлектрик модулнинг рс-Si ва а-Si турлари асосидаги фотоиссиқлик қурилмаларнинг 12 хил варианты иш режимларини моделлаштириш орқали тадқиқ қилиш юзасидан урта шаҳарда илмий изланишлар олиб боришди. Натижада а-Si асосидаги фотоиссиқлик батареяси таннархи кам харажатли, ҳароратбардошли каби бир қанча афзалликларга эга эканлиги аниқланди.

Республикамызда иссиқ иқлим шароитларида фотоиссиқлик батареясининг юқори самарадорликка эга бўлишига бағишланган илмий-тадқиқотларни М.Мирзабаев, М.Н.Турсунов, Р.А.Муминов, А.Комиловларнинг илмий ишларида кузатиш мумкин. Бундан ташқари фотоиссиқлик қурилмаларининг параметрларини назарий ва экспериментал тадқиқ этиш юзасидан кенг миқёсли шарҳларни Р.Р.Авезов, Ж.С.Ахатовлар томонидан олиб борилган илмий-тадқиқот ишларида ҳам кузатиш мумкин.

Сўнгги йилларда олимлар ва ишлаб чиқарувчи мутахассислар томонидан бириктирилган ўзгартиргичлар ёрдамида тушаётган қуёш нурланишидан тўлиқ ва самарали фойдаланиш мумкинлиги ҳақида таклифлар киритилмоқда. Бундай ўзгартиргич икки, уч ёки ундан ортиқ бир хил физик турдаги қурилмаларни ўзига бириктириб, ҳар бири қуёш спектрининг ўзига хос қисмини ўзгартиради. Масалан, каскадли қуёш элементи ёки фотоэлектрик батареялар ёки физик моҳиятига кўра энергияни ўзгартирувчи икки ускуна: фотоэлектрик ва иссиқлик. Кўпчилик потенциал имкониятга эга истеъмолчилар қуёш энергетикасига бириктирилган ўзгартиргичлар орқали энергия олишга муваффақиятли киришишади. Бириктирилган фотоиссиқлик ва фото-термоэлектргенерация қурилмалари ёрдамида қуёш нурланишини электр ва иссиқлик энергиясига ўзгартириш муаммолари иссиқ иқлим шароитида бошқа қурилмалар билан таққосланганда (масалан, стандарт фотоэлектрик батарея, қуёш коллекторлари ва бошқалар) тўлиқ ўрганилмаган. Чоп этилган илмий ишлар кўпчилик ҳолларда муаммонинг фақат назарий жиҳатларини қамраб олган.

Қуёш элементини термоэлемент билан бириктириш ҳақидаги бошланғич ғоя М.С.Соминский ва Ю.Н.Малевскийлар томонидан киритилган эди. Муаллифлар лаборатория шароитида бундай қурилмаларнинг бир қанча конструкцияларини тадқиқ этишди. Аммо бугунги кунга қадар амалий жиҳатдан термоэлектрик батареяларнинг оптимал ўлчамларида фойдали иш коэффициентини ва юқори қувват олиш, шунингдек, табиий қуёш шароитида бутун тизимдан юқори қувват олиш нуқтаи назаридан фото-термоэлемент параметрларини оптималлаштириш муаммолари ҳал этилмасдан қолмоқда.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасаси илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Физика-техника институти илмий-тадқиқот ишлари режасининг А4–ФА–0–26793 “Тўғри ва зичлаштирилган қуёш нурланиши ва совитиш тизимига эга фототермоэлементлар асосидаги бириктирилган энергетик қурилмани яратиш” (2012–2014), “Ўзбекистон–Корея – 2012” МК–47/2012 лойиҳа асосида “Қишлоқ аҳолиси учун кўчма фотоэлектрик таъминот манбаи ишланмаси ва уни тайёрлаш” (2013–2015), ИЗ–ФА–0–11738 инновацион лойиҳа асосидаги “Чорвачилик фермаси объектларини энергия билан таъминлаш учун фотоэлектрик, фотоиссиқлик ва биогаз қурилмалари асосидаги автоном кўп функцияли комплексни яратиш ҳамда ишга тушириш” мавзуларидаги давлат дастури лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** тўғри ва акслантирилган қуёш нурланиши учун оптимал параметрларга эга бўлган иссиқ иқлим шароитларига мўлжалланган фотоэлектрик батарея асосида бириктирилган энергетик қурилмаларни ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

Ўзбекистон иқлим шароитига мос келадиган совитиш мосламали фотоэлектрик батареяларнинг тажриба намунасини ишлаб чиқиш;

фотоиссиқлик батареяси иссиқлик иш режимларини моделлаштириш орқали қурилма ишининг иссиқлик техникавий параметрларини аниқлаш методикасини ишлаб чиқиш;

иқлимий ва эксплуатацион омиллар таъсирини ҳисобга олган ҳолда фотоэлектрик батарея самарадорлиги ўзгариши бўйича мониторинг олиб бориш;

фотоэлектрик батареянинг орқа юзаси билан ҳар хил юзада бириктириладиган “буферли” иссиқлик қабул қилгич тайёрлаш технологиясини ишлаб чиқиш;

фотоэлектрик батареянинг қувватини 1,5 марта ошириш учун унинг олд юзасининг ён томонларида акслантирувчи ускуналарни (рефлекторлар) тайёрлаш ва конструкция вариантларини ишлаб чиқиш;

фототермоэлектргенерация ҳамда фотоиссиқлик қурилмалари самарадорлигини ошириш вариантларини қидириш ва энергия йўқотишлари соҳасини аниқлаш;

фототермоэлектргенерация ва фотоиссиқлик қурилмаларининг кўчма ва стационар вариантлари тажриба намунасини тайёрлаш, табиий шароитда эксплуатацион параметрларини ўрганиш;

совутиш мосламасига эга фотоэлектрик батарея асосидаги бириктирилган қурилмаларнинг ҳар хил вариантларидан фойдаланишда қиёсий техник иқтисодий таҳлил олиб бориш.

**Тадқиқотнинг объекти** бириктирилган фотоэлектрик қурилмалар, шунингдек ҳар хил совитиш мосламасига эга фотоиссиқлик ва фото-термоэлектргенерация қурилмаларидан иборат.

**Тадқиқотнинг предмети** фотоиссиқлик батареясининг иссиқлик модели, шунингдек фотоэлектрик батареянинг энергетик параметрларига ҳар

хил иқлимий омиллар (қуёш радиацияси, ҳаво ҳарорати, ҳавонинг чангланганлиги, намлик, шамол тезлиги ва бошқалар) таъсирини ўрганишдан иборат.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида моделлаштириш, чангланиш даражасини аниқлаш, совутиш ва фотоэлектрик батареянинг вольтампер, фотоэлектрик, иссиқлик ва оптик характеристикаларини тадқиқ этиш усуллари қўлланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

фотоэлектрик батареяни Қуёшга нисбатан оператив равишда ориентация қилишнинг интерфейс усули таклиф қилинган;

иссиқ иқлим шароитларига мослаштирилган қўшимча қуёш элементлари билан таъминланган фотоэлектрик батарея конструкцияси ишлаб чиқилган;

фотоэлектрик батареянинг ҳарорат динамикасини ўзгаришини аниқлашга имкон берувчи Solid Works Flow Simulation дастурида фотоиссиқлик қурилмасининг иссиқлик модели ишлаб чиқилган ва фотоиссиқлик батареяси ҳароратига сув оқими тезлиги таъсири баҳоланган, фотоиссиқлик батареясининг иш ҳарорат режимининг барқарорлигини таъминловчи совитувчи трубкалар учун материаллар тури ва уларнинг металл-лист асосидаги (иссиқлик ютувчи материал) абсорбернинг конструкция элементига боғлиқлиги аниқланган;

илк бор экспериментал фотоэлектрик батарея ўлчамларига мутаносиб акслантирувчи рефлекторларнинг қўлланилиши қуёш нурланиши оқим зичлигини 1,6 марта ва мос равишда қуёш элементлари қувватини 18% га, термобатареяда эса 47% ортишига олиб келган. Термоэлектрик батареяларнинг қўлланилиши ҳисобига қуёш элементининг ҳарорати пасайиши натижасида қуёш элементларининг самарадорлиги 2% га ортиши аниқланган;

юзаси тоза ва чангланган фотоэлектрик батареяда фойдали иш коэффициенти нисбий ўзгаришини аниқлашга имкон берувчи фотоэлектрик батарея юзасининг чангланиш даражасини аниқлаш усули таклиф этилган;

бошқариладиган совутиш мосламасига эга фотоэлектрик қурилма ишлаб чиқилган, иккита айнан ўхшаш фотоэлектрик батареянинг эксплуатацион характеристикаларига мажбурий ҳаво совутишнинг таъсири ўрганилган ҳамда фотоэлектрик батарея қувватининг совитувчи ҳаво оқим тезлигига чизикли боғлиқлиги аниқланган;

фотоиссиқлик батареяси электрик қувватини 38% га ўзгартирувчи полимер трубкалар асосида совутиш мосламасига эга фотоиссиқлик қурилмасининг янги варианты ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

иссиқ иқлим шароитларига мослаштирилган фотоэлектрик батарея ва фойдаланиш самарадорлигини ошириш учун фотоиссиқлик ва мажбурий ҳаво совитиш ускунасига эга фотоэлектрик қурилма ишлаб чиқилган;

аккумулятор батареясида зарядлаш токиннинг кўтарилиши ҳисобига зарядлаш вақтининг кескин камайишига олиб келадиган фотоэлектрик

батарея ҳароратини тушириш усуллари таклиф этилган;

қуёш элементи параметрларини аниқ ўлчаш ва қуёш нурланишининг оптимал тушиш бурчагини аниқлаш учун Visual Basicда дастур ишлаб чиқилган ва у асосида фотоэлектрик батареяларнинг ориентация жараёнидаги оптимал бурчагини аниқловчи қурилма яратилган;

атмосфера ёғинлари таъсирида фотоэлектрик батарея қоплама шиша юзасининг чангланиш даража мезонларини аниқлаш усули ишлаб чиқилган;

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот жараёнида қўлланилган замонавий ёндашув ва усуллар, назарий маълумотларнинг олинган тажриба натижалари билан мос келиши, узвий бирлик, замонавий ўлчов аппаратларини қўллаш, шунингдек, ўлчов натижаларининг такрорий қайта ишланганлиги билан изоҳланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундаки, фото – термоэлектрик элементларда қуёш энергиясини электр энергиясига айлантиришдаги жараёнлар тўғрисидаги билимларни чуқурлаштиришга имкон беради.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти шундан иборатки, иссиқ иқлим шароитларига жавоб берадиган бириктирилган энергетик қурилмаларнинг ҳар хил конструкцияларини тайёрлашда бириктирилган қуёш ва фотоиссиқлик қурилмаларини яратиш усуллари қўлланилиши мумкин.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2013 йил 22 августдаги ПФ-4556-сон Фармони билан «Кремнийли фотоайлантиргичлар асосидаги қуёш нурланишини бевосита электр энергияга айлантирувчи ҳозирги замон тизимлари ишланмасини яратиш ва уларни ишлаб чиқиш» амалий тадқиқоти учун фан ва техника соҳасидаги Давлат мукофоти билан тақдирланган. Илмий натижанинг амалиётга жорий қилиниши иссиқ иқлим шароитига мослаштирилган қўшимча қуёш элементлари билан таъминланган фотоэлектрик батарея конструкцияси ва фотоиссиқлик батареяси электрик қувватини 38% га оширувчи полимер трубклар асосида совитиш мосламасига эга фотоиссиқлик қурилмасининг янги варианты ишлаб чиқилган бўлиб, қунига 1,5 кВт қувватли электр энергияси ва 150 литр сувни иситиб бериш ҳисобига ёқилғи ресурсларини тежаш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 19 та халқаро ва республика: конференцияларида, жумладан: «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» (Ташкент, 2010); «Республиканской научно-практической конференции молодых ученых посвященной 70-летию Академии Наук РУз» (Ташкент, 2013); «ISES Solar World Congress» (Mexico, 2013); «International Workshop on Convergence of Physical and material Engineering» (Chiang Mai University, Thailand, 2013); «Қаттиқ жисмлар физикаси» (Остона, 2014); «Яримўтказгичли микро ва наноструктураларда оптик ва фотоэлектрик ходисалар» (Фарғона, 2014); «Муқобил энергия манбаларидан фойдаланишнинг долзарб муаммолари» (Қарши, 2014); «Агросаноат комплекси соҳаларида электр энергиясидан фойдаланишнинг

самарадорлигини ошириш муаммолари» (Тошкент, 2015); «Ишлаб чиқариш корхоналарининг энергия тежамкорлик ва энергия самарадорлик муаммоларини ечишда инновацион технологияларнинг аҳамияти» (Қарши, 2016) мавзуларидаги халқаро илмий – амалий конференцияларда маъруза кўринишида баён этилган ҳамда апробациядан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 33 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий натижаларини чоп этиш тавсия этилган нашрларда 12 та мақола нашр этилган, 1 та фойдали моделга ва 1 та саноат намунасига патент олинган.

**Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши.** Диссертация кириш, бешта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 188 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурияти 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 этилган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **«Энергияни термоэлектрик ўзгартиргичлар ва қуёш элементлари бўйича ишланмаларнинг замонавий ҳолати таҳлили»** деб номланган биринчи бобида қуёш элементларининг (ҚЭ) асосий характеристикалари ва р-п ўтишли ҚЭ оптимал иш жараёни учун материалларга талаблар, фотовольтаик эффект назарияси қисқача муҳокама қилинган. ҚЭ самарадорлигини камайтиришга олиб келувчи баъзи омиллар кўриб чиқилган. Ер шароитларида қўллаш учун бириктирилган фототермоэлектргенерация ва фотоиссиқлик қурилмаларини яратишнинг технологик, конструктив ва структуравий жиҳатлари аниқланган.

Фотоиссиқлик қурилмасининг маркетинг ҳолати, фотоэлектрик батареяни (ФЭБ) совитишнинг турли усуллари таҳлил қилинган ва ўрганилган, шунингдек, ФЭБ ва ҚЭ самарадорлигини ошириш йўллари аниқланган.

Иссиқ иқлим шароитларида фойдаланилганда кристалл кремний асосидаги ФЭБ асосий параметрларининг камайтириши ҳозирга қадар етарли даражада ўрганилмаган. Шу боис илмий-техник адабиётларда баён этилган натижалар таҳлил қилиниб, хулосалар чиқарилган ва шу асосда келгуси тадқиқотларнинг асосий вазифалари ҳамда мақсадлари шакллантирилган.

Диссертациянинг **«Бириктирилган энергетик (фотоэлектрик, фотоиссиқлик ва ФТЭГ) қурилмаларини тайёрлаш технологияси ва конструкцияларини ишлаб чиқиш»** деб номланган иккинчи бобида кристалл кремний асосидаги ФЭБ тайёрлашнинг технологик босқичлари ва уларга қўйиладиган асосий талаблар баён этилган. Барча технологик жараёнлар “Физика–Қуёш” ИИЧБ Физика-техника институтининг “Яримўтказгичли қуёш элементлари” лабораторияси тажриба ишлаб чиқариш цехида амалга оширилган.

Республикамизнинг барча ҳудудлари шароитларига мослаштирилган ФЭБ тайёрлаш технологияси қайта ишлаб чиқилган. Танлаб олинган кимёвий ишлов бериш орқали ҚЭни қисмларга бўлиш технологияси келтирилган. Тайёрланган ҚЭ қисмлари орқали кам қувватли ФЭБ (1,4 Вт, 1,64 Вт, 1,24 Вт) тайёрланган ва уларнинг қиёсий фотоэлектрик параметрлари ўрганилган. Мобил телефонлар, ноутбук каби кам қувват талаб этадиган энергия истеъмолчиларининг электр таъминоти учун қуёш заряд қурилмалари ишлаб чиқилди ва Ўзбекистон бозори учун таклиф этилган.

Маиший мақсадларда электр энергияси ва иссиқ сув олиш учун фотоиссиқлик қурилмасининг принципиал схемаси ишлаб чиқилган.

Совитиш мосламали ва қуёш нурланишини рефлекторларга эга бир ўқли бириктирилган ФТЭГ қурилмасини тайёрлашнинг технологик босқичлари ишлаб чиқилган. Ушбу бириктирилган қурилмаларнинг учта варианты яратилган:

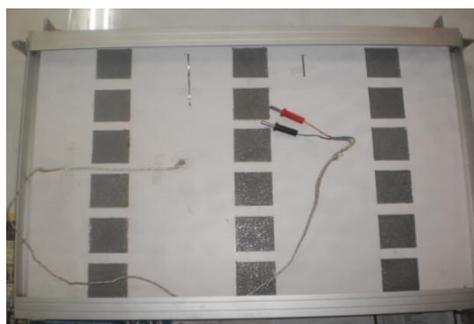
Фототермоўзгартиргич (ФТЎ–1);

фототермоэлектрик генератор (ФТГ–1);

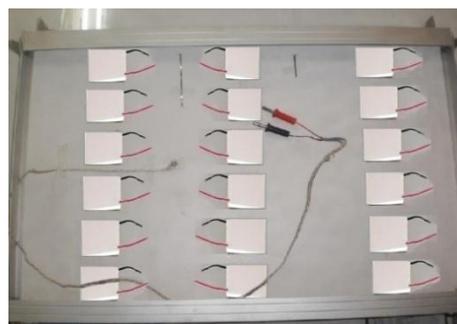
бириктирилган фототермоэлектргенерация (ФТЭГ) қурилмаси.

ФТЭГ қурилмасини тайёрлаш учун фойдали иш коэффиценти 15,4% бўлган поликристалл кремний асосидаги 18 та кетма-кет уланган ҚЭдан ФЭБ тайёрланди. ҚЭ геометрик ўлчамлари ва қалинлиги мос равишда 52x156x0,2 мм ни ташкил этди.

ФЭБни ламинация қилишга қадар фотоэлектрик модулнинг орқа томонига термоэлектрик батареяларни (ТБ) бириктириш учун олдиндан мўлжалланган жой (1-расм) ҳосил қилинди. Термоэлектрик генератор ФИК  $\eta_r \sim 6\%$  вольтампер характеристикасини тўлдириш коэффиценти  $\xi_r \sim 0,25$  ва ўлчамлари 40x40x2,5 мм квадрат шаклига эга бўлган ўн саккизта кетма-кет уланган ТБ асосида коммутация қилинган. Ҳар бир ТБ р-п тур ўтказувчанликка эга висмут теллур бирикмаси асосидаги 127 та термоэлементлардан ташкил топган. Термоэлементларнинг иш ҳарорати диапазони 0÷180° С ни ташкил этади. Висмут-теллур асосидаги термоэлементлар паст ҳароратли термоэлектрик материаллар гуруҳига мансубдир. Бириктирилган ФТЭГ қурилмасининг фотоэлектрик батарея қисмида рефлекторлар ҳисобига ҳароратнинг максимал кўрсаткичи 150°С эришиши мумкин, шу сабабли висмут теллур асосидаги ТБ танлаш уларнинг ҳарорат диапазони интервалига асосланган.



1-расм. Этиленвинилацетат (ЭВА) қатламга ТБни бириктириш учун жой

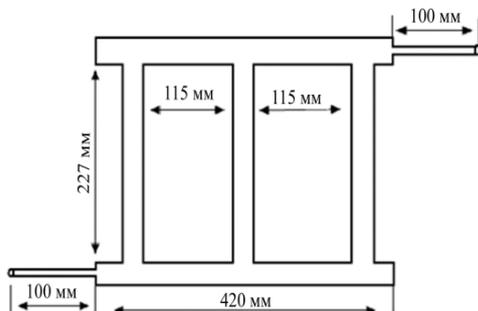


2-расм. ФЭБнинг орқа юзаси томонида ТБ жойлашиш ҳолати

ФЭБнинг орқа томони юзаси –60 дан 180° С ҳароратгача самарали иссиқлик контактини таъминлай оладиган иссиқлик ўтказувчи кремний-органик паста КПТ–8 орқали ТБнинг “иссиқ” томони (2-расм) билан бириктирилади. ТБнинг “совук” томони учун совитиш мосламаси қуйидаги усулда тайёрланди: иссиқлик ташувчи учун ясси тўғри тўртбурчакли қувур уч қатор параллел ҳолда бир-биридан 115 мм масофада жойлашади. Бу тўғри

тўртбурчакли қувурларнинг юқори ва паст учлари тўғри тўртбурчакли кесим ҳолатида перпендикуляр равишда жойлашган олтига каналга бириктирилади.

ТЭГнинг орқа томони юзасига ўрнатилган совитиш мосламасининг схематик кўриниши 3-расмда келтирилган. Иссиқлик изоляцион материал сифатида каолин пахтадан (4-расм) фойдаланилди.



**3-расм. ТЭГ учун совитиш мосламаси схемаси**



1- каолин момиқ пахта; 2 – мис - константан асосидаги терможуфтликлар; 3 - совитувчи коллектор

**4 - расм. Иссиқлик изоляцион материал ва совитиш мосламасининг жойлашиш тартиби**



**5-расм. Бириктирилган ФТЭГ қурилма**

Сўнгра қурилманинг орқа томони алюминий қопқоқ ёрдамида ёпилади. Қурилманинг юқорида санаб ўтилган ҳамма механизмлари тўртбурчак шаклидаги яхлит конструкцияни ташкил этиб кўтариб тутиб турадиган бир ўқли конструкцияга ўрнатилади (5-расм). Таянч конструкция Қуёшни оператив кузатиш учун икки хил текисликда (горизонтал ва вертикал ҳолатда) бурилиш механизмига эга.

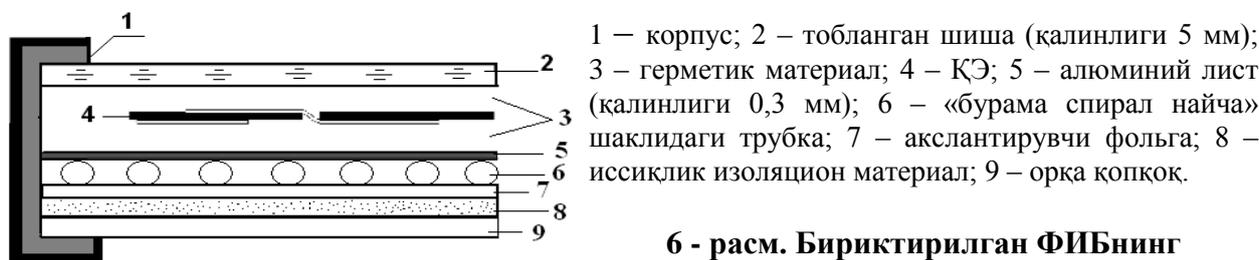
Диссертациянинг “**Бириктирилган фотоиссиқлик қурилмаларининг иш режимларини моделлаштириш**” деб номланган учинчи боби Solid Works Flow Simulation (SWFS) дастури бўйича таклиф қилинган ФИБ конструкциясининг иссиқлик жараёнларини тадқиқ этишга бағишланган. SWFS қаттиқ ва суяқ муҳитлар, улар ўртасида энергия алмашинуви иссиқлик узатишни моделлаштиришга имкон беради. Бириктирилган ФИБ учун принципал схемаси 6-расмда тасвирланган. ФИБ ҳароратига иссиқлик ўтказувчанлик ва сув оқими тезлиги таъсирини баҳолаш учун CAD модел ишлаб чиқилган.

Суюқликларда иссиқлик узатиш (1) формуладан аниқланадиган иссиқлик оқими бўйича иссиқлик ўтказувчанлик тенгламаси асосида тавсифланади:

$$\frac{\partial \rho e}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial \chi_i} \left( \lambda_i \frac{\partial T}{\partial \chi_i} \right) + Q_h \quad (1)$$

Бу ерда  $e=cT$ , – солиштирма ички энергия, (Дж/кг);  $\rho$  – суюқлик зичлиги, (кг/м<sup>3</sup>);  $c$  – иссиқлик сиғими, (Дж/кг<sup>0</sup>С);  $\lambda_i$  – иссиқлик ўтказувчанлик (Вт/м<sup>0</sup>С);  $\chi_i$  – қалинлик (м);  $Q_h$  – ҳажм бирлигида ютилган иссиқлик қуввати, (Вт/м<sup>3</sup>).

ФИБ даги ҳар бир қатламнинг иссиқлик ва оптик хоссалари SWFS дастури ёрдамида қурилманинг иссиқлик режимларини моделлаштиришда фойдаланилган.



6 - расм. Бириктирилган ФИБнинг принципиал схемаси

ФИБ иссиқлик режимининг модели ишлаб чиқилди. Шаффоф қатламлар (шиша ва герметик қатламлар) учун иссиқлик баланси тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

$$I_p F_{glass} + h_{r,glass} F_{glass} (T_a - T_{glass1}) = \frac{\partial U_{glass}}{\partial \tau} + I_p F_{glass} \rho_{tr.cov.} + I_p F_{glass} \tau_{tr.cov.} \quad (2)$$

ҚЭ учун баланс тенгламаси:

$$\tau_{tr.cov.} I_p F_{glass} + \frac{k_{cell}}{\Delta l_{cell}} F_{glass} (T_{glass.2} - T_{cell.1}) = \frac{\partial U_{cell}}{\partial \tau} + \epsilon_{cell} \tau_{tr.cov.} I_p F_{glass} + \frac{k_{al.sheet}}{\Delta l_{al.sheet}} F_{glass} (T_{cell.1} - T_{al.sheet.1}) \quad (3)$$

Сув оқими ва алюминий лист учун:

$$\frac{k_{al.sheet}}{\Delta l_{al.sheet}} F_{glass} (T_{cell.1} - T_{al.sheet.1}) = \frac{\partial U_{al.sheet}}{\partial \tau} + \dot{m} C_p (T_{in} - T_{out}) + h_{r.sheet} F_{glass} (T_{al.sheet.2} - T_{bet.sh.iso.}) \quad (4)$$

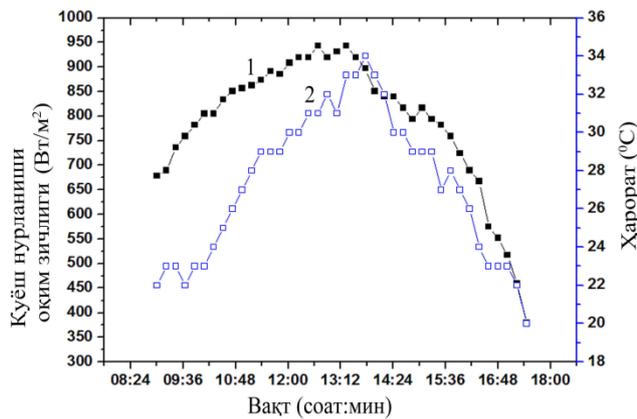
Иссиқлик изоляцияси ва алюминий лист ўртасидаги ҳаво қатлами учун:

$$h_{r.sheet} F_{glass} (T_{al.sheet.2} - T_{bet.sh.iso.}) + \frac{k_{isol}}{\Delta l_{isol}} F_{glass} (T_a - T_{bet.sh.iso.}) = \frac{\partial U_{air.bet.}}{\partial \tau} + h_{r.isol.} F_{glass} (T_{bet.sh.iso.} - T_a) \quad (5)$$

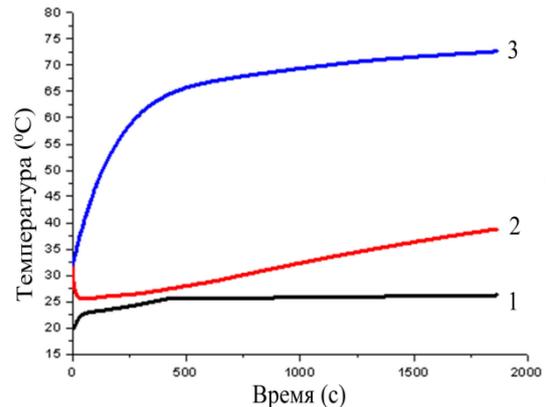
Иссиқлик ФИК ифодаси қуйидаги кўринишга эга:

$$\eta_{ie} = \frac{mC_p(T_{out} - T_{in})}{I_p F_{glass}} \quad (6)$$

2012 йил 24 майдаги сутка давомига боғлиқ равишда атроф-муҳит ҳарорати ва қуёш нурланиши оқими зичлигини ўлчаш натижалари 7-расмда келтирилган ва моделлаштириш учун фойдаланилган. 8-расмда ФИБ ҳарорати, иссиқлик коллектори кириш ва чиқиш қисмидаги сувнинг ҳароратини моделлаштириш натижалари тасвирланган.



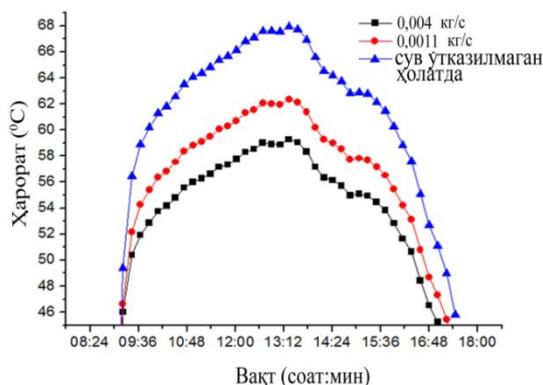
7-расм. Қуёш нурланиши оқим зичлиги (1) ва атроф-муҳит ҳароратининг (2) вақтга боғлиқ ҳолда ўзгариши



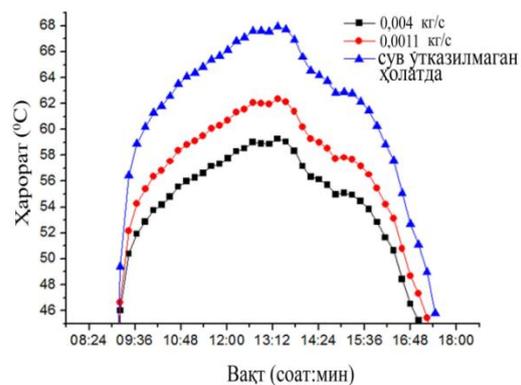
8-расм. Вақт давоми 11<sup>45</sup> дан 13<sup>30</sup> гача (қуёш нурланиши оқим зичлигининг максимал қийматга эришганида) сув ҳароратининг коллекторнинг кириш (1), чиқиш қисмидаги (2), ФИБ ҳарорат (3)

9-расмда ФИБ иш жараёнини моделлаштириш натижалари тасвирланган. Хулоса қилиб шуни айтиш мумкинки, абсорбер трубкаси сифатида турли (мис, алюминий, темир) материаллардан фойдаланилганда ҳам сув оқимининг доимий тезлиги (0,004 кг/с) да ФИБ ҳарорати ўзгармайди.

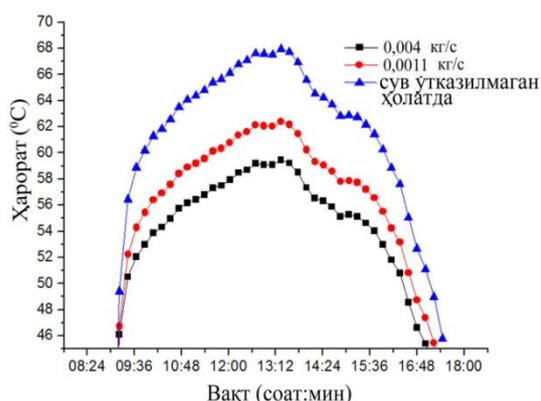
Коллекторда сув оқимининг тезлиги (0,0011 кг/с) камайтирилганда ФИБ ҳарорати кўтарилди. 9-расмда турли сув оқими тезликларида ва сув ўтказилмаганда ФИБ ҳароратининг вақтга боғлиқлигини ҳисоблаш натижалари келтирилган.



а) мис трубкада



б) алюминий трубкада



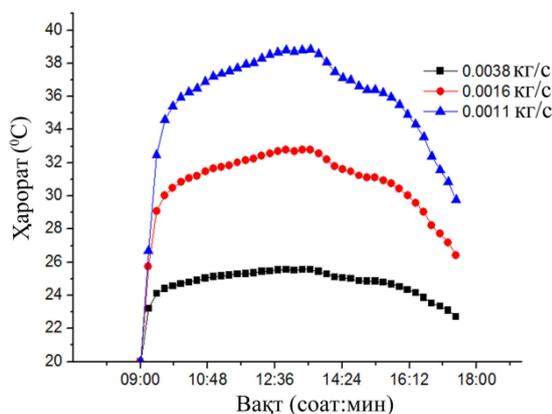
**9-расм. Хар хил сув оқимлари тезликлари учун ФИБ ҳароратининг вақтга боғлиқлиги**

Кун давомида сув оқими тезликларининг коллектор чиқиш қисмидаги сув ҳароратига боғлиқлиги ўзгариши ўрганилди. 10-расмдан кўришиб турибдики, коллектор чиқиш қисмидаги сувнинг ҳарорати кун давомида сув оқимининг тезлигига узвий боғлиқ.

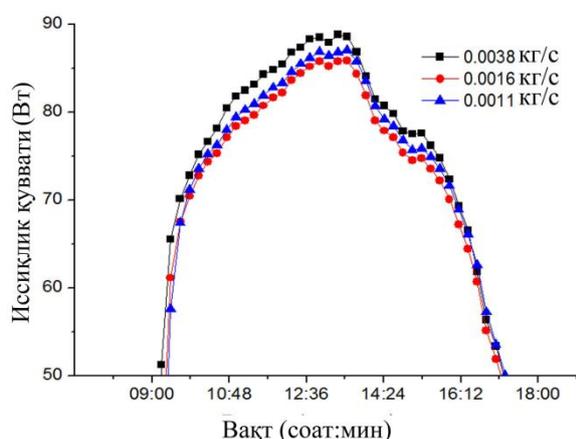
Сув оқимининг иссиқлик қуввати қуйидаги ифодадан аниқланди:

$$P = \frac{mc\Delta T}{\Delta \tau} \quad (7)$$

Бу ерда  $m$ ,  $c$  – сувнинг массаси ва солиштирма иссиқлик сифими;  $\Delta T$  – коллекторнинг кириш ва чиқиш қисмидаги ҳароратлар фарқи; ҳарорат  $\Delta T$  га ўзгариш давомидаги  $\Delta \tau$  вақт интервали.



**10-расм. Мис трубканинг чиқиш қисмидаги сув ҳароратининг вақтга боғлиқлиги**



**11-расм. Мис трубканинг чиқиш қисмида сув оқими иссиқлик қувватининг вақтга боғлиқлиги**

Кўришиб турибдики, иссиқлик қуввати коллекторда кириш ва чиқиш қисмидаги сувнинг ҳароратлари фарқи ва сув сарфига тўғри пропорционал, шунинг учун (11-расм) сув оқими тезлиги 0,0011 кг/с иссиқлик қуввати учун юқори кўрсаткич бўлиб ҳисобланади. Бундай шароитда ФИБ электрофизик параметрлари оптималлигини 16-расмда келтирилган эксперимент натижалари тасдиқлайди.

Бириктирилган гелиотехник қурилмаларни лойиҳалашда уларнинг эксплуатация вақтидаги ҳароратларига конвектив иссиқлик алмашинувининг таъсирини, яъни иқлимий шартларни ҳам ҳисобга олиш зарур.

ФЭБ юза сиртига тушаётган қуёш энергияси оқим баланси  $Q_s$  (аксланишни ҳисобга олган ҳолда) конвектив иссиқлик алмашинуви  $Q_c$  ва хусусий иссиқлик нурланиши оқимлари  $Q_r$  йиғиндисига тенг.

$$Q_s = Q_r + Q_c \quad (8)$$

$$Q_r = \sigma(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)(T^4 - T_0^4) \quad (9)$$

$$Q_c = 2\alpha(T - T_0) \quad (10)$$

$$Q_s = (1 - \eta) \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (1 - R(\lambda)) \cdot E(\lambda) d\lambda \quad (11)$$

Бу ерда  $T_0$  – атроф-муҳит ҳарорати (ҳаво),  $\varepsilon_1$  – шишанинг нур тарқатиш қобилияти,  $\varepsilon_2$  – ЭВА материалнинг нур тарқатиш қобилияти,  $\sigma$  – Стефан–Больцман доимийси,  $\alpha$  – иссиқлик узатиш коэффициенти,  $\lambda$  – қуёш нурланишининг тўлқин узунлиги;  $R(\lambda)$  – юза аксланишининг спектрал коэффициенти,  $E(\lambda)$  – қуёш нурланишининг оқим зичлиги.

Иссиқлик узатиш коэффициенти учун ифода қуйидаги кўринишга эга:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \gamma}{l} \quad (12)$$

$$Nu = 0,032 \left( v \frac{1}{\nu} \right)^{0,8} \quad (13)$$

Бу ерда  $Nu$  – Нуссельт критерияси (сони);  $l$  – характерли узунлик;  $\gamma$ ,  $\nu$  – иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти ва ҳавонинг кинематик ёпишқоқлиги;  $v$  – ҳавонинг ҳаракат тезлиги.

Шундай қилиб, қуёш нурланишининг спектрал диапазонида шиша ютмайди, шишанинг нур синдириш кўрсаткичи  $n$  доимий катталик бўлиб (11) ифодани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$Q_s = (1 - \eta) \cdot \tau \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) d\lambda \quad (14)$$

Бу ерда ёруғликни ўтказиш коэффициенти  $\tau$  шишада қайта-қайта аксланишларни ҳисобга олган ҳолда қуйидаги кўринишга эга:

$$\tau = \frac{2n}{n^2 + 1} \quad (15)$$

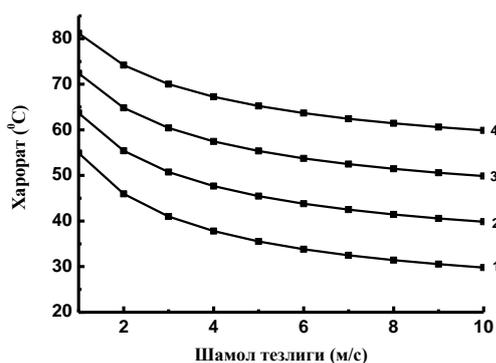
Шиша учун нур синдириш кўрсаткичлари  $\sim 1,48-1,53$ , ёруғлик ўтказиш коэффициентининг ўртача қиймати  $\tau \sim 0,92$ . AM1,5D модели учун  $\lambda_1 = 0,4$  мкм,  $\lambda_2 = 2,55$  мкм ораликда интеграл қиймати  $961,0$  Вт/м<sup>2</sup>.

Агар ўлчамсиз ўзгарувчини  $x = T/T_0$  киритсак, унда (8) тенгламани (9–15) ҳисобга олиб қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$x^4 + \frac{2\alpha}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\sigma T_0^3} x - \left(1 + \frac{Q_s + 2\alpha T_0}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\sigma T_0^4}\right) = 0 \quad (16)$$

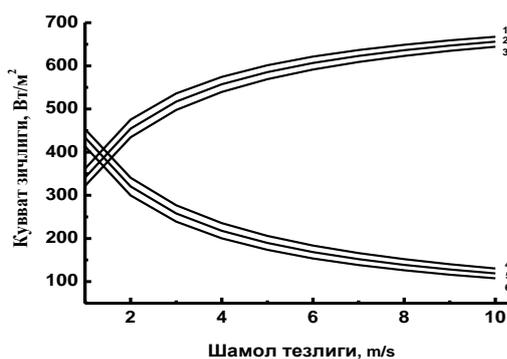
Асос қилиб олинган маълумотлар: шишанинг нур тарқатиш қобилияти  $\varepsilon_1 = 0,937$ , кремнийда ЭВА пленканинг нур тарқатиш қобилияти  $\varepsilon_2 = 0,72$  терморациометр ТРМ ёрдамида ўлчанган,  $\gamma$ ,  $\nu$  нинг қийматлари илмий маълумотномадан олинган.

Ҳар хил атроф-муҳит ҳароратларида (16) тенгламанинг  $\eta = 16\%$  ҚЭ учун ечими 12-расмда келтирилган. 13-расмда конвектив иссиқлик алмашинуви  $Q_c$  ва хусусий иссиқлик нурланиши оқимларининг  $Q_r$  атроф-муҳит ҳарорати ва шамол тезликларига боғлиқ ҳолда олинган натижалар қуйидагича:



1 - 20 °C; 2 - 30 °C; 3 - 40 °C; 4 - 50 °C;

**12-расм. ФЭБ ҳароратининг атроф-муҳит ҳарорати ва шамол тезлигига боғлиқ ҳолда ўзгариши**



1, 4 - 30 °C; 2, 5 - 40 °C; 3, 6 - 50 °C.

**13-расм. ФЭБда хусусий конвектив иссиқлик алмашинуви (1, 2, 3) ва иссиқлик нурланишининг (4, 5, 6) атроф-муҳит ҳарорати ва шамол тезлигига боғлиқ ҳолда ўзгариши**

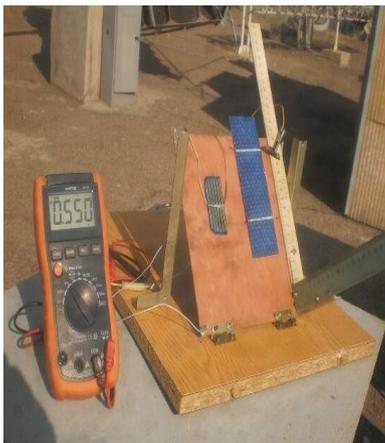
агар атроф-муҳит ҳарорати  $30^\circ\text{C}$  дан кичик бўлса, ФЭБ ҳарорати шамол тезлигига кучли боғлиқ бўлади: шамол тезлиги 1м/с дан 10м/с ошганда унинг ҳарорати  $\sim 40\%$  гача камаяди;

атроф-муҳит ҳарорати  $30^\circ\text{C}$  дан ошганда ФЭБ ҳарорати шамол тезлигига кучсиз боғлиқ ва бунда ФЭБ самарали ишлаши учун уни совитишнинг бошқа усуллари зарур;

шамол тезлиги 2 м/с дан кичик бўлганда ФЭБ конвектив, шунингдек, радиацион иссиқлик алмашинуви ҳисобига совийди;

шамол тезлиги 2 м/с дан катта бўлганда конвектив иссиқлик алмашинуви радиацион иссиқлик алмашинувидан устун бўлади.

Диссертациянинг “Бириктирилган энергетик қурилмаларнинг параметрларини тадқиқ этиш ва уларнинг фойдаланиш самарадорлигини ошириш” деб номланган тўртинчи бобида эксперимент натижалари келтирилган. ФЭБни қуёшга нисбатан ориентация қилишнинг оддий усули таклиф қилинган. Бу усулни текшириш ва ФЭБ нинг ориентация қилиш вақтида оптимал бурчакларини аниқлаш учун квадрат шаклдаги пластинкага тўғри бурчак остида маҳкамланган вертикал ва горизонтал ўлчов чизғичларидан иборат экспериментал жихоз (14-расм) тайёрланди. ҚЭ юза сиртига қуёш нурланишининг тушиш бурчагини аниқлаш учун Visual Basicда дастур яратилди, унинг интерфейси 15-расмда келтирилган.



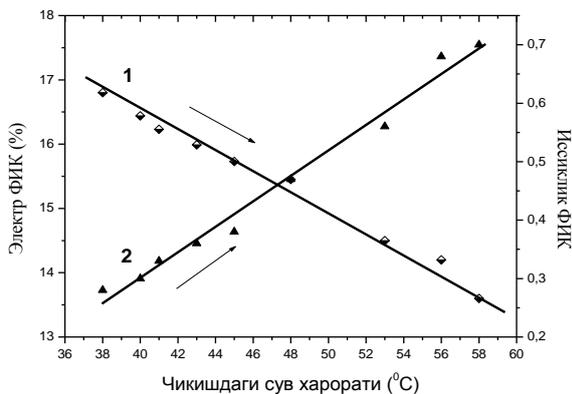
14-расм. Физика-техника институти қуёш полигонида экспериментал жихознинг синовдан ўтиши



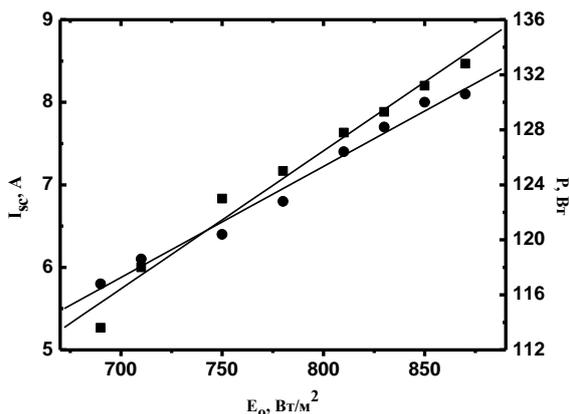
15-расм. Қуёш нурланиши тушиш бурчагини аниқлаш учун дастур интерфейси

Дастур ёрдамида ҳисобланган ва экспериментал ўлчанган бурчакларнинг қийматлари унча катта бўлмаган ўлчамларда ( $\sim 1 \div 3\%$ ) фарқланади. Олинган натижалар асосида хулоса қилиш мумкинки, бурчакларнинг таклиф қилинган усули юқори аниқликни таъминлайди.

Иссиқ иқлим шароитларида бириктирилган ФИК асосий параметрларини (ФИК, номинал қувват, иссиқлик коллекторининг унумдорлиги ва бошқалар) оширишнинг имкониятлари тадқиқ қилинди. Электр ва иссиқлик ФИКнинг коллектор чиқиш қисмидаги сув ҳароратига (16-расм) боғлиқлиги ўрганилди. Қисқа туташув токи  $I_{к.т.}$  ва номинал қувватнинг  $P$  нинг нурланиши оқим зичлигига  $E_0$  боғлиқлигининг чизиқли графиги (17-расм) ҳосил қилинди (корреляция коэффициенти  $\sim 1$ ).



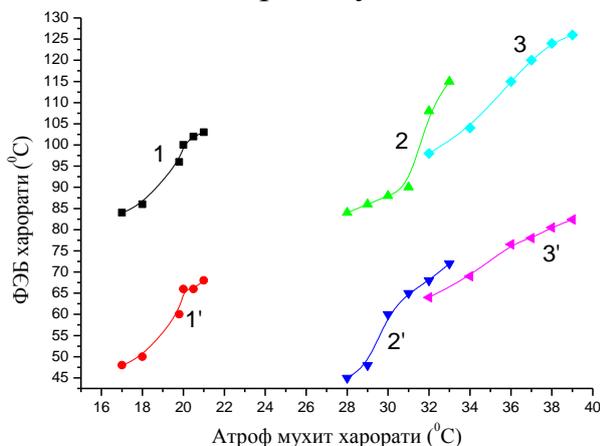
16-расм. ФИК электр ва иссиқлик самарадорлигининг коллектор чиқиш қисмидаги сувнинг ҳароратига боғлиқлиги



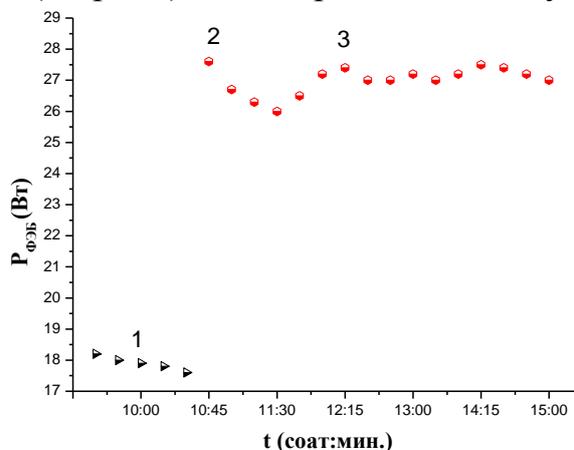
17-расм. ФИБ қуввати  $P$  (■) ва қисқа туташув токининг  $I_{к.т}$  (●) қуёш нурланиши оқим зичлигига экспериментал боғлиқлиги

$21^{\circ}C$  да рефлекторлар қўлланилганда ФЭБдан фойдаланиш жараёнида ундаги ҳарорат  $103^{\circ}C$  га етади, рефлекторлардан фойдаланилмаганда ҳарорат (1'-эгри чизиқ)  $69^{\circ}C$  га тенг бўлади. 2-эгри чизиқда атроф-муҳит ҳарорати  $33^{\circ}C$  бўлганда рефлекторлар мавжудлигида ФЭБдаги ҳарорат  $115^{\circ}C$  га кўтарилиши кўрсатилган. 3-эгри чизиқ эса атроф-муҳит ҳарорати  $39^{\circ}C$  га кўтарилганда ФЭБдаги ҚЭ ҳарорати рефлекторлардан фойдаланилганда  $126^{\circ}C$  га етади, рефлекторлардан фойдаланилмаганда (3'- эгри чизиқ) бу қиймат  $82,4^{\circ}C$  ни ташкил этди. ФЭБ ва ТБ ўртасидаги ҳароратлар фарқи  $15^{\circ}C$  дан ошмаслиги аниқланди. Атроф-муҳит ҳарорати ( $t_{a.m.}^0$ )  $25^{\circ}C$  дан кўтарилганда шамол тезлиги сезилмас даражада ( $2\text{ м/с}$  дан кам) бўлган.

18-расмда Тошкент шароитида очиқ ҳавода кун давомида ФТЭГ қурилмаси қувватининг ўзгариши юзасидан экспериментал маълумотлар келтирилган. Шамол тезлиги ва атроф-муҳит ҳарорати мос равишда  $3,3\text{ м/с}$  ва  $39^{\circ}C$  ни ташкил этди. Натижада акслантирувчи рефлекторлар қўлланилишига қадар бир соат давомида ФТЭГ қурилмасининг қизиши ҳисобига салт юриш кучланиши камайди (19-расм), бинобарин, ФИК ва қув-



18-расм. ФЭБ ҳароратининг рефлекторлардан фойдаланилганда (1, 2, 3) ва фойдаланилмаганда (1', 2', 3') атроф-муҳит ҳароратига боғлиқлиги



19-расм. ФТЭГ қурилмасида ФЭБ қувватининг сутканинг ёруғ қисми давомига экспериментал боғлиқлиги

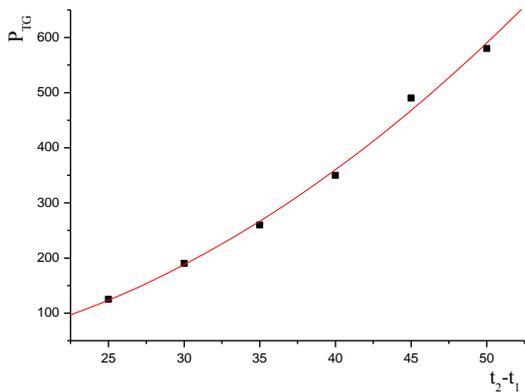
ват салт юриш кучланишига мос ҳолда чизиқли камайди. Қувват йўқотилиши бу вақтда 19,6% ни ташкил этди.

Аксантирувчи рефлекторлар қўлланилганда ФЭБда қувватнинг кескин кўтарилиши (16,9 дан 27,5 Вт гача, 2-эгри чизиқ) кузатилди, куёш нурланиши оқим зичлигининг катта миқдори эса ҚЭ контакт тўрларнинг таъминлаши ҳисобига фототокнинг ортишига сабаб бўлди. Сўнг ҚЭ ҳарорати аста-секин кўтарилиши оқибатида  $U_{c.ю}$  ва вольтампер характеристикасини тўлдириш коэффиценти (FF) камайиши рўй берди, бу эса ФЭБнинг чиқиш қуввати камайишига (2–3-эгри чизиқлар соҳаси) олиб келди. Учинчи соҳада совитиш тизимининг қўлланилиши ҳисобига термоэлектрик батарея орқали ҚЭдаги иссиқликнинг бир қисми тарқалади.

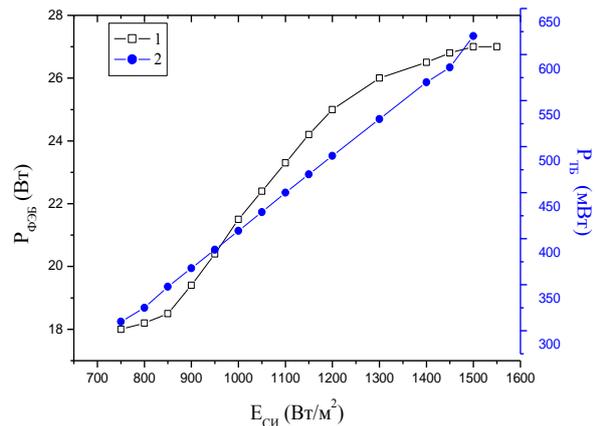
Бу жараён ФЭБ қувватининг ортишига олиб келувчи салт юриш кучланишининг 8,42 В дан 9,6 В гача қайта тикланиши орқали бир вақтда содир бўлади. Бириктирилган ФТЭГ қурилмасида аксантирувчи рефлекторлардан фойдаланилганда электр қуввати 40% га кўтарилди.

20-расмда ТБ қуввати  $\Delta T$  ҳарорат фарқига боғлиқлигининг экспериментал тадқиқот натижалари келтирилган. Атроф-муҳит ҳарорати  $t_{a.m.}^0 \sim 39^\circ C$ , ҳарорат фарқи  $50^\circ C$  га тенг бўлганида ТБ қуввати  $\sim 580$  мВт ни ташкил этиши аниқланди.

Графиклардан кўриш мумкинки, ТБнинг “совуқ” ва “иссиқ” томонларидаги ҳарорат фарқлари қийматлари ортиши билан ишлаб чиқарилаётган қувват ортиши кузатилади, куёш нурланиши оқим зичлигининг ортиши эса (21-расм) ТБ қуввати, “иссиқ” томони ҳарорати ва ФТЭГ қурилмасининг чиқиш қувватининг ҳам кўтарилишига сабаб бўлади. Висмут теллур асосидаги ТЭГ иссиқлик–э.ю.к. нинг ҳарорат фарқи  $\Delta T$  га боғлиқлиги аниқланди.



20-расм. Ҳарорат фарқи  $\Delta T$  ( $^\circ C$ ) га мос ҳолда ТБ қувватининг (мВт) ўзгариши

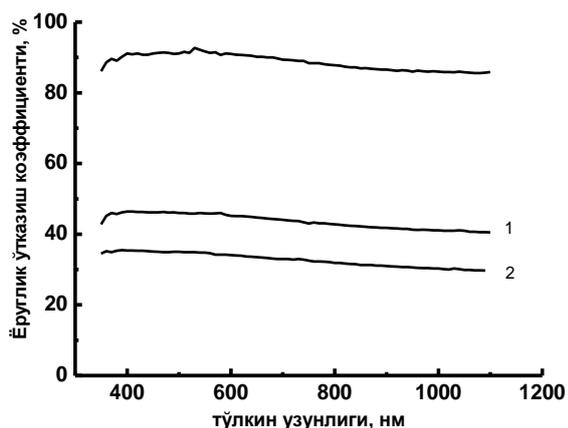


21-расм. ФЭБ (1) ва ТБ қувватининг (2) куёш нурланиши оқим зичлигига боғлиқлиги

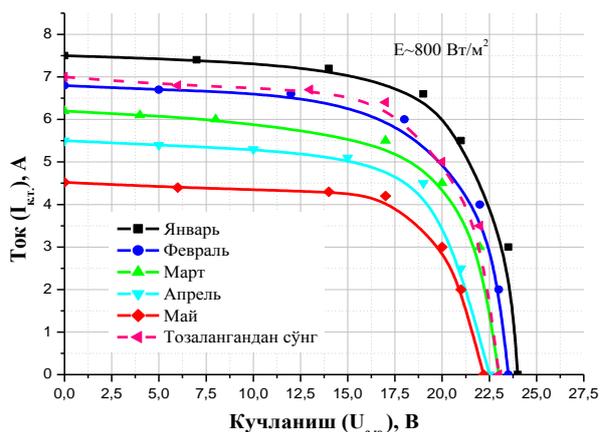
Назарий ҳисоблар шуни кўрсатдики, атроф-муҳит ҳарорати  $21^\circ C$  бўлганда рефлекторларнинг қўлланилиши куёш нурланиши оқим зичлигини 1,6 марта ва мос равишда ҚЭда фойдаланиш самарадорлиги 18%, ТБнинг қуввати эса 47,0% га кўтарилди. ТЭГ қўлланилиши натижасида эса ҚЭнинг ҳарорати пасайиб, унинг самарадорлиги 2% га кўтарилди. Термоэлектрик

генераторнинг қуввати 47% га кўтарилиши натижасида ҚЭ ҳарорати  $90^{\circ}\text{C}$  дан  $70^{\circ}\text{C}$  га камайди. Қаралаётган ҳарорат интервалида иссиқлик–э.ю.к.  $\Delta T$ га чизиқли боғлиқ, кучланиш градиенти  $\sim 0,068\text{ В/град}$ . Бириктирилган ФТЭГ қурилмасида ТЭГ умумий юзаси ФЭБ орқа юзасининг 1/5 қисмини ташкил этади. Агар атроф-муҳит ҳарорати  $40^{\circ}\text{C}$  дан юқори бўлганда ФЭБ орқа томони тўлиқ ТБ билан қопланса, ФЭБнинг умумий қувватига нисбатан ТБда 10% гача қувват олиш мумкин.

Илк бор ФЭБ юзаси чангланганлик даражасини аниқлаш усули таклиф этилди ва ФИКнинг нисбий ўзгариши тадқиқ қилинди. 80÷110 кун давомида ташқарида қолдирилган шиша пластинканинг ёруғлик ўтказиш коэффициентини ўлчаш методикаси қайта ишланди. Фотопластинкаларнинг ёруғлик ўтказиш коэффициентлари  $\text{Lambda EZ 150}$  спектрофотометрда (22-расм) ўлчанди. Шиша пластинка юзаларининг чангланиши ФЭБда ФИКни 50% гача камайтириши аниқланди. 80 кун давомида ташқарида қолдирилган шиша сирти юзаси тозаланмаса ФЭБ қуввати 50% гача камайиши мумкинлиги кузатилди. Қарши шаҳри шароитида (23-расм) ФЭБнинг вольтампер характеристикасига (ВАХ) атмосфера чангланиши таъсири ўрганилди ва 4 ой давомида атмосферадаги чангланганлик ФЭБ қувватини 37,6% камайтириши аниқланди.



22-расм. Тоза фотопластинка-нинг ёруғлик ўтказиш спектрлари (рақамсиз) ва ташқарида 80 кун (1), 110 кун (2) давомидаги натижалари



23-расм. Кремний асосидаги ФЭБ ВАХ га атмосфера чангланишининг таъсири

Эксперимент натижаларига кўра фотоэлектрик модул юзасининг чангланиши, асосан, йил мавсумларига (ёғинлар миқдорига) ва мамлакат ҳудудларида ФЭБ жойлашиш ҳолатига боғлиқ экан.

Қорақалпоғистан Республикаси об-ҳаво шароитида ФЭБ иш режимига иқлимий факторларнинг таъсири ўрганилди ва қиш мавсумида булутли ҳавода (узлуксиз булут,  $\sim 280\text{ Вт/м}^2$ ) кунлик тўпланаётган заряд миқдори 11,6 А·соат, очик ҳавода ( $790\text{ Вт/м}^2$ ) эса 42,7 А·соатни ташкил этиши кўрсатиб ўтилди.

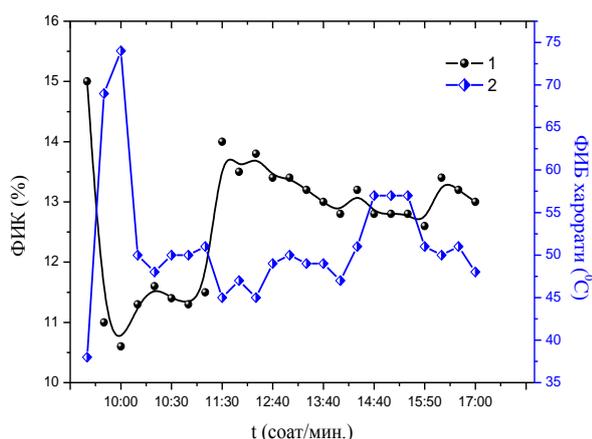
ФЭБнинг фойдаланиш вақтидаги характеристикаларига мажбурий ҳаво совитишнинг таъсири ўрганилганда вентиляторларнинг ФЭБ корпуси ён томонидан кўра орқа деворида жойлашуви самаралироқ эканлиги, ФЭБ

қувватининг ҳаво оқими тезлигига чизиқли боғлиқлиги аниқланди. Ҳаво совитиш мосламасининг кун давомидаги электр энергиясини истеъмол қилишдаги улуши рефлекторларга эга фотоэлектрик қурилма умумий қувватининг 8% ини ташкил этди. ФЭБни ҳаво оқими билан совитиш ҳисобига ФИК 2,5% га кўтарилиши аниқланди.

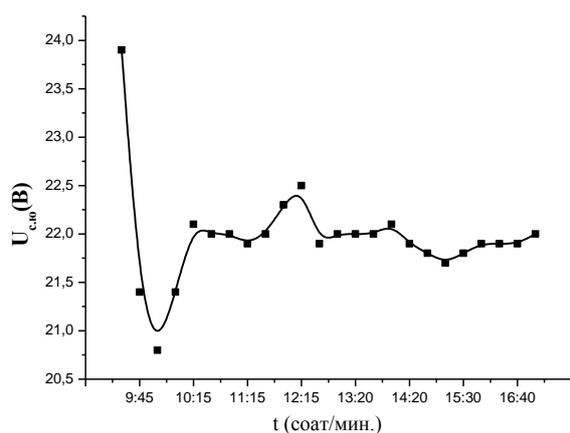
Полимер трубкалари асосидаги совитиш мосламасига эга ФИК янги конструкциялари ишлаб чиқилди. ФИБ электр қувватини маълум даражада оширишга олиб келадиган ФЭБ орқа юзаси билан коллектор қисмининг туташтириш майдони ~50% гача орттирилди. Бунда ФИБнинг орқа юзаси майдони 0,24 м<sup>2</sup> ташкил этади.

ФИБнинг коллектор қисми параллел жойлашган полимер трубкалардан иборат бўлиб, иккита полипропилен трубкасига перпендикуляр ҳолатда бирикадиган конструкциядан иборат. Коллекторнинг бундай конструкцияси анъанавий металл конструкциясига нисбатан кичик вазн ва арзон нархга эга бўлади.

ФИБ асосий параметрларининг ҳароратга боғлиқлигини тадқиқ этиш натижаларига кўра ФИБ иш ҳарорати 74 С га ортиши билан (24-расм) салт юриш кучланиши монотон ҳолда ~14,6% га камайди, қисқа туташув токи бир оз кўтарилди, электр ФИК эса бир соат давомида ~30% га камайди.

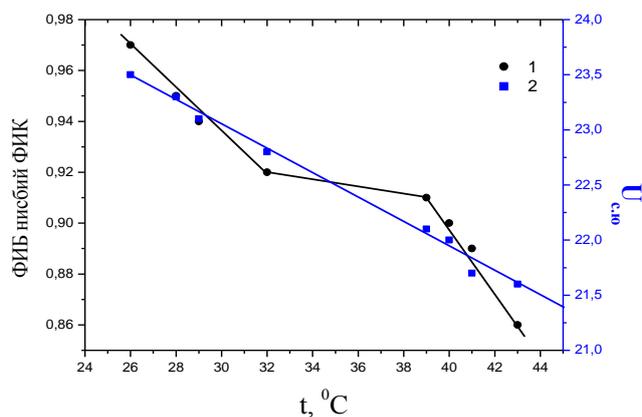


**24-расм. ФИБ электр ФИК (1) ва орқа томонининг ҳарорати (2) сутка кун давомига боғлиқлиги**



**25-расм. ФИБ салт юриш кучланишининг сутканинг кун давомига боғлиқлиги**

Сув сақланадиган бакдан иссиқлик коллекторига совуқ сув уланганда ФИБ асосий параметрларининг тикланиши кузатилади. Ўлчаш натижалари (24, 25-расмлар) шуни кўрсатдики, полимер трубкалар асосида ФЭБ ни совитиш ҳисобига электр ФИК ~13,5% га, салт юриш кучланиши эса ~8,3% га қайта тикланди. 26-расмдан кўриш мумкинки, иссиқлик коллектори чиқиш қисмида сув ҳароратининг 32 С дан 39 С га кўтарилиши натижасида ФИБда нисбий ФИК бир оз камайдди, сувнинг бундан ортиқ даражада қизиши нисбий ФИК камайишига олиб келади. ФИБ коллекторида ~45 С ҳароратгача иссиқ сув олиш электр энергияси аккумуляция тизимида аккумулятор батареясининг зарядлаш жараёни тўхтатмаслиги аниқланди.



**26-расм. ФИБ nisбий ФИК (1) ва салт юриш кучланишининг (2) коллектор чиқиш қисмидаги сув ҳароратига боғлиқлиги**

Коллекторнинг кириш қисмида сувнинг ҳарорати  $20\div 22^\circ\text{C}$  ни ташкил этди. Унинг иссиқ сув бўйича унумдорлиги  $\sim 6$  л/соат. ФИБнинг иссиқ сув бўйича суткалик унумдорлиги 45 л/кун. Иссиқ сувнинг унумдорлиги  $\sim 3$  л/соатга камайтирилганда сувнинг ҳарорати  $\geq 50^\circ\text{C}$  ни ташкил этди.

Диссертациянинг «Халқ хўжалигининг турли соҳаларида яратилган фотоэлектрик қурилмаларнинг қўлланилиши» деб номланган бешинчи бобида Ўзбекистон ҳудуди об-ҳаво шароитларида фотоэлектрик қурилмаларнинг ишланмаларини жорий этишга қаратилган.

Қишлоқ ҳудудларининг дала шийпонларида қишлоқ аҳолисига маиший қулайлик яратиш мақсадида кўчма ФЭҚ ишлаб чиқилди. Бунда телевизорлар, кўчма музлаткичлар, қўй юнглари олиш аппаратлари, алоқа таъминоти ва ноутбукларни улаш, биноларни ёритиш учун ФЭҚдан фойдаланиш кўзда тутилди.

Замонавий юқори самарали сув насосларидан фойдаланиб чуқур қудуқлардан сув кўтариш тизимида 2,24 кВт·соат қувватдаги автоном ФЭС қўллаш имкониятлари кўрсатилди. Насоснинг суткалик сув кўтариш ҳажми  $50\text{--}60\text{ м}^3$  ни ташкил этди. Дизель агрегатларидан фойдаланишга нисбатан сув кўтариш қурилмаларидан фойдаланиш деярли икки марта арзон нархда ҳамда самарали эканлиги аниқланди.

Марказлаштирилган электр энергиясидан узоқда жойлашган объектларни электр энергияси билан шошилиш суратда таъминлаш учун автоном ҳаракатчан кўп функцияли фотоэлектрик станция (АҲКФЭС) тажриба намунаси тайёрланди ва ишлаб чиқилди. Илк бор республикамизнинг аграр секторларида қудуқ ва магистрал каналлардан унумдорлиги  $6\text{--}8\text{ м}^3/\text{соат}$  бўлган сув насосларидан фойдаланиш, эксплуатация иш режимига риоя қилган ҳолда кунига 3–4 соат пайвандлаш агрегатларини таъминлаш мақсадида фойдаланиш имкониятлари яратилди.

Ноънанавий иссиқхонада ёритувчи ва қиздирувчи жиҳозлар электр таъминоти учун ФЭС ни қўллаш имкониятлари тадқиқ этилди. Фойдаланилаётган материалларнинг нисбатан арзонлиги ва энергия тежамкорлигига кўра аънанавий иссиқхонага нисбатан фарқланувчи иссиқхонанинг янги конструкция тури таклиф қилинди.

ФЭҚдан фойдаланишнинг мақсадга мувофиқлигини техник-иқтисодий жиҳатдан асослаш масалалари муҳим илмий-техник муаммолардан саналади. Шу мақсадда куйидаги бириктирилган фотоэлектрик қурилмаларнинг ўзаро қиёсий иқтисодий таҳлили бажарилган: стандарт ФЭҚ, иссиқлик

коллекторига эга ФЭҚ, термоэлектрик ўзгартиргичлар билан таъминланган ФЭҚ, совитиш мосламали ва рефлекторли ФЭҚ.

Яратилган ФЭҚнинг иқтисодий самарадорлиги аниқланди. Ҳаво совитиш мосламали ва акслантирувчи рефлекторларга эга ҳамда 170 Вт стандарт ФЭҚлар таққосланганда бу қурилмаларнинг соф фойда кўрсаткичлари ўзгариши кўрсатилди, маҳсулотни реализация қилиш ҳажми, эксплуатация харажатларини ҳисоблаш учун усул таклиф қилинди. Иқтисодий таҳлил натижаларига кўра ҳаво совитиш мосламали ва акслантирувчи рефлекторларга эга ФЭҚ 170 Вт стандарт ФЭҚдан ўз харажатларини тез қоплаши билан фарқланади.

Диссертациянинг **илова** қисмида кристалли кремнийли фотоэлектрик батарея асосидаги бириктирилган энергетик қурилмаларнинг параметрларини ўлчашда хатоликларни ҳисоблаш усуллари ҳамда Ўзбекистонда фаолият юритаётган «Solar Energy Products» МЧЖ, «Устюртгаз» МЧЖ кичик корхоналаридан ва “Миртемир” фермер хўжалигидан берилган жорий этиш актлари келтирилган.

## ХУЛОСА

“Кристалли кремний фотоэлектрик батареялари асосидаги бириктирилган энергетик қурилмалар” мавзусидаги докторлик диссертациялари бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Кенг диапазонли қуёш нурланиши спектридан самарали фойдаланиш орқали фотоқабулқилгич юзаларининг каскад жойлашуви ҳисобига, шунингдек хўжалик эҳтиёжи учун фойдаланиладиган сувни иситиш учун ажралаётган иссиқликни ишлатиш ҳисобига системанинг фотоэлектрик қисми ҳароратини тушириш эвазига қуёш қурилмаларининг тўғри ва кучсиз акслантирилган қуёш нурланишларида фойдали иш коэффициентини оширишга эришилди.

2. Кристалл кремнийли фотоэлектрик батарея асосидаги бириктирилган қурилмаларни тайёрлаш технологияси ишлаб чиқилган ва унинг асосида фотоиссиқлик, мажбурий ҳаво совутишли фотоэлектрик қурилмалар ишлаб чиқиш мумкинлиги кўрсатилди.

3. Қуёш нурларининг тушиш бурчагини ҳисоблаш учун Visual Basic да дастур ва усул ишлаб чиқилган, ҳамда улар асосида фотоэлектрик батареяларнинг ориентация оптимал бурчаклари аниқ бўлган экспериментал қурилмалар тайёрланди.

4. Фотоиссиқлик батареясининг ҳароратига сув оқими тезлигининг таъсирини баҳолаш ва фотоэлектрик батареяда ҳарорат тақсимланишининг ўзгариши динамикасини аниқлашга имкон берадиган Solid Works Flow Simulation дастурида фотоиссиқлик батареясининг иссиқлик модели ишлаб чиқилди ва қувурлар учун турли материалларни қўллаш барқарор режимда унинг иш ҳароратларини ўзгартирмаслиги кўрсатилди ва аксинча ҳарорат режими абсорбер конструкцияси элементи металл лист асосидаги иссиқлик ютувчи материалга боғлиқлигини кўрсатиш мумкин.

5. Атроф-муҳит ҳарорати 21 °С бўлганда рефлекторлар қўлланилиши натижасида қуёш нурланишининг оқим зичлиги 1,6 марта, мос равишда қуёш элементларида электрик қувват 18% га, термобатареяда эса 47,0% га ортиши аниқланди, ҳамда термоэлектрик батареялар қўлланилиши ҳисобига қуёш элементларининг самарадорлиги 2% га ошириш имкони кўрсатилди.

6. Илк бор таклиф қилинган усул ёрдамида тоза ва чанг босган фотоэлектрик батареяда фойдали иш коэффициенти нисбий ўзгариши мумкинлигини кўрсатиш мумкин.

7. Иккита айнан ўхшаш фотоэлектрик батареяларда мажбурий ҳаво совутишдан фойдаланиш ҳисобига фотоэлектрик батарея қувватининг совутовчи ҳаво оқими тезлигига чизикли боғлиқлигини аниқлаш мумкинлиги кўрсатилган.

8. Полимер трубклар асосидаги совутиш мосламасини фотоиссиқлик қурилмасида қўллаш ҳисобига унинг электрик қувватини 38% га оширишга имкон берувчи варианты ишлаб чиқилган.

9. Илк бор иссиқ иқлим регионлари учун пайвандлаш агрегатлари ва кудуклардан сув кўтаришда фойдаланиш, марказлаштирилган электр энергиясидан узоқда жойлашган объектларни электр энергияси билан шошилинич суратда таъминлаш учун автоном ҳаракатчан кўп функцияли фотоэлектрик станция намуналари ишлаб чиқилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА НАУК 14.07.2016.ФМ/Т.12.01 ПРИ ФИЗИКО-  
ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ И САМАРКАНДСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**ЮЛДОШЕВ ИСРОИЛ АБРИЕВИЧ**

**КОМБИНИРОВАННЫЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ  
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ БАТАРЕЙ ИЗ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО  
КРЕМНИЯ**

**05.05.06 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии  
(технические науки)**

**АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

**Ташкент – 2016 год**

**Тема докторской диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № 30.09.2014/B2014.5T265.**

Докторская диссертация выполнена в Физико-техническом институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский) размещен на веб-странице Научного совета по адресу [fti-kengash.uz](http://fti-kengash.uz) и Информационно-образовательном портале “ZiyoNet” по адресу [www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)

<b>Научный консультант:</b>	<b>Турсунов Мухамад Нишанович</b> доктор технических наук
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Мухамадиев Муродулла</b> доктор технических наук, профессор <b>Хайридинов Ботир Эгамбердиевич</b> доктор технических наук, профессор <b>Абдукадыров Мухиддин Абдурашидович</b> доктор технических наук, профессор
<b>Ведущая организация:</b>	Ферганский политехнический институт

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г. в \_\_\_ часов на заседании Научного совета 14.07.2016.FM/Т.12.01 при Физико-техническом институте и Самаркандском государственном университете по адресу: 100084, г.Ташкент, ул. Бодомзор йули – 2б. Тел./Факс: (+99871) 235-42-91, e-mail: [lutp@uzsci.net](mailto:lutp@uzsci.net).

Докторская диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Физико-технического института, за №\_\_\_\_\_, с которой можно ознакомиться в ИРЦ по адресу: 100084, г.Ташкент, ул. Бодомзор йули – 2б. Тел./Факс: (+99871) 235-30-41.

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 года  
(протокол рассылки \_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2016 г.).

**С.Л. Лутпуллаев,**  
Председатель Научного совета по  
присуждению учёной степени доктора наук,  
д.ф.-м.н., профессор

**А.В. Каримов**  
Учёный секретарь Научного совета по  
присуждению учёной степени доктора наук,  
д.ф.-м.н., профессор

**А. Абдурахмонов**  
Зам.председателя научного семинара при  
Научном совете по присуждению учёной  
степени доктора наук, д.т.н.

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации)**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире на сегодня в бурно развивающемся направлении гелиоэнергетики одним из важных физико-технических проблем является определение возможности применения новых материалов и разработка солнечных преобразователей отличающихся дешевизной, большим сроком службы, а также коммуникабельностью и возможностью адаптации к различным климатическим условиям. В этом аспекте развитие комбинированных фототепловых энергетических систем является одним из перспективных направлений.

Разработке комбинированных солнечных и термоэлектрических систем обеспечивающих в определенной степени увеличение выработки электроэнергии за счет использования выделяемого тепла и охвата дополнительного спектра солнечного излучения учеными нашей страны обращено особое внимание. В этой области по разработке комбинированных фото-термоэлектрических установок обеспечивающих снижение температуры с помощью конструкций на основе металлических и полимерных труб, а также разработке охлаждаемых воздушным потоком конструкций (вентилятором, тепловым коллектором), отвечающих современным требованиям, солнечных преобразователей достигнуты ощутимые результаты.

При разработке комбинированных фотоэлектрических и термоэлектрических систем удачный выбор комплектующих частей, а также повышение коэффициента полезного действия в комбинированных с солнечным элементом системах имеет важное значение. В этом аспекте создание комбинированной фотоэлектрической установки на основе кристаллического кремния в паре с солнечным элементом, разработка технологии изготовления фото-тепловой установки с «буферным» теплоприёмником с различной площадью контакта с тыльной поверхности фотоэлектрической батареи, оптимизация электрофизических и теплотехнических параметров фото-тепловой батареи и разработка соответствующей фотоэлектрической батареи с устройством охлаждения отвечающей климатическим условиям местности. Научные исследования, проводимые в выше приведенном направлении, обуславливают актуальность темы диссертации.

Исследование, проводимое в диссертационной работе в определенной степени служит решению задач, предусмотренных Постановлениях Президента Республики Узбекистан от 1 марта 2013 г. № УП-4512 «О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии», в Постановлении от 5 мая 2015 г. № УП-2343 «О Программе мер по сокращению энергоёмкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015-2019 годы», а также других нормативно-правовых документах принятых в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики: IV. «Развитие методов использования возобновляемых источников энергии, создание технологий и устройств на основе нанотехнологий, фотоники и других передовых технологий».

**Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации<sup>1</sup>.** Научные исследования направленные проблемам разработки конструкций и изучению параметров комбинированных фототепловых устройств различной конструкции проводятся в ведущих мировых научно-исследовательских центрах, институтах и университетах ведущих стран, в том числе Photovoltaic Special Research Centre, University of New South Wales Sidney, (Australia), Massachusetts Technological Instituty (USA), Dept. of Mechanical and Aerospace Engineering, university of Roma (Italy), Energy Research Centre (Netherlands), City University of Hong Kong (China), Departament of Mechanical and Materials Engineering, Queen's University (Canada), Brno University of Technology (Czech Republic), Всероссийском научно-исследовательском институте электрификации сельского хозяйства (Россия).

В результате исследований проведенных в мире по проблемам комбинирования фотоэлектрических батарей на основе кристаллического кремния с другими устройствами получены ряд практических результатов, в том числе следующие научные результаты: специалисты Фотовольтаического Центра Сиднейского университета провели сравнительные испытания кремниевых солнечных элементов в Антарктиде. Оказалось, что если для обычных условий эксплуатации (при 300 К) их эффективность составляла 23,5%, то при -33<sup>0</sup> С (239 К) она повысилась до 25,9%, т.е. примерно на 10%; то фото-тепловая установка с двумя абсорберами была исследована по программе Массачусетского технологического института, по итогам которой отмечен высокой тепловой КПД этой конструкции; в Всероссийском научно-исследовательском институте электрификации сельского хозяйства (Россия) разработана технологическая схема солнечной когенерационной установки на основе фото-тепловой батареи с разомкнутым контуром и дозированной подачей теплоносителя с применением электромагнитного клапана и реле-регулятора; в технологическом университете Брно разработаны методы охлаждения фотоэлектрической батареи на основе полимерного материала;

На сегодня по созданию конструкций комбинированных энергетических установок на основе кремниевых фотоэлектрических батарей проводятся исследования в следующих перспективных направлениях, в том числе: применению зеркальных концентраторов для увеличения

---

<sup>1</sup> Обзор международных научных исследований по теме диссертации проведен на основе : Annual Report. UNSW Photovoltaic Special Research Centre, University of New South Wales // Sidney, Australia.; www.elsevier.com/locate/apenergy / Ж. Applied Energy. 2009-2014; www.elsevier.com/locate/solener/. Ж. Solar Energy, 2002-2006; Energy and buildings, 2006; Ж. Техника в сельском хояйстве. 2013; и др. источников.

эффективности использования установок; использованию сравнительно дешевых материалов; оптимизации электрических и теплотехнических параметров установок; внедрению охлаждающих устройств на высокомошных фотоэлектрических станциях.

**Степень изученности проблемы.** Научные работы T.T.Chow, H.P. Garg, R.K. Agarwal, S.A. Kalogirou, Y. Tripanagnostopoulos, B. Sandnes, J.A. Rekstad и других зарубежных ученых направлены с научно-теоретической точки зрения на изучение параметров различных конструкции фото-тепловой установок. S.A. Kalogirou совместно с Y. Tripanagnostopoulos исследовали более подробно фото-тепловую установку работающую на термосифонном принципе, с использованием режимов принудительной циркуляции. Их иммитационное моделирование рассматривало 12 различных вариантов установок с двумя типами фотоэлектрических модулей ps-Si и a-Si в трех городах. По результатам модули a-Si имели преимущество вследствие своих более низких начальных затрат.

В работах авторами М. Мирзабаева, М.Н. Турсунова, Р.А. Муминова, А. Комилова была показана высокая эффективность фото-тепловой батареи по сравнению со стандартной фотоэлектрической батареей в условиях жаркого климата. Расширенный обзор по различным конструкций фото-тепловым установкам и теоретических и экспериментальных работ были проведены с Р.Р. Аvezовым, Ж.С. Ахатовым и др.

В последние годы ученые и разработчики предлагают наиболее полно и эффективно использовать падающее солнечное излучение с помощью комбинированных преобразователей. Такой преобразователь объединяет в себе два, три или более устройств одного физического типа, каждое из которых преобразует свою часть солнечного спектра. Например, каскадные фотоэлектрические батареи или солнечные элементы или два прибора разнородных по физическим принципам преобразования энергии, например, фотоэлектрической и тепловой. Многие потенциально возможные потребители солнечной энергии удачно приспособлены к получению энергии от комбинированных преобразователей. Проблемы преобразования солнечного излучения в электрическую и тепловую энергии с помощью комбинированных фото-тепловых и фото-термоэлектрогенерирующих установок в условиях жаркого климата недостаточно изучены по сравнению с другими установками (например, фотоэлектрические батареи, солнечные коллекторы и др.). Опубликованные работы в большинстве случаев касаются только теоретических аспектов проблемы.

Первоначально идея сочетания солнечного элемента с термоэлементами была предложена М.С. Соминским и Ю.Н. Малевским. В лабораторных условиях авторы исследовали несколько конструкций таких устройств. В этих исследованиях практически нерешенными оставались задачи получения максимальной мощности и КПД термоэлектрической батареи при их оптимальных размерах, а также оптимизация параметров фото-термоэлемента с точки зрения получения максимальной мощности системы в естественных условиях солнечного освещения.

**Связь темы диссертации с научными исследованиями научно-исследовательской организации, где выполнена диссертационная работа.** Диссертация выполнена в Физико-техническом институте в соответствии с планом научно-исследовательских работ прикладных проектов в рамках Государственной программы по теме А4-ФА-0-26793 «Создание комбинированной энергоустановки на основе фото-термоэлементов и системы охлаждения прямого и концентрированного солнечного излучения» (2012-2014), проекта МК-47/2012 «Узбекистан-Корея 2012» «Разработка и изготовление переносного фотоэлектрического источника питания для сельского жителя» (2013-2015) и инновационного проекта ИЗ-ФА-0-11738 «Создание и ввод в действие автономного многофункционального комплекса на основе фотоэлектрической, фото-тепловой и биогазовой установок для обеспечения энергией объектов животноводческой фермы» (2013-2014).

**Целью исследования** является разработка комбинированных энергетических установок на основе фотоэлектрических батарей с оптимальными параметрами для прямого и отраженного солнечного излучения предназначенных для условий жаркого климата.

**Задачи исследования:**

разработка опытных образцов фотоэлектрической батареи с устройством охлаждения для климатических условий Узбекистана;

разработка методики определения теплотехнических параметров установки моделированием тепловых режимов работы фото-тепловой батареи;

проведение мониторинга изменения эффективности преобразования фотоэлектрической батареи с учетом воздействия климатических и эксплуатационных факторов;

разработка технологии изготовления фото-тепловой установки с «буферным» теплоприёмником с различной площадью контакта с тыльной поверхности фотоэлектрической батареи;

разработка конструкции изготовления боковых отражающих концентраторов (рефлекторов) на фронтальной поверхности фотоэлектрической батареи для увеличения мощности фотоэлектрической батареи до 1,5 раз;

определение областей потерь энергии, поиск вариантов повышения эффективности фото-тепловых и фото-термоэлектрогенерирующих установок;

изготовление опытных образцов стационарных и переносных вариантов фото-тепловых и фото-термоэлектрогенерирующих установок и изучение эксплуатационных параметров в естественных условиях;

проведение сравнительного технико-экономического анализа различных вариантов использования комбинированных энергоустановок на основе фотоэлектрической батареи с устройствами охлаждения.

**Объектом исследования** являются комбинированные фотоэлектрические, а также фото-тепловые и фото-термоэлектродгенерирующие энергоустановки с различными устройствами охлаждения.

**Предметом исследования** являются тепловые модели фото-тепловой батареи, а также различные климатические факторы (солнечная радиация, температура воздуха, запыленность воздуха, влажность, скорость ветра и др.) влияющие на выходные энергетические параметры фотоэлектрической батареи.

**Методы исследования.** В диссертационной работе были использованы методы моделирования тепловых параметров, методы определения степени загрязненности, методы исследования вольт-амперных, фотоэлектрических, тепловых и оптических характеристик.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:  
предложена интерфейсная методика оперативной ориентации фотоэлектрической батареи по Солнцу;  
разработана конструкция фотоэлектрической батареи дополнительными солнечными элементами адаптированная к условиям жаркого климата;

разработана тепловая модель фото-тепловой батареи по программе Solid Works Flow Simulation, позволяющая определить динамику изменения температуры фотоэлектрической батареи и оценено влияние скорости потока воды на температуру фото-тепловой батареи, определены типы материалов для охлаждающих трубок, обеспечивающие стабильный температурный режим работы фото-тепловой батареи и их зависимости от конструкции элемента абсорбера (телопоглощающего материала) на основе металлического листа;

впервые экспериментально показано, что применение соразмерного к фотоэлектрической батарее отражающего рефлектора привело к увеличению потока солнечного излучения в 1,6 раз и соответственно мощности солнечного элемента на 18%, а термоэлектрической батарее на 47,0%. Эффективность преобразования солнечного элемента за счет применения термоэлектрической батареи увеличилась на 2%, из-за снижения температуры солнечного элемента;

предложен метод определения степени загрязненности поверхности фотоэлектрической батареи, который позволяет определить относительное изменение коэффициента полезного действия чистой и загрязненной поверхности фотоэлектрической батареи;

разработана фотоэлектрическая установка с управляемым устройством охлаждения, изучено влияние принудительного воздушного охлаждения на эксплуатационные характеристики двух идентичных фотоэлектрических батарей и установлена линейная зависимость мощности фотоэлектрической батареи от скорости потока охлаждающего воздуха;

разработана новая конструкция фото-тепловой установки с охлаждающим устройством на основе полимерных трубок, которое изменяет электрическую мощность фото-тепловой батареи на 38%;

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана фотоэлектрическая батарея адаптированная условиям жаркого климата и фото-тепловые установки, имеющие охлаждающее устройство для повышения эффективности использования;

предложены методы снижения температуры фотоэлектрической батареи, позволяющие существенно сократить время зарядки аккумуляторной батареи за счет увеличения тока зарядки аккумуляторов;

разработана программа на Visual Basic для определения оптимального угла падения солнечного излучения и точного измерения параметров солнечного элемента. Создано устройство для определения оптимальных углов ориентации фотоэлектрической батареи.

разработана методика определения критерия степени загрязнения поверхности покровного стекла фотоэлектрических батарей атмосферными осадками.

**Достоверность результатов исследования** подтверждается совпадением полученных экспериментальных результатов с теоретическими данными, примененными современными подходами и методами в процессе исследования, внутренним единством, использованием современных измерительных аппаратур, а также надежным неоднократным методом обработки результатов измерений.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследований заключается в углублении знаний о физических процессах происходящих в фото - термоэлектрических элементах при преобразовании солнечной энергии в электрическую.

Практическая значимость исследований состоит в том, что методы создания комбинированных солнечных и фото-тепловых установок могут быть применены при изготовлении различных конструкций комбинированных энергетических установок отвечающих условиям жаркого климата.

**Внедрение результатов исследования.** По Указу Президента Республики Узбекистан от 22 августа 2013 года №УП-4556 награжден Государственной премией по науке и технике за прикладное исследование «Разработка и создание современных систем прямого преобразования солнечного излучения в электрическую энергию на основе кремниевых фотопреобразователей». В результате внедрения научного результата создана конструкция фотоэлектрической батареи снабженная дополнительным солнечным элементом адаптированным к условиям жаркого климата и разработанной новой конструкции фото-теплого устройства имеющая охлаждающее приспособление на основе полимерных трубок обеспечивающая увеличение электрической мощности на 38% и сокращение затрат на приобретение топливных ресурсов за счет выработки теплой воды 150 л и электрической энергии 1,5 кВт в день.

**Апробация результатов исследования.** Результаты диссертационной работы доложены и обсуждались на 19 международных и республиканских:

научно-практических конференциях на тему: «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» (Ташкент, 2010); «Республиканской научно-практической конференции молодых ученых посвященной 70-летию Академии Наук РУз» (Ташкент, 2013); «ISES Solar World Congress» (Mexico, 2013); «International Workshop on Convergence of Physical and material Engineering» (Chiang Mai University, Thailand, 2013); «Физика твердого тела» (Астана, 2014); «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниковых микро – и нано структурах» (Фергана, 2014); «Актуальные проблемы использования альтернативных источников энергии» (Карши, 2014); «Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в отраслях агропромышленного комплекса» (Ташкент, 2015); «Ишлаб чиқариш корхоналарининг энергия тежамкорлик ва энергия самарадорлик муаммоларини ечишда инновацион технологияларнинг аҳамияти» (Карши, 2016)

**Опубликованность результатов исследований.** Основные результаты по теме диссертационной работы опубликованы в 33 научных трудах, в том числе 12 научных статьи опубликованы рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций; получены 2 патента на полезную модель и на промышленную образец.

**Структура и объём диссертации.** Структура состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объём диссертации составляет 188 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, определена связь исследований с основными приоритетными направлениями развития науки и технологий в республике, произведён обзор международных научных исследований по теме диссертации, показана степень изученности проблемы, сформулированы цель и задачи, выявлены объект, предмет и методы исследования, изложена научная новизна исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведены краткие сведения о внедрении результатов и апробации работы, а также дана информация об объеме и структуре диссертации.

Первая глава диссертационной работы посвящена **«Анализу современного состояния разработок по солнечным элементам и термоэлектрическим преобразователям энергии»**. Кратко обсуждены теория фотовольтаического эффекта, требования к материалам для оптимальной работы солнечного элемента с *p-n*-переходом и основные характеристики солнечных элементов. Рассмотрены некоторые факторы, приводящие к снижению эффективности преобразования солнечного элемента. Установлены технологические, конструкторские и структурные аспекты создания комбинированной фото-тепловой, фото-термоэлектрогенерирующих установок для применения их в наземных условиях.

Изучены и проанализированы различные способы охлаждения фотоэлектрической батареи, маркетинговое состояние фото-тепловой установки, а также определены различные пути повышения эффективности преобразования солнечного элемента и фотоэлектрической батареи.

В результате анализа научно-технической литературы был сделан вывод о недостаточной изученности проблемы снижения основных параметров фотоэлектрических батарей на основе кристаллического кремния при эксплуатации в условиях жаркого климата и сформулированы цель и основные задачи предстоящих исследований.

Во второй главе **«Разработка конструкции и технологии изготовления комбинированных энергоустановок (фотоэлектрических, фото-тепловых и фото-термоэлектрогенерирующих установок)»** изложены технологические этапы изготовления фотоэлектрической батареи на основе кристаллического кремния и основные требования, предъявляемые им. Все технологические процессы осуществлены в опытном производственном цехе лаборатории «Полупроводниковые солнечные элементы» ФТИ НПО «Физика-Солнце» АН РУз.

Отработана технология изготовления фотоэлектрической батареи, адаптированной к условиям регионов республики Узбекистан.

Приводится технология разделения солнечного элемента на фрагменты избирательным химическим травлением. На основе изготовленных солнечных элементов собраны маломощные фотоэлектрические батареи (1,4

Вт, 1,64 Вт, 1,24 Вт) и изучены их сравнительные фотоэлектрические параметры. Разработаны солнечные зарядные устройства для питания мобильных телефонов, ноутбуков и других маломощных потребителей энергии и предложены для рынка Узбекистана.

Разработаны принципиальные схемы фото-тепловой установки для получения теплой воды и электрической энергии в бытовых целях.

Разработан технологический процесс изготовления одноосной комбинированной фото-термоэлектрогенерирующей установки с отражающим рефлектором солнечного излучения и охлаждающим устройством.

Были созданы три варианта комбинированных установок:

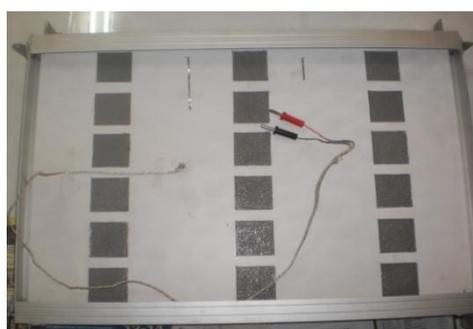
фото-термопреобразователь (ФТП-1);

фото-термоэлектрический генератор (ФТГ-1);

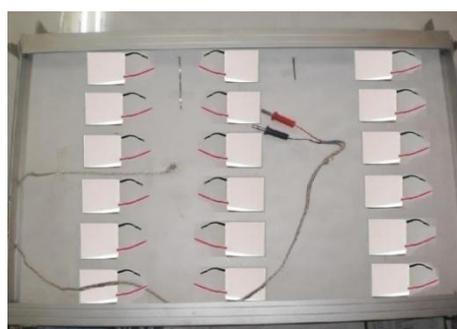
комбинированная фото-термоэлектрогенерирующая (ФТЭГ) установка.

Для изготовления фото-термоэлектрогенерирующей установки фотоэлектрической батареи собраны из 18 последовательно соединенных солнечных элементов на основе поликристаллического кремния с КПД 15,4%. Геометрические размеры и толщина солнечного элемента соответственно составляли 52x156x0,2 мм.

До ламинирования фотоэлектрической батареи, с тыльной стороны фотоэлектрического модуля предварительно создана площадка для приклеивания термоэлектрической батареи (ТБ) (Рис.1). Термоэлектрический генератор (ТЭГ) коммутирован из восемнадцати последовательно соединенных термоэлектрических батарей, имеющих форму квадрата, размерами 40×40×2,5 мм с коэффициентом заполнения  $\xi_T \sim 0,25$  и  $\eta_T \sim 6\%$ . Каждая термоэлектрическая батарея состоит из 127 термоэлементов на основе соединения висмут теллура проводимости p-n типа. Рабочий диапазон температур термоэлементов составляет 0÷180<sup>0</sup>С.



**Рис.1. Место для приклеивания ТБ на слой этиленвинилацетата**

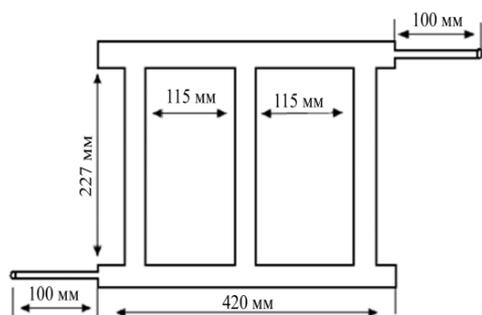


**Рис.2. Расположение ТБ на тыльной стороне фотоэлектрической батареи**

Термоэлементы на основе висмута теллура относятся к группе низкотемпературных материалов. В фотоэлектрической части комбинированной фототермоэлектрогенерирующей установке за счет отражающих концентраторов температура может достигнуть ~150<sup>0</sup>С, при этом выбор термоэлектрических батарей на основе висмута теллура основана интервалу их диапазона температур.

«Горячий» спаи термоэлектрических батарей контактирует с тыльной стороной фотоэлектрической батареи (Рис.2) с помощью теплопроводящей кремнийорганической пасты КПТ-8, которая при температурах от  $-60$  до  $+180^{\circ}\text{C}$  обеспечивает эффективный тепловой контакт. Охлаждающее устройство для «холодной» спаи термоэлектрических батарей изготовлялось следующим образом: три ряда параллельных плоских прямоугольных труб для холодного теплоносителя располагаются на расстоянии 115 мм друг от друга. Верхние и нижние концы этих прямоугольных труб присоединяются к шести каналам перпендикулярно расположенных труб прямоугольного сечения.

На рис. 3 приведена схема охлаждающего устройства, которое установлено на тыльной стороне термоэлектрического генератора. Для теплоизоляции использовалась каолиновая вата (рис. 4). Тыльная сторона установки закрывалась алюминиевой крышкой (рис. 5).



**Рис.3. Схема охлаждающего устройства для ТЭГ**



1 - каолиновая вата; 2 - термопары на основе медь-константан; 3 - охлаждающий коллектор;

**Рис.4. Порядок расположения охлаждающего устройства и теплоизоляционного материала**



**Рис.5. Комбинированная фото-термоэлектрогенерирующая установка**

Перечисленные выше узлы установки сведены к единой конструкции в виде четырехугольной формы, которая устанавливается на одноосную несущую конструкцию. Опорная конструкция имеет поворотные механизмы в двух плоскостях (по горизонтали и вертикали) для оперативного слежения по Солнцу.

Третья глава «**Моделирование режимов работы комбинированных фото-тепловых установок**» посвящена исследованию тепловых процессов

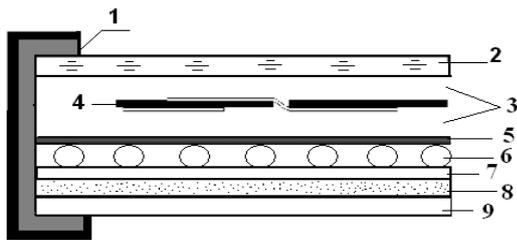
фото-тепловой батареи (ФТБ) предлагаемой конструкции, реализованной по программе Solid Works Flow Simulation (SWFS). SWFS позволяет моделировать передачу тепла в твердых и жидких средах с обменом энергией между ними. Для комбинированной фото-тепловой батареи, принципиальная схема которой изображена на рис.6. Разработана САД модель установки для оценки влияния скорости потока воды и коэффициента теплопроводности на температуру фото-тепловой батареи.

Передача тепла в жидкостях описывается уравнением теплопроводности, где тепловой поток определяется по формуле:

$$\frac{\partial \rho e}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial \chi_i} \left( \lambda_i \frac{\partial T}{\partial \chi_i} \right) + Q_h \quad (1)$$

где  $e=cT$  – удельная внутренняя энергия, (Дж/кг);  $\rho$  – плотность жидкости, (кг/м<sup>3</sup>);  $c$  – теплоемкость, (Дж/кг<sup>0</sup>С);  $\lambda_i$  – теплопроводность (Вт/м<sup>0</sup>С);  $\chi_i$  – толщина (м);  $Q_h$  – поглощенная тепловая мощность на единицу объема, (Вт/м<sup>3</sup>).

Тепловые, оптические свойство каждого слоя фото-тепловой батареи использованы при моделировании тепловых режимов установки с помощью программы SWFS.



1 – корпус; 2 – стекло каленное (толщина – 5мм); 3 – герметизирующий материал; 4 – СЭ; 5 – алюминиевый лист (толщина – 0,3мм); 6 – трубка в форме «меандра»; 7 – отражающая фольга 8 – теплоизоляционный материал; 9 – тыльная крышка.

**Рис. 6. Принципиальная схема комбинированной фото-тепловой батареи**

Разработана модель теплового режима фото-тепловой батареи. Уравнение теплового баланса для прозрачных покрытий (стеклянного и герметического слоев) имеет следующий вид:

$$I_p F_{glass} + h_{r,glass} F_{glass} (T_a - T_{glass1}) = \frac{\partial U_{glass}}{\partial \tau} + I_p F_{glass} \rho_{tr.cov.} + I_p F_{glass} \tau_{tr.cov.} \quad (2)$$

Уравнение баланса для солнечных элементов;

$$\tau_{tr.cov.} I_p F_{glass} + \frac{k_{cell}}{\Delta l_{cell}} F_{glass} (T_{glass.2} - T_{cell.1}) = \frac{\partial U_{cell}}{\partial \tau} + \varepsilon_{cell} \tau_{tr.cov.} I_p F_{glass} + \frac{k_{al.sheet}}{\Delta l_{al.sheet}} F_{glass} (T_{cell.1} - T_{al.sheet.1}) \quad (3)$$

Для алюминиевого листа и водяного потока;

$$\frac{k_{al.sheet}}{\Delta l_{al.sheet}} F_{glass} (T_{cell.1} - T_{al.sheet.1}) = \frac{\partial U_{al.sheet}}{\partial \tau} + \dot{m} C_p (T_{in} - T_{out}) + h_{r.sheet} F_{glass} (T_{al.sheet.2} - T_{bet.sh.iso.}) \quad (4)$$

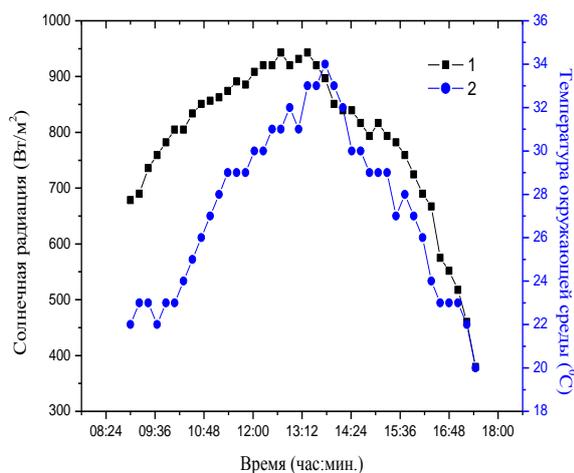
Для воздушного слоя между алюминиевым листом и теплоизоляцией;

$$h_{r.sheet} F_{glass} (T_{al.sheet.2} - T_{bet.sh.iso.}) + \frac{k_{isol}}{\Delta l_{isol}} F_{glass} (T_a - T_{bet.sh.iso.}) = \frac{\partial U_{air.bet.}}{\partial \tau} + h_{r.isol.} F_{glass} (T_{bet.sh.iso.} - T_a) \quad (5)$$

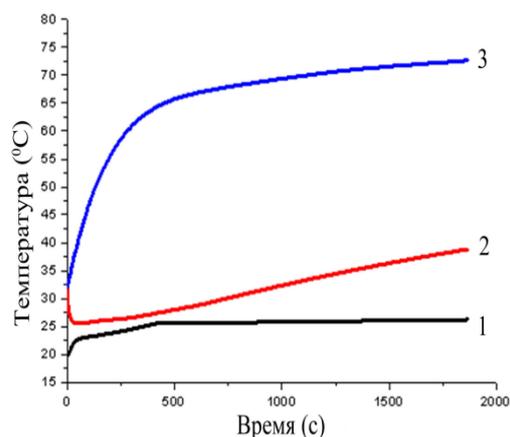
Термический коэффициент полезного действия имеет следующий вид;

$$\eta_{te} = \frac{mC_p(T_{out} - T_{in})}{I_p F_{glass}} \quad (6)$$

Результаты измерений плотности прямого потока солнечного излучения и температуры окружающей среды от времени суток за 24 мая 2012 г. приведены на рис. 7 и использовались при моделировании. На рис. 8 изображены результаты моделирования температуры ФТБ, температуры воды на входе и выходе теплового коллектора.



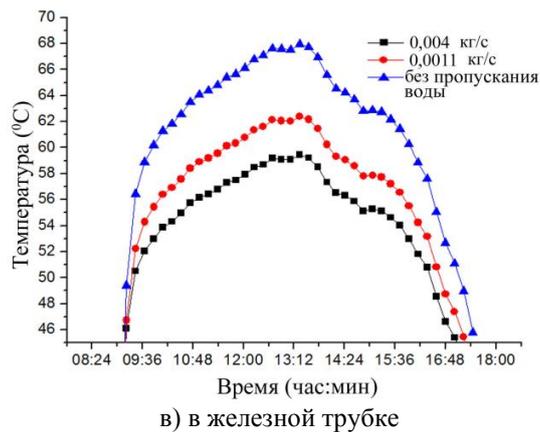
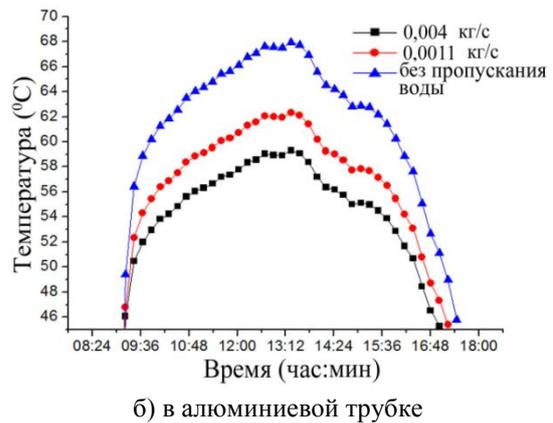
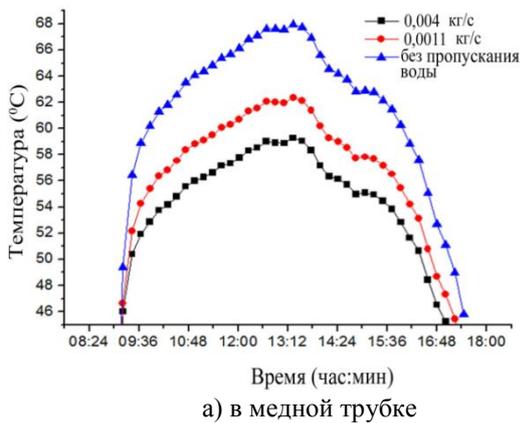
**Рис. 7. Изменение плотности потока солнечного излучения (1) и температуры окружающей среды (2) от времени**



**Рис. 8. Температура воды при входе (1) и выходе коллектора (2), температура в ФТБ (3) в процессе моделирования от 11<sup>45</sup> до 13<sup>30</sup> ч. (при достижении максимального значения плотности потока солнечного излучения)**

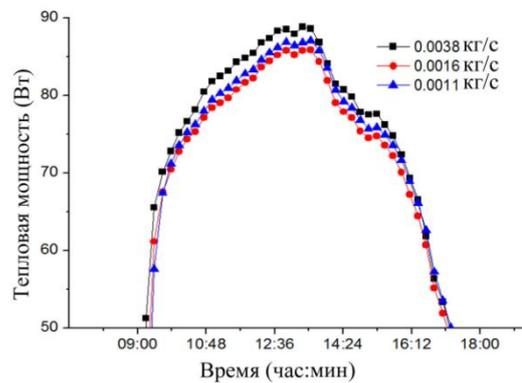
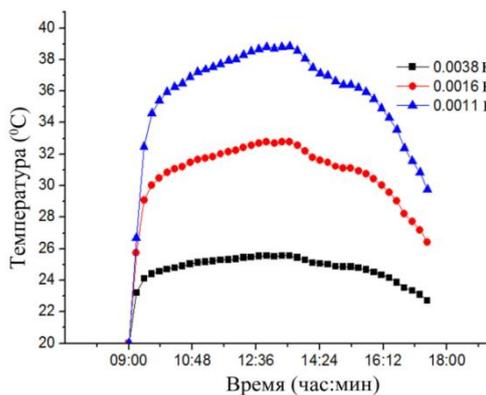
Результаты моделирования теплового процесса ФТБ представлены на рис. 9. Можно сделать вывод, что при использовании разных материалов трубки абсорбера (медь, алюминий, железо) температура ФТБ при постоянной скорости потока воды (0,004 кг/с) не изменяется. С уменьшением скорости потока воды (0,0011 кг/с) в коллекторе температура ФТБ повышается. На рис. 9 изображены расчетные зависимости температуры ФТБ от времени, при разных скоростях потока воды и без пропускания воды. При отсутствии воды в коллекторе, температура ФТБ достигает 70<sup>0</sup>С.

Результаты моделирования при стационарном режиме позволяет сделать вывод о том, что использование разных материалов для трубок не влияет на температурные режимы работы ФТБ. Температурный режим ФТБ зависит от конструкции элемента абсорбера (алюминиевого листа).



**Рис.9. Зависимость температуры ФТБ от времени для разных скоростей потока воды**

Было изучено изменение температуры воды на выходе коллектора в зависимости от скорости потока воды в дневное время. Как видно из рис.10 температура воды на выходе коллектора зависит от скорости потока воды в дневное время.



Тепловая мощность потока воды  $P$  определена из выражения:

$$P = \frac{mc\Delta t}{\Delta \tau} \quad (7)$$

где  $m, c$  – масса и удельная теплоёмкость воды;  $\Delta t$  – разность температур воды на входе и выходе коллектора;  $\Delta \tau$  – интервал времени, в течение которого температура изменилась на  $\Delta t$ .

Видно, что тепловая мощность прямо пропорциональна расходу воды и разности температур воды при входе и выходе коллектора, поэтому (рис.11) при скорости потока воды 0,0011 кг/с значение тепловой мощности высокое.

При таких условиях электрофизические параметры ФТБ остаются оптимальными, что согласуется экспериментальными результатами, которые показаны на рис. 16.

При проектировании комбинированных гелиотехнических установок необходимо учитывать влияние на их температуру конвективного теплообмена, т.е. климатических условий, в которых они будут эксплуатироваться.

Баланс потока солнечной энергии  $Q_s$  (с учетом отражения), падающей на поверхность фотоэлектрической батареи, равна сумме потоков собственного теплового излучения  $Q_r$  и конвективного теплообмена  $Q_c$ .

$$Q_s = Q_r + Q_c \quad (8)$$

$$Q_r = \sigma(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)(T^4 - T_0^4) \quad (9)$$

$$Q_c = 2\alpha(T - T_0) \quad (10)$$

$$Q_s = (1 - \eta) \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (1 - R(\lambda)) \cdot E(\lambda) d\lambda \quad (11)$$

где  $T_0$  – температура окружающей среды (воздуха),  $\varepsilon_1$  – степень черноты стекла,  $\varepsilon_2$  – степень черноты ЭВА,  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана,  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи,  $\lambda$  – длина волны солнечного излучения;  $R(\lambda)$  – спектральный коэффициент отражения поверхности,  $E(\lambda)$  – плотность потока солнечного излучения.

Выражение для коэффициента теплоотдачи имеет вид:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \gamma}{l} \quad (12)$$

$$Nu = 0,032 \left( v \frac{l}{\nu} \right)^{0,8} \quad (13)$$

$Nu$  – критерий (число) Нуссельта;  $l$  – характерная длина;  $\gamma, \nu$  – коэффициент теплопроводности и кинематическая вязкость воздуха;  $v$  – скорость движения воздуха. Так как в спектральном диапазоне солнечного излучения стекло не поглощает, а величина показателя преломления стекла  $n$  постоянна, то (11) можно записать в виде:

$$Q_s = (1 - \eta) \cdot \tau \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) d\lambda \quad (14)$$

где выражение для коэффициента пропускания  $\tau$  с учетом многократных отражений в стекле имеет вид:

$$\tau = \frac{2n}{n^2 + 1} \quad (15)$$

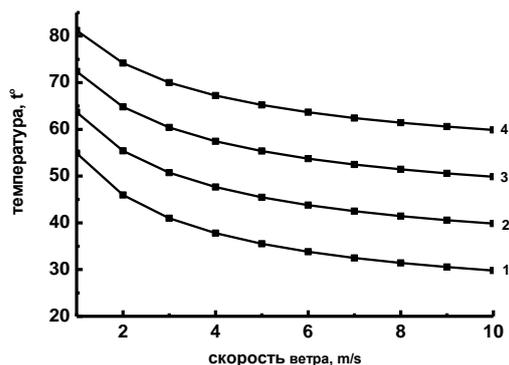
Для стекол, показатель преломления которых  $\sim 1.48 - 1.53$ , среднее значение коэффициента пропускания  $\tau \sim 0,92$ . Для модели AM1,5D и  $\lambda_1 = 0,4$  мкм,  $\lambda_2 = 2,55$  мкм величина интеграла равна  $961,0 \text{ Вт/м}^2$ .

Если ввести безразмерную переменную  $x = T/T_0$ , то (8) с учетом (9-15) можно записать в виде уравнения:

$$x^4 + \frac{2\alpha}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\sigma T_0^3} x - \left( 1 + \frac{Q_s + 2\alpha T_0}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\sigma T_0^4} \right) = 0 \quad (16)$$

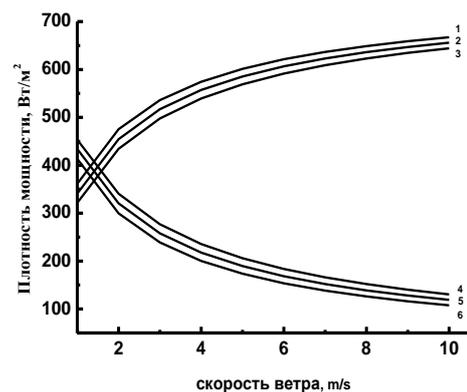
Исходные данные: степень черноты стекла  $\varepsilon_1 = 0,937$ , степень черноты пленки этиленвинилацетата на кремнии  $\varepsilon_2 = 0,72$  измерена с помощью терморадиометра ТРМ, значения  $\gamma, \nu$  заимствованы из справочника.

Решение уравнения (16) для солнечного элемента  $\eta = 16\%$  и разных температур окружающей среды приведено на рис. 12. На рис.13 представлены результаты расчетов зависимости потоков собственного теплового излучения  $Q_r$  и конвективного теплообмена  $Q_c$  от скорости ветра и температуры окружающей среды.



1 – 20°C; 2 – 30°C; 3 – 40°C; 4 – 50°C;

**Рис. 12.** Изменение температуры фотоэлектрической батареи в зависимости от скорости ветра и температуры окружающей среды



1, 4 – 30°C; 2, 5 – 40°C; 3, 6 – 50°C.

**Рис.13.** Изменение собственного конвективного теплообмена (1, 2, 3) и теплового излучения (4, 5, 6) фотоэлектрической батареи в зависимости от скорости ветра и температуры окружающей среды

Установлено, что если температура окружающей среды менее 30<sup>0</sup>С, температура фотоэлектрической батареи сильно зависит от скорости ветра: при увеличении скорости ветра с 1м/с до 10м/с температура фотоэлектрической батареи уменьшается ~40%;

– при температуре окружающей среды более 30<sup>0</sup>С температура фотоэлектрической батареи слабо зависит от скорости ветра и для эффективной работы фотоэлектрической батареи ее необходимо охлаждать другими методами;

– при скорости ветра менее 2 м/с фотоэлектрическая батарея охлаждается как за счет конвективного, так и за счет радиационного теплообмена;

– при скорости ветра более 2 м/с конвективный теплообмен преобладает над радиационным;

В четвертой главе приведены экспериментальные результаты **«Исследования параметров комбинированных энергоустановок и повышения эффективности их использования»**. Предложен способ ориентации фотоэлектрической батареи по Солнцу. Для проверки этого способа изготовлено экспериментальное устройство (Рис. 14), представляющее собой квадратную пластинку с укрепленными на ней под прямым углом вертикальной и горизонтальной измерительными линейками для определения оптимальных углов ориентации фотоэлектрических батарей.

Создана программа на Visual Basic для вычисления угла падения солнечного излучения на поверхность солнечного элемента, интерфейс которой приведен на рис. 15.



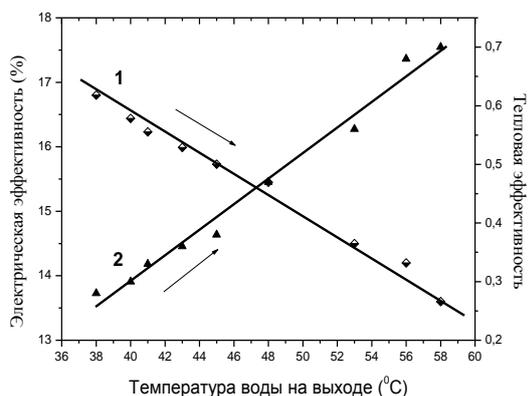
**Рис.14. Измерительный столик на полигоне ФТИ АН РУз.**



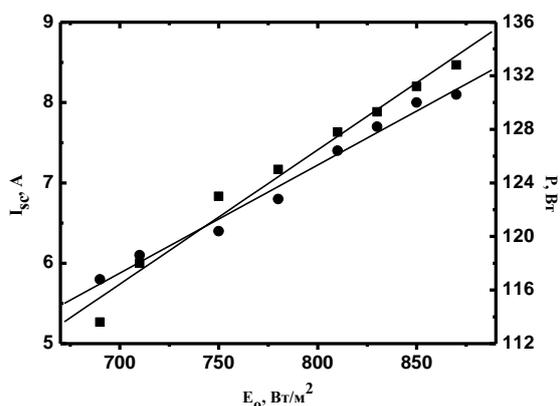
**Рис. 15. Интерфейс программы для определения угла падения солнечного излучения**

Значение углов, измеренных и рассчитанных с помощью программы, отличаются незначительно ~1÷3%. На основании полученных результатов можно заключить, что предложенная методика измерения углов обеспечивает высокую точность.

Исследованы возможности повышения основных параметров (КПД, номинальная мощность, производительность теплового коллектора и др.) комбинированной фото-тепловой установки в условиях жаркого климата.



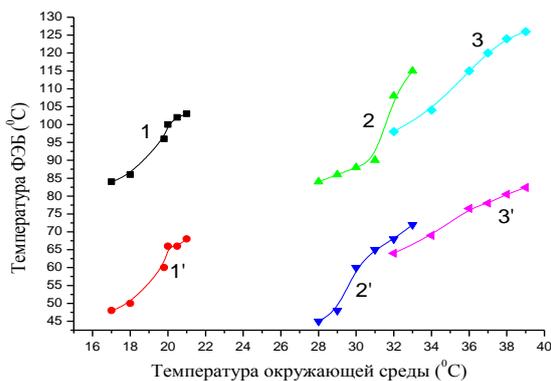
**Рис. 16. Зависимости электрической (1) и тепловой эффективности (2) ФТБ от температуры воды на выходе**



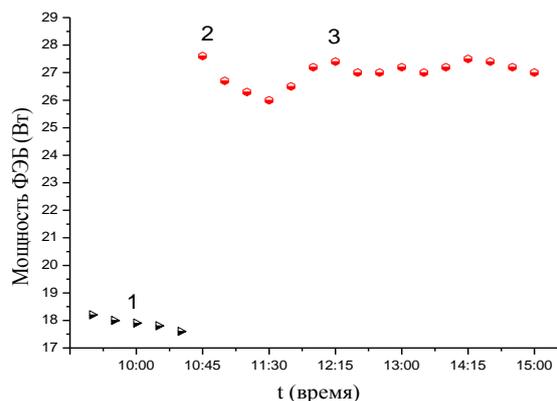
**Рис. 17. Экспериментальные зависимости тока короткого замыкания  $I_{sc}$  (●) и мощности  $P$  (■) ФТБ от плотности потока солнечного излучения**

Изучены зависимости электрической и тепловой КПД от температуры воды на выходе коллектора (рис. 16). Электрический КПД при изменении температуры на выходе коллектора от  $56^{\circ}\text{C}$  до  $40^{\circ}\text{C}$  увеличивается на 3%. Производительность коллектора по воде составила 14 л/ч, средняя температура  $42^{\circ}\text{C}$  при температуре окружающей среды  $\sim 33^{\circ}\text{C}$ . Зависимости тока короткого замыкания  $I_{к.з.}$  и вырабатываемой мощности  $P$  (рис. 17) от плотности потока падающего солнечного излучения  $E_0$  являются линейными (коэффициент корреляции  $\sim 1$ ).

Испытания комбинированной ФТЭГ установки проводились на полигоне Физико-технического института НПО «Физика – Солнце» АН РУз. Результаты представлены на рис. 18 и 19. На рис. 18 показана зависимость температуры поверхности фотоэлектрической батареи от температуры окружающей среды без и с использованием рефлектора. На кривой 1 видно, что при эксплуатации фотоэлектрической батареи с использованием отражающего рефлектора при температуре окружающей среды  $21^{\circ}\text{C}$ , температура солнечного элемента в фотоэлектрической батарее достигает  $103^{\circ}\text{C}$ , без применения отражающего рефлектора температура солнечного элемента в фотоэлектрической батарее достигает  $69^{\circ}\text{C}$ . На кривой 2 показана температура солнечного элемента в фотоэлектрической батарее при наличии рефлектора, где температура достигает  $115^{\circ}\text{C}$  при температуре окружающей среды  $33^{\circ}\text{C}$ . Кривая 3 показывает, что при повышении температуры окружающей среды до  $39^{\circ}\text{C}$ , температура солнечного элемента в фотоэлектрической батарее при использовании рефлектора достигает  $126^{\circ}\text{C}$ , а без применения рефлектора (кривая 3') это значение составляет  $82,4^{\circ}\text{C}$ . Разность температур между фотоэлектрической и термоэлектрической батареей составляла не более  $15^{\circ}\text{C}$ . При температуре окружающей среды ( $t_{о.с.}^{\circ}$ ) более  $25^{\circ}\text{C}$ , скорость ветра незначительна – менее 2 м/с. На рис. 19 приведены экспериментальные данные изменения мощности ФТЭГ установки в течение дня при ясной погоде в Ташкенте.



**Рис.18. Зависимость температуры фотоэлектрической батареи с рефлектором (1, 2, 3) и без рефлектора (1', 2', 3') от температуры окружающей среды**



**Рис.19. Экспериментальные зависимости мощности ФТЭГ установки от времени суток**

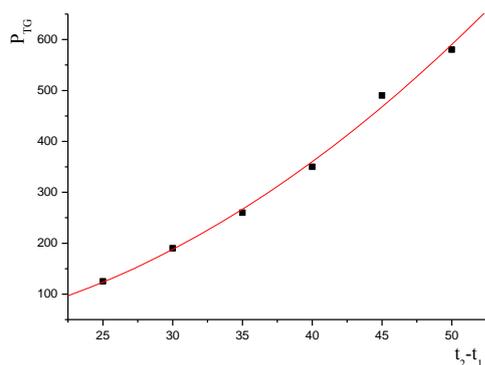
Скорость ветра и температура окружающей среды соответственно составляли 3,3 м/с и 39<sup>0</sup>С. Как следует из кривой 1 (рис. 19), до включения рефлектора в течение более часа напряжение холостого хода падает за счет нагрева ФТЭГ установки, следовательно, КПД и выходная мощность уменьшаются линейно с напряжением холостого хода. Потеря мощности за это время составляла 19,6%. При использовании рефлектора происходит скачок мощности (от 16,9 до 27,5 Вт, кривая 2) фотоэлектрической батареи, а большие плотности потока солнечного излучения приводят к увеличению фототока при обеспечении контактной сеткой солнечного элемента сбора носителей тока.

Затем, вследствие постепенного увеличения температуры солнечного элемента происходят уменьшение  $U_{xx}$  и коэффициента заполнения вольтамперной характеристики FF, что приводит к уменьшению выходной мощности фотоэлектрической батареи (участки кривых 2-3). На третьем участке при подключении системы охлаждения, часть тепла солнечного элемента рассеивается через термоэлектрическую батарею. Этот процесс сопровождается восстановлением значения напряжения холостого хода с 8,42 В до 9,6 В, что приводит к возрастанию мощности фотоэлектрической батареи. В целом электрическая мощность при использовании отражающего концентратора на комбинированной ФТЭГ установке увеличивалась на 40%.

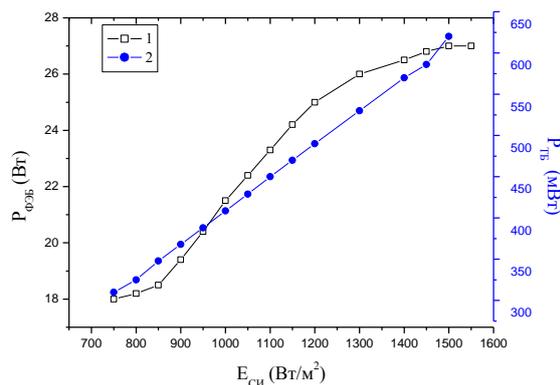
На рис. 20 приведены результаты экспериментальных исследований, зависимости мощности термоэлектрического генератора от разности температур  $\Delta T$ . Установлено, что при разности температур 50<sup>0</sup>С номинальной мощностью термоэлектрического генератора составляла ~580 мВт при температуре окружающей среды  $t_{o.c.}^0 \sim 39^0$ С.

Из графиков видно, что с ростом разницы температуры холодного и горячего спаев ТБ наблюдается рост вырабатываемой мощности, а с увеличением плотности потока (рис. 21) солнечного излучения повышаются выходная мощность ФТЭГ установки, температуры горячего спае и мощность ТБ. Определены температурные зависимости термо-э.д.с. от

разности температур  $\Delta T$  термоэлектрического генератора на основе висмут теллура.



**Рис. 20. Изменения мощности ТЭГ (мВт) от разности температур  $\Delta T$  ( $^{\circ}C$ )**



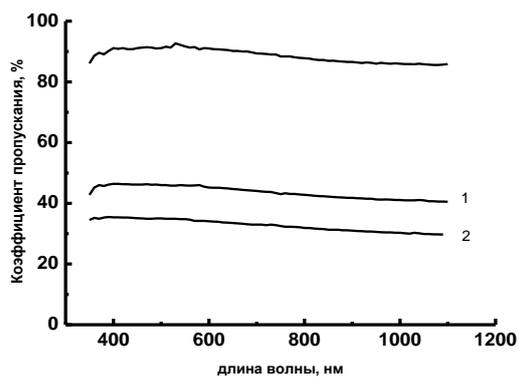
**Рис. 21. Зависимость мощности ФЭБ (1), ТБ (2) от плотности потока солнечного излучения**

Расчет показывает, что применение отражающего концентратора при температуре окружающей среды  $21^{\circ}C$  привело к увеличению потока солнечного излучения 1,6 раз и увеличению мощности СЭ на 18%, а ТБ на 47,0%. Эффективность преобразования СЭ за счет применения термоэлектрических батарей увеличилась на 2% из-за уменьшения температуры. При увеличении мощности ТЭГ на 47%, температура СЭ уменьшалась от  $90^{\circ}C$  до  $70^{\circ}C$ . В интервале рассматриваемых температур термо-э.д.с. линейно зависит от  $\Delta T$ , а градиент напряжения составляет  $\sim 0,068$  в/град.

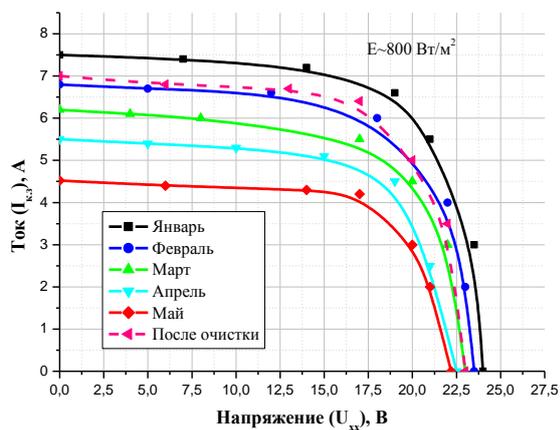
В комбинированной ФТЭГ установке суммарная площадь термоэлектрического генератора составляет 1/5 часть площади фотоэлектрической батареи. Если тыльную сторону фотоэлектрической батареи покрыть полностью ТБ, можно увеличить её мощность до 10% от общей мощности фотоэлектрической батареи при температуре окружающей среды более  $40^{\circ}C$ .

Впервые предложен метод определения степени загрязненности поверхности фотоэлектрических батарей и исследовано относительное изменение ее КПД. Отработана методика измерения коэффициента пропускания стеклянной пластинки после ее экспозиции в течение 80÷110 дней. На спектрофотометре Lambda EZ 150 были измерены (рис. 22) коэффициенты пропускания фотопластинок. Установлено, что загрязнение стеклянной пластинки уменьшает КПД фотоэлектрической батареи на 50,0%. Сделан вывод о том, что без очистки поверхности стекла уже за 80 дней экспозиции мощность фотоэлектрической батареи уменьшилась бы на  $\sim 50\%$ . Изучено влияние загрязненности атмосферы на ВАХ (рис. 23) ФЭБ в условиях города Карши. Определено, что загрязненность атмосферы привело к уменьшению мощности фотоэлектрической батареи на 37,6% в течение 4 месяцев.

По результатам экспериментов можно сделать вывод о том, что загрязнение поверхности фотоэлектрического модуля, в основном зависит от



**Рис. 22. Спектры пропускания чистой фотоэлектрической панели (без номера) и фотоэлектрических панелей после экспозиции на площадке в течение 80 дней (1), 110 дней (2)**



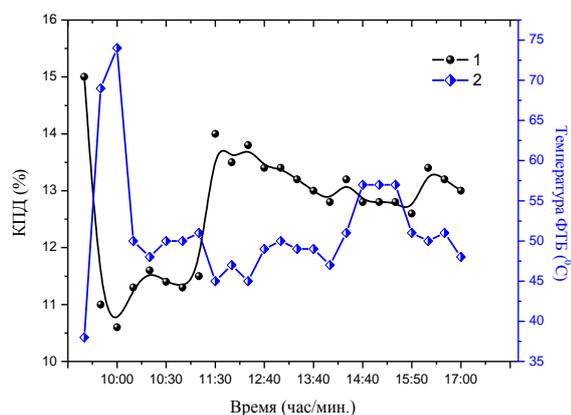
**Рис. 23. Влияние атмосферных загрязнений на ВАХ кремниевой фотоэлектрической батареи**

времени года (количество осадков) и месторасположения фотоэлектрических батарей в регионах нашей страны.

Определены влияния климатических факторов на работу фотоэлектрической батареи в условиях республики Каракалпакстан. Выявлено, что в зимний период дневное накапливаемое количество заряда в ясную погоду ( $\sim 790 \text{ Вт/м}^2$ ) составляет 42,7 А·ч, в пасмурную (сплошная облачность,  $\sim 280 \text{ Вт/м}^2$ ) 11,6 А·ч.

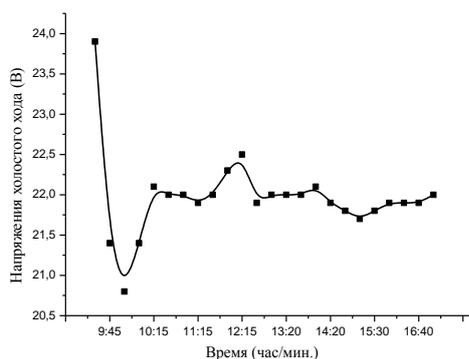
Изучено влияние принудительного воздушного охлаждения на эксплуатационные характеристики фотоэлектрической батареи. Установлено, что расположение вентиляторов на задней стенке фотоэлектрической батареи является более эффективным, чем расположение на торцах корпуса фотоэлектрической батареи. Установлена линейная зависимость мощности фотоэлектрической батареи от скорости потока воздуха. Доля потребляемой электрической энергии устройством воздушного охлаждения в течение дня составляет 8% от общей мощности фотоэлектрической установки с отражающим концентратором. Выявлено увеличение КПД фотоэлектрической батареи за счет потока воздушного охлаждения на 2,5 %.

Разработаны новые конструкции фото-тепловой установки с охлаждающим устройством на основе полимерных трубок. Площадь контакта коллекторной части с тыльной поверхностью фотоэлектрической батареи увеличена до  $\sim 50\%$  от площади батареи, что привело к увеличению электрической мощности фото-тепловой батареи на 38%. Тыльная площадь фото-тепловой батареи составляет  $0,24 \text{ м}^2$ . Коллекторная часть фото-тепловой батареи представляет собой конструкцию, состоящую из параллельно расположенных полимерных трубок, которые крепятся к двум, перпендикулярно расположенным, полипропиленовым трубкам. Такая конструкция коллектора имеет меньший вес и низкую стоимость по сравнению с традиционными металлическими конструкциями.



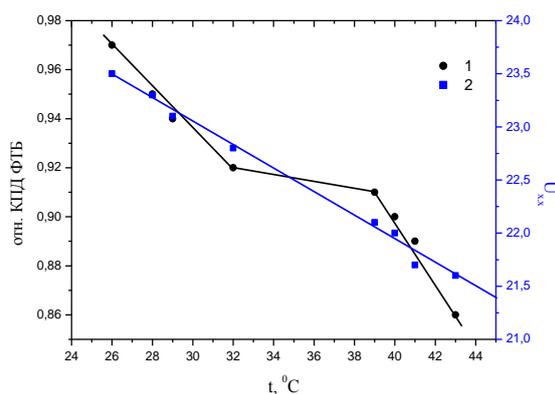
**Рис.24. Зависимости электрического КПД (1) и температуры тыльной стороны ФТБ (2) от времени суток**

лектору наблюдается восстановление основных параметров ФТБ. Результаты измерений (рис. 24, 25) показали, что электрический КПД за счет охлаждения фотоэлектрической батареи полимерными трубками восстанавливался ~13,5%, напряжение холостого хода ~8,3%. Из рис. 26 можно видеть, что при росте температуры воды на выходе теплового коллектора от 32<sup>0</sup>С до 39<sup>0</sup>С относительные КПД ФТБ уменьшаются незначительно, а далее нагрев воды приводит к уменьшению относительных КПД ФТБ.



**Рис.**

**25. Зависимость напряжения холостого хода ФТБ от времени суток**



**Рис. 26. Зависимость относительного КПД (1) и напряжения холостого хода ФТБ (2) от температуры воды на выходе**

Установлено, что получение горячей воды в коллекторе фото-тепловой батареи с температурой до ~45<sup>0</sup>С не останавливает процесс зарядки аккумуляторной батареи в системе аккумулирования электрической энергии. Температура воды на входе коллектора составляла 20÷22<sup>0</sup>С. Производительность по горячей воде ~6л/час. Суточная производительность горячей воды ФТБ составляла 45 л/день. При уменьшении производительности воды до ~3л/час, температура воды достигает ≥50<sup>0</sup>С.

Пятая глава «Применение созданных фотоэлектрических установок в разных отраслях народного хозяйства» посвящена внедрению разработанных фотоэлектрических установок в различных регионах Узбекистана.

Разработана переносная фотоэлектрическая установка для создания комфортных условий быта сельских жителей в необустроенных полевых станах сельских регионов. Предусмотрено использование фотоэлектрической установки для освещения помещений, подключения ноутбуков и средств связи, устройств для стрижки овец, переносных холодильников, телевизоров.

Показана возможность применения автономной фотоэлектрической станции мощностью 2,24 кВт·час в системах подъема воды из глубоких колодцев с использованием современных высокоэффективных водоподъемных насосов. Суточная выработка воды составляла 50-60 м<sup>3</sup>. Использование установки подъема воды обходится примерно в два раза дешевле, чем использование дизельных агрегатов.

Разработан и изготовлен опытный образец автономной мобильной многофункциональной фотоэлектрической станции (АММФЭС) экстренного обеспечения электроэнергией объектов, удаленных от централизованных источников энергии. Впервые показаны возможности использования АММФЭС в аграрном секторе республики для подъема воды с производительностью 6-8 м<sup>3</sup>/ч, а также из магистральных каналов и колодцев, для обеспечения работы сварочного агрегата до 3-4 ч в день при соблюдении правил его эксплуатации.

Проведено исследование возможности применения фотоэлектрической станции для электропитания осветительных и нагревательных приборов, нетрадиционной теплицы. Предложен новый тип конструкции теплицы, который отличается от традиционной теплицы по энергосберегающим свойствам и относительной дешевизне используемого материала.

Вопрос технико-экономического обоснования целесообразности использования фотоэлектрической установки является важнейшей научно-технической задачей. Для этой цели выполнен сравнительный экономический анализ комбинированных установок: стандартной фотоэлектрической установки, фотоэлектрической установки с тепловым коллектором, фотоэлектрической установки с термоэлектрическим преобразователем, фотоэлектрической установки с устройством воздушного охлаждения и рефлектором.

Определена экономическая эффективность созданных фотоэлектрических установок. Предложена методика для расчета эксплуатационных издержек, объема реализации продукции, установлена динамика изменения чистой прибыли от этих установок по сравнению со стандартной фотоэлектрической установкой мощностью 170 Вт и фотоэлектрической установки с устройством воздушного охлаждения и рефлектором. На основании результатов экономического анализа обоснован вывод о том, что фотоэлектрическая установка с рефлектором и системой воздушного охлаждения более рентабельна, чем стандартная фотоэлектрическая установка.

**В приложении** диссертации приведены методика и расчет погрешностей при измерении параметров комбинированных энергоустановок на основе фотоэлектрических батарей из кристаллического

кремния, а также акты внедрения от малых предприятий Узбекистана ООО «Устюртгаз», ООО «Solar Energy Products» и фермерного хозяйства «Миртемир».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по теме докторской диссертации на тему «Комбинированные энергоустановки на основе фотоэлектрических батарей из кристаллического кремния» представлены следующие выводы:

1. Достигнуто увеличение КПД солнечных установок при прямом и слабо концентрированном солнечном излучениях за счет каскадного расположения фотоприемных поверхностей, приводящих к эффективному использованию более широкого диапазона спектра солнечного излучения, а также благодаря снижению температуры фотоэлектрической части за счет отвода тепла для обогрева воды, используемого для нужд хозяйства.

2. На основе разработанной технологии изготовлены комбинированные установки фотоэлектрических батарей из кристаллического кремния и на их основе показаны возможности производства фото-тепловых, фотоэлектрических установок с принудительным воздушным охлаждением.

3. Разработанная методика и программа на Visual Basic применена для вычисления угла падения солнечного излучения, на основе результатов которой изготовлены экспериментальные устройства по определению оптимальных углов ориентации фотоэлектрических батарей.

4. Разработана САД модель фотоэлектрической установки в программе Solid Works Flow Simulation позволяющая определить динамику изменения температуры ФЭБ и оценить влияние скорости потока воды на температуру фото-тепловой батареи, также показано, что применение разных материалов для трубок не влияет на температурные режимы работы фото-тепловой батареи и напротив, зависит от конструкции элемента абсорбера (телопоглощающего материала) на основе металлического листа.

5. За счет применения отражающего рефлектора при температуре окружающей среды  $21^{\circ}\text{C}$  показана возможность увеличения потока солнечного излучения в 1,6 раз и соответственно мощности солнечных элементов на 18%, термоэлектрической батареи на 47,0%, а также за счет применения термоэлектрической батареи эффективность солнечных элементов на 2%.

6. Впервые на основе предложенного метода показана возможность относительного изменения коэффициента полезного действия чистого и загрязненного фотоэлектрических батарей.

7. В двух идентичных фотоэлектрических батареях с принудительным воздушным охлаждением показана возможность линейной зависимости фотоэлектрической батареи от скорости потока охлаждающего воздуха.

8. Разработанная конструкция фото-тепловой установки с охлаждающим устройством на основе полимерных трубок позволяющая увеличить электрическую мощность фото-тепловой батареи на 38%.

9. Впервые для жарких климатических регионов разработан и изготовлен опытный образец автономной многофункциональной фотоэлектрической станции экстренного обеспечения электроэнергией объектов, удаленных от централизованных источников энергии, для подъема воды из колодцев и сварочного агрегата.

**SCIENTIFIC COUNCIL NO.14.07.2016.FM/T.12.01 ON AWARD OF  
SCIENTIFIC DEGREE OF DOCTOR OF SCIENCES AT THE PHYSICAL  
-TECHNICAL INSTITUTE AND SAMARKAND STATE UNIVERSITY**  

---

**THE PHYSICAL-TECHNICAL INSTITUTE**

**YULDOSHEV ISROIL ABRIEVICH**

**COMBINED ENERGY INSTALLATIONS BASED ON PHOTOELECTRIC  
BATTERIES OF CRYSTALLINE SILICON**

**05.05.06 – Energy installations based on renewable energy sources  
(technical sciences)**

**ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION**

**TASHKENT – 2016**

**The theme of the doctoral dissertation was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No.30.09.2014\B2014.5T265.**

The doctoral dissertation has been carried out at the Physical-Technical Institute.

The abstract of the dissertation is posted in three (Uzbek, Russian, English) languages on the website of the Scientific Council at [www.fti-kengash.uz](http://www.fti-kengash.uz) and on the website of “ZiyoNet” information-educational portal at [www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz).

**Scientific consultant:** **Tursunov Mukhamad Nishanovich**  
Doctor of Technical Sciences

**Official opponents:** **Mukhamadiev Murodulla**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Khayriddinov Botir Egamberdievich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Abdukadirov Mukhiddin Abdurashidovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Leading organization:** **Fergana Polytechnic Institute**

The defence of the dissertation will be held on “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2016, at \_\_\_ at the meeting of the Scientific Council No.14.07.2016.FM/T.12.01 at the Physical-Technical Institute and Samarkand State University (Address: 2B Bodomzor str., 100084, Tashkent, Uzbekistan. Tel.: (+99871) 235-42-91; e-mail: [lutp@uzsci.net](mailto:lutp@uzsci.net)).

The doctoral dissertation has been registered in the Information Resource Centre of Tashkent State Pedagogical University under No.04. Address: 2B Bodomzor str., 100084, Tashkent, Uzbekistan. Tel.: (+99871) 235-42-91.

The abstract of dissertation was distributed on “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2016  
(Registry record No \_\_\_ dated “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2016)

**S.L. Lutpullayev**  
Chairman of the Scientific Council on Award of Scientific Degree of Doctor of Sciences, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

**A.B. Karimov**  
Scientific Secretary of the Scientific Council on Award of Scientific Degree of Doctor of Sciences, Doctor of Physical and Mathematical Sciences

**A. Abdurakhmonov**  
Deputy chairman of the Scientific Seminar of the Scientific Council on Award of Scientific Degree of Doctor of Sciences, Doctor of Technical Sciences

## INTRODUCTION (annotation of doctoral dissertation)

**Topicality and relevance of the theme of the dissertation.** Nowadays, one of the main physical and technical problems of fast developing helium power engineering is identifying the opportunities of implementation of new materials of solar cells and producing durable, cost effective and adaptable to different types of climates photoelectrical converters. In this aspect, development of combined photo-thermal power systems is considered one of the perspective fields.

Today, the scholars of our country are paying special attention to the development of combined photoelectrical and thermos-electrical power systems that provide to some extent increasing the production of electrical energy through the use of the heat and coverage of additional spectrum of solar rays. In this area, tangible results were achieved on the development of combined photo-thermoelectric plants that provide temperature reduction using the constructions based on metal and plastic pipes, as well as the development of cooled air flow constructions (fans, heating collectors) corresponding to modern requirements of solar inverters.

A good choice of component parts, as well as an increase in efficiency of the systems combined with solar cells are essential in the development of combined photovoltaic and thermoelectric systems. In this aspect, the creation of combined photovoltaic installations on the basis of crystalline silicon in a pair with a solar cell, the development of manufacturing techniques of photo-thermal installations with a “buffer” heat receiver with different contact areas on the back surface of the photovoltaic battery, optimization of the electro-physical and thermal-technical parameters of the photo-thermal panels and the development of corresponding photovoltaic batteries with cooling device meeting the climatic conditions of the area are necessary. The researches carried out in the above direction bring about the relevance of the theme of the dissertation.

To some extent, this dissertation research serves to perform the tasks stipulated in the Decree PD-4512 of the President of the Republic Uzbekistan “On measures for further development of alternative energy sources” of 1 March 2013 and the Decree PD-2343 “On measures for power consumption reduction, implementation of energy saving technologies in industries of economy and social sphere in 2015-2019” of 5 May 2015, as well as other related normative and legal acts adopted in this sphere.

**Relevance of the research to the priority areas of science and technology development of the republic.** This research was performed in accordance with the priority areas of science and technology development of the Republic of Uzbekistan IV. “Development of the methods of using renewable energy sources, creation of technologies and devices based on nanotechnologies, photonics and other advanced technologies”.

**Review of international scientific researches on the subject of dissertation<sup>1</sup>.** Scientific researches aimed at the development and study of a construction of combined photovoltaic-thermal (PV-T) installations with different

---

<sup>1</sup> Review of international scientific researches on the theme of the dissertation was carried out on a basis Annual Report. UNSW Photovoltaic Special Research Centre, University of New South Wales // Sidney, Australia.; [www.elsevier.com/locate/apenergy](http://www.elsevier.com/locate/apenergy) / Ж. Applied Energy. 2009-2014; [www.elsevier.com/locate/solener/](http://www.elsevier.com/locate/solener/). Ж. Solar Energy, 2002-2006; Energy and buildings, 2006; Ж. Техника в сельском хозяйстве. 2013; and other sources.

configurations are being carried out in the leading scientific research centres and higher educational establishments of the world, including the Photovoltaic Special Research Centre, University of New South Wales (Sidney, Australia), Massachusetts Technological Institute (USA), Dept. of Mechanical and Aerospace Engineering, University of Roma (Italy), Energy Research Centre (Netherlands), City University of Hong Kong (China), Department of Mechanical and Materials Engineering, Queen's University (Canada), Brno University of Technology (Czech Republic), the All-Russian Scientific Research Institute for Electrification of Agriculture (Russia).

As a result of the researches carried out in the world on the problems of combining photovoltaic batteries based on a crystalline silicon with other devices, a number of practical results were obtained, including the following scientific results: the specialists of Photovoltaic Centre of the University of Sydney conducted a comparative test of silicon solar cells in Antarctica. It was found that if at normal operating conditions (at 300 K) their efficiency was 23.5%, then at 33<sup>0</sup> C (239 K) it increased to 25.9%, i.e. about by 10%; the photo-thermal plant with two absorbers was studied under the program at Massachusetts Technological Institute, as a result of which there was marked high thermal efficiency of this construction; in the All-Russian Scientific Research Institute for Electrification of Agriculture (Russia), a technological scheme of solar cogeneration unit was developed based on a photo-thermal battery and an open-loop dispensing coolant using a solenoid valve and relay control; in Brno University of Technology, the methods of cooling the photovoltaic panels were developed on the basis of the polymeric material;

At present, researches are being carried out on the creation of constructions of combined power installations on the basis of silicon photovoltaic batteries in the following promising areas, including: the use of mirrored concentrators to increase the efficiency of the use of installations; the use of relatively cheap materials; optimization of electrical and thermal parameters of installations; introduction of cooling devices into high-power photovoltaic stations.

**The degree of study of the problem.** The researches have been carried out on the scientific theories of different constructions of PV-T installations by foreign scholars such as T.T. Chow, H.P. Grag, R.K. Agarwal, S.A. Kalogirou, Y. Tripanagnostopoulos, B. Sandnes, J.A. Rekstad. S.A. Kalogirou and Y. Tripanagnostopoulos have investigated the parameters of PV-T installations using the forced circulation mode that works in thermo-siphon process. They researched 12 types of PV-T installation modes on the basis of pc-Si and a-Si types of PV-T modules. As a result, they found that a-Si based PV-T battery had several preferences such as cheaper cost and resistance.

In their works, the authors M. Mirzabaev, M.N. Tursunov, R.A. Muminov and A. Komilov showed high efficiency of the photo-thermal batteries compared with standard photovoltaic batteries in hot climates. R.R. Avezov, J.S. Akhatov and others broadly reviewed the different constructions of photo-thermal installations, and theoretical and experimental studies.

In recent years, researchers and developers have offered to use fully and efficiently the solar radiation by the combined transducers. Such transducers combine two, three or more devices of the same physical type, each of which converts a portion of the solar spectrum. For example, cascading photovoltaics or solar cells or two units of heterogeneous physical principles of energy conversion, such as photovoltaic and thermal. Many potential users of solar energy are ideally suited to the production of energy from the combined converters. Problems of converting solar radiation into electrical and thermal energy via combined photo-thermal and photo-thermo-electro-generating installations in hot climates were poorly studied compared to other installations (for example, photovoltaic batteries, solar collectors, etc.). The published works in most cases concern only the theoretical aspects of the problem.

Initially, the idea of combining the solar cell with thermocouples was proposed by M.S. Sominsky and Y.N. Malevsky. Under laboratory conditions, the authors investigated several constructions of such devices. In these studies, remained practically unsolved the problems of obtaining maximum power and efficiency of thermoelectric batteries at their optimum size, as well as the optimization of the parameters of photo-thermopile in terms of getting the maximum power of the system of sunlight under natural conditions.

**Connection of the theme of dissertation with the scientific-research works of the higher educational institution, where the dissertation was conducted.** The dissertation research was carried out in the Physical-Technical Institute in line with the plan of research works of applied projects within the framework of State programs on the themes A4-ΦA-0-26793 “Development of combined energy installations based on a photo-thermocouples and cooling system of direct and concentrated solar radiation” (2012-2014), MK-47/2012 “Uzbekistan-Korea 2012”, “Development and manufacturing of portable photovoltaic power for rural communities” (2013-2015) and an innovative project И3-ΦA-0-11738 “Creation and implementation of autonomous multifunctional complex on the basis of photovoltaic, photo-thermal and biogas installations for providing the facilities of livestock farms with energy” (2013-2014).

**The aim of research** is developing combined power installations based on photovoltaic batteries with the optimal settings for direct and indirect solar radiation intended for hot climate conditions.

**The tasks of the research:**

development of prototypes of photovoltaic batteries with a cooling device for the climatic conditions of Uzbekistan;

development of methods for determining the thermo-technical parameters of installations by modeling the thermal modes of photo-thermal batteries;

monitoring the changes in the conversion efficiency of photovoltaic batteries taking into account the impact of climatic and operational factors;

development of the technology of manufacturing photo-thermal installations with a “buffer” heat receiver with different contact areas on the back surface of photovoltaic batteries;

development of the construction of manufacturing side reflecting concentrators (reflectors) on the front surface of photovoltaic batteries for increasing the lifetime of photovoltaic power batteries up to 1.5 times;

identifying the areas of energy loss, searching options to improve the efficiency of photo-thermal and photo-thermo-electro-generating installations;

manufacturing the prototypes of stationary and portable options for photo-thermal and photo-thermo-electro-generating installations and studying the operational parameters at natural conditions;

conducting a comparative feasibility analysis of various options for the use of combined power installations based on photovoltaic batteries with cooling devices.

**The object of the research** were combined photovoltaic and photo-thermal and photo-thermo-electro-generating installations with different cooling devices.

**The subject of the research** was a thermal model of photo-thermal batteries, as well as various climatic factors (solar radiation, air temperature, air dust, humidity, wind speed, etc.) affecting the energy output parameters of photovoltaic batteries.

**The methods of research.** During the research such methods were used as modeling the thermal parameters, determining the degree of contamination, studying the current-voltage, photovoltaic, thermal and optical properties.

**The scientific novelty of the research** is as follows:

an interface method was proposed for operational orientation of photovoltaic batteries in relation to the Sun;

a photovoltaic battery construction was developed with additional solar cells adapted to hot climate conditions;

a thermal model of photo-thermal batteries was developed on the program Solid Works Flow Simulation, allowing to determine the dynamics of change in the photovoltaic battery temperature, and the effect of water flow rate on the temperature of photo-thermal batteries was evaluated, the types of materials for the cooling tubes, which provide a stable operating temperature of photo-thermal batteries and their dependence on the construction of the absorber element (heat absorbing material) through the metal sheet were defined;

for the first time it was experimentally shown that the use of the reflector proportional to the surface of photovoltaic batteries leads to the increase of the solar irradiance by 1.6 times and, respectively, the output of the solar cell by 18% and thermoelectric batteries by 47%; the conversion efficiency of the solar cell increased by 2% due to the reduction of the temperature of the solar cell through the use of thermo-electric batteries;

a method for determining the degree of pollution of the surface of photovoltaic panels was proposed, which allows to identify the relative change in the efficiency of the clean and polluted surface of photovoltaic batteries;

a photovoltaic panel with a controlled cooling device was developed; the effect of the charge air cooler on the performance of two identical photovoltaic batteries was studied, as well as the linear relationship of photovoltaic battery power with the cooling air flow rate was determined;

a new construction of the photo-thermal system with a cooling device was developed based on polymer tubes providing an increase in electric power by 38%.

**Practical results of the research** consist of the following:

we developed photovoltaic batteries adapted to hot climate conditions and photo-thermal installations with a cooling device to improve the efficiency of use;

we suggested some methods for the reduction of the temperature of photovoltaic batteries allowing to significantly shorten the battery charging time by increasing the current for charging batteries;

we designed a program on Visual Basic for determining the optimum angle of incidence of solar radiation and accurate measurement of the solar cell parameters. We created a device for determining the optimum angle of photovoltaic battery orientation.

we developed a method for determining the degree of pollution of the surface of the cover glass of photovoltaic batteries with precipitations.

**The reliability of the research results** is confirmed by the coincidence of the obtained experimental results with theoretical data, the application of modern approaches and methods in the research process, consistent unity, the use of modern measuring equipment, as well as reliable repeated methods of processing the results of measurements.

**Theoretical and practical significance of the research results.** The scientific significance of the research results is in that it helps to deepen the knowledge about the physical processes occurring in photo-thermoelectric elements in the conversion of solar energy into electrical energy.

The practical significance of the research lies in the fact that the methods of creation of combined solar and photo-thermal systems can be used in the manufacture of various constructions of combined power installations that are suitable for hot climate conditions.

**Implementation of the research results.** For the practical research “Development and creation of modern systems of direct conversion of solar radiation into electrical energy based on silicon photovoltaic convertors” the author of the dissertation was awarded the State Prize for Science and Technology by the Decree PD-4556 of the President of the Republic of Uzbekistan of 22 August 2013. As a result of the introduction of the scientific results into practice, a new option of the photo-thermal system with a cooling device was developed based on polymer tubes providing a 38% increase in the electric power of photovoltaic battery constructions and photo-thermal batteries, which are provided with additional solar cells adapted to hot climatic conditions. It made it possible to economize fuel resources by heating 150 liters of water using 1.5 kW electricity per day.

**Testing of the research results.** The results of the dissertation were reported and discussed at 19 international and republican scientific and practical conferences on the themes: “Fundamental and applied problems of physics” (Tashkent, 2010); “Republican scientific and practical conference of young scientists dedicated to the 70th anniversary of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan” (Tashkent, 2013); “ISES Solar World Congress”

(Mexico, 2013); “International Workshop on Convergence of Physical and Material Engineering” (Chiang Mai University, Thailand, 2013); “Solid State Physics” (Astana, 2014); “Optical and photovoltaic phenomena in semiconductor micro- and nanostructures” (Fergana, 2014); “Actual problems of the use of alternative energy sources” (Karshi, 2014); “Problems of increasing the efficiency of electrical energy consumption in sectors of agro-industrial complex” (Tashkent, 2015); “The importance of innovative technologies in solving the problems of energy saving and energy efficiency of industrial enterprises” (Karshi, 2016).

**Publication of the research results.** On the main results of the theme of the dissertation a total of 33 scientific works were published, of these, 12 scientific articles in the journals recommended by the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of basic scientific results of doctoral dissertations. The patent have been obtained for 1 useful model and 1 industrial design.

**The structure and volume of the dissertation.** The dissertation is presented on 188 pages consisting of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of used literature and appendices.

## THE MAIN CONTENT OF THE DISSERTATION

**In the introduction**, the topicality and relevance of the theme of the dissertation were substantiated; its conformity to the priority directions of science and technology development was shown; international researches on the topic of the dissertation were reviewed; the degree of study of the problem was highlighted; the aims, tasks as well as the objects and subjects of the dissertation were formulated; the scientific novelty was described; the reliability of the obtained results was justified; the theoretical and practical importance was revealed; a summary of the implementation and announcement of the research results and the structure of the dissertation were given.

The first chapter of the dissertation is devoted to **“Analyses of modern state of developments of solar cells and thermo-electrical energy convertors”**. The theory of the photovoltaic effect, the material requirements for optimum performance of the solar cell with the *p-n* junction and the main characteristics of solar cells are briefly discussed. Certain factors that lead to a decrease in the conversion efficiency of the solar cells are considered. Technology, design and structural aspects of the creation of a combined PV-T, PV-TEG installations for their using in terrestrial conditions are established.

The various methods of cooling the PV panels, the marketing state of the PV-T system are studied and analysed, and also a variety of ways to improve the conversion efficiency of the solar cell and photovoltaic batteries are identified.

The analysis of scientific literature concluded that the lack of knowledge of the problem of reducing the main parameters of PV cells based on crystalline silicon operating in hot climates, and the goal and major tasks of upcoming studies are formulated.

In the second chapter, **“Development of design and manufacturing technology of combined energy installations (PV, PV-T and PV-TEG)”**, the technological stages of manufacture of photovoltaic cells based on crystalline silicon and the basic requirements to them are stated. All technological processes are carried out in an experimental production department of the Laboratory “Semiconductor solar cells” at the Physical-Technical Institute, Scientific Association “Physics-Sun” of the Academy of Sciences of Uzbekistan.

Photovoltaic battery production technology adapted to the conditions of the regions of the Republic of Uzbekistan is perfected.

A separation technology of solar cells into fragments by the selective chemical etching is described. On the basis of manufactured solar cells thin photovoltaic batteries (1.4 W, 1.64 W, 1.24 W) are assembled and their comparative photoelectric parameters are examined. Solar chargers for mobile phone power supply, low-power laptops and other energy consumers were developed and offered on the market of Uzbekistan.

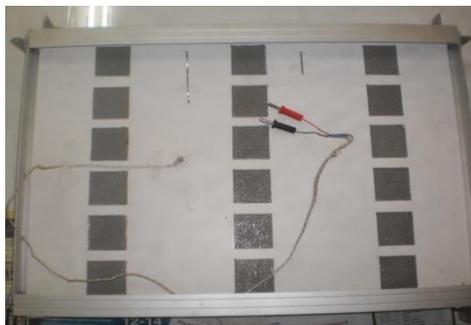
Principal schemes of a PV-T system for hot water and electricity for domestic purposes are developed.

The technological process of manufacturing of uniaxial combined PV-TE installation with a reflecting concentrator of solar radiation and a cooling device have been developed. Three variants of the combined units have been developed:

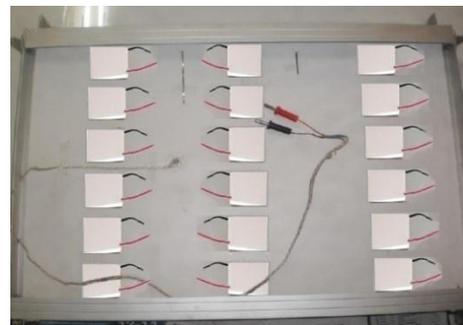
- photo-thermoconverter (PTP-1);
- photo-thermoelectrical-conversion generator (PTG-1);
- combined photovoltaic-thermoelectric power generation (PV-TEG) system.

In order to manufacture a PV-TEG installation of PV panel, 18 solar cells on the basis of polycrystalline silicon with the efficiency of 15.4% were connected in series. The geometrical sizes and thickness of solar cells were 52×156×0.2 mm, respectively.

Before lamination of PV module, a small area (Figure 1) was created on the back side of the PV module in order to stick thermoelectric batteries (TB). Thermoelectric generator (TEG) was commuted of 18 TBs connected in series which are in square forms, the size of them 40×40×2.5 mm, and with occupancy coefficients of  $\xi_T \sim 0,25$  and  $\eta_T \sim 6\%$ . The TB contains 127 thermoelements based on the tellurium bismuth with a conduction of *p-n* type. The operating temperature range of the thermoelements is 0÷180<sup>0</sup>C. Bismuth-tellurium based thermoelements belong to the group of low temperature thermoelectrical materials. It is possible to reach a maximum indicator 150<sup>0</sup>C with the help of the reflectors in the battery part of combined PV-TEG installation, that's why choosing bismuth-tellurium based TB depend on their interval temperature diapason. "Hot" junction of thermoelectrical batteries contacts with the back side of photovoltaic batteries (Figure 2) by a heat transfer organosilicon paste KPT-8, which at a range of temperatures from -60 to +180<sup>0</sup>C supplies an effective thermal contact.



**Figure 1. A sticking place of TB on the layer of ethylene vinyl acetate**

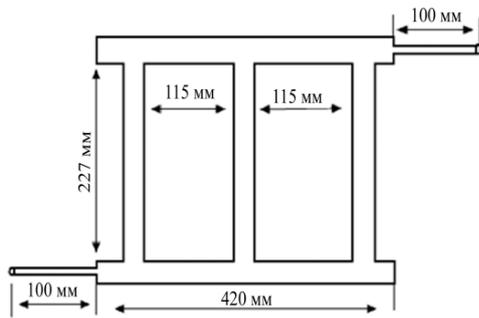


**Figure 2. Placement of TB on the back side of PV module**

A cooling device for the "cold" junction of thermoelectrical batteries is manufactured as follows: three rows of parallel flat rectangular pipes for a cold coolant are spaced 115 mm apart from each other. The upper and lower ends of the rectangular tubes are joined perpendicularly to six channels of perpendicularly located tubes with a rectangular section.

Figure 3 shows a diagram of a cooling device, which is mounted on the rear side of the thermoelectric generator. For the thermal insulation (Figure 4) kaolin wool was used. The back side of the installation (Figure 5) was closed by an aluminium lid. The above indicated components of the installation were reduced to

a single design in the form of a quadrangular shape, which was mounted on a uniaxial load-bearing structure.



**Figure 3. Diagram of a cooling device for TEG**



1 - kaolin wool; 2 - copper-constant based thermocouple; 3 - cooling collector

**Figure 4. The order for placement of the cooling device and thermal insulation material**



**Figure 5. Combined PV-TEG installation**

The support structure has a pivot mechanism in two directions (horizontally and vertically) for operational tracking for by the sun.

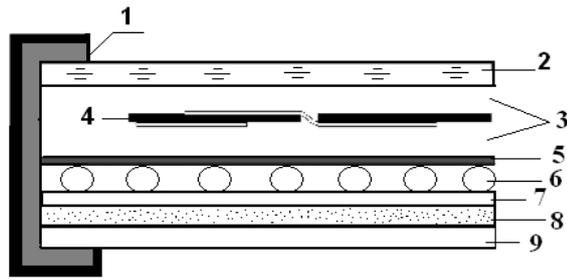
The third chapter titled **“Simulation of operating modes of combined PV-T installations”** is devoted to the study of thermal processes in PV-T installation of the proposed design carried out under the program Solid Works Flow Simulation (SWFS). SWFS allows simulating heat transfer in solid and liquid media with the exchange of energy between them. Figure 6 describes the principal scheme of the manufactured design of combined PV-T installation. CAD model of the installation was developed in order to assess the impact of water flow rate and thermal conductivity on temperature of PV-T installation.

Heat transfer in liquids might be described by heat conduction equation, where heat flow is defined on (1).

$$\frac{\partial \rho e}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial \chi_i} \left( \lambda_i \frac{\partial T}{\partial \chi_i} \right) + Q_h \quad (1)$$

where,  $e=ct$ , – specific international energy, (J/kg);  $c$  – heat capacity, (J/kg  $^{\circ}$ C);  $\rho$  – fluid density, (kg/m $^3$ );  $\lambda_i$ - thermal conductivity, (W/m  $^{\circ}$ C);  $\chi_i$ – thickness, (m);  $Q_h$  – energy absorption heat power in unit volume, (W/m $^3$ ).

Thermal and optical properties of every layer in PV-T battery is used in simulating the thermal regimes of installations with the help of SWFS program.



1-frame; 2-tempered glass (with the width of 5 mm); 3-silicon sealant; 4-solar cells; 5-aluminium sheet (with the width of 0.3 mm); 6-tube in the form of meander; 7-reflecting foil; 8-thermoinsulation material; 9-back side.

**Figure 6. Principal scheme of combined PV-T installation**

A thermal mode model of PV-T installation is developed. Thermal balance equations have the following view:

for the transparent cover (glass and hermetic covers) of PV-T installatio:

$$I_p F_{glass} + h_{r,glass} F_{glass} (T_a - T_{glass1}) = \frac{\partial U_{glass}}{\partial \tau} + I_p F_{glass} \rho_{tr.cov.} + I_p F_{glass} \tau_{tr.cov.} \quad (2)$$

for solar cells:

$$\tau_{tr.cov.} I_p F_{glass} + \frac{k_{cell}}{\Delta l_{cell}} F_{glass} (T_{glass.2} - T_{cell.1}) = \frac{\partial U_{cell}}{\partial \tau} + \varepsilon_{cell} \tau_{tr.cov.} I_p F_{glass} + \frac{k_{al.sheet}}{\Delta l_{al.sheet}} F_{glass} (T_{cell.1} - T_{al.sheet.1}) \quad (3)$$

for an aluminium sheet and water flow:

$$\frac{k_{al.sheet}}{\Delta l_{al.sheet}} F_{glass} (T_{cell.1} - T_{al.sheet.1}) = \frac{\partial U_{al.sheet}}{\partial \tau} + \dot{m} C_p (T_{in} - T_{out}) + h_{r.sheet} F_{glass} (T_{al.sheet.2} - T_{bet.sh.iso.}) \quad (4)$$

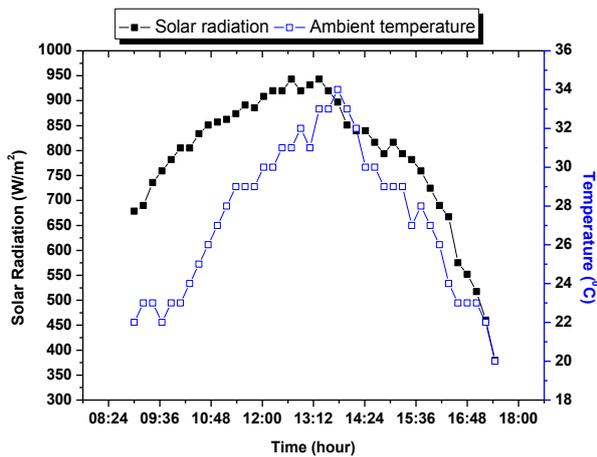
for the air layer between the aluminium sheet and thermal insulation:

$$h_{r.sheet} F_{glass} (T_{al.sheet.2} - T_{bet.sh.iso.}) + \frac{k_{isol}}{\Delta l_{isol}} F_{glass} (T_a - T_{bet.sh.iso.}) = \frac{\partial U_{air.bet.}}{\partial \tau} + h_{r.isol.} F_{glass} (T_{bet.sh.iso.} - T_a) \quad (5)$$

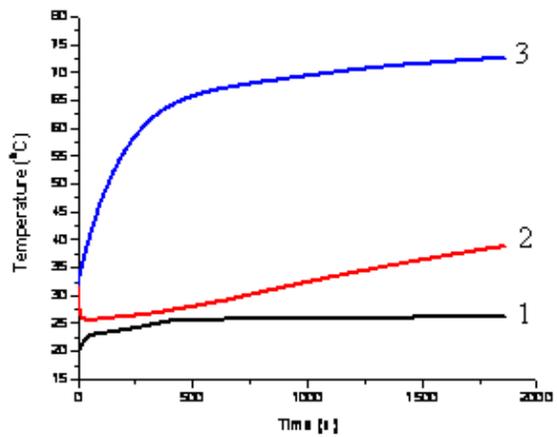
The thermal efficiency of PV-T installation may be defined by the following equation:

$$\eta_{te} = \frac{\dot{m} C_p (T_{out} - T_{in})}{I_p F_{glass}} \quad (6)$$

The results of measurements of direct solar radiation and ambient temperature on the daytime for May 24, 2012 are shown in Figure 7 and used in the simulation. Figure 8 shows simulation results of temperature PV-T installation, the water temperature at the inlet and outlet of the thermal collector.

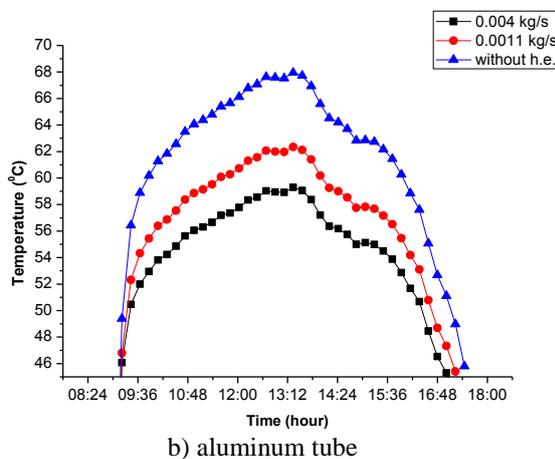
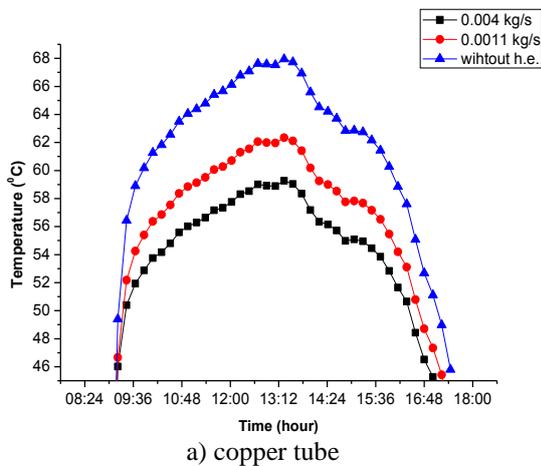


**Figure 7. Dependence of direct solar radiation and ambient temperature on time**



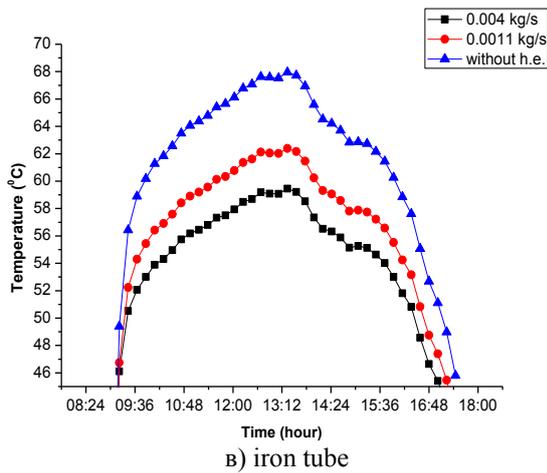
**Figure 8. Water temperature at inlet (1) and outlet of the collector (2), the temperature in PV-T (3) at the process of simulation during the maximal values of solar radiation between 11<sup>45</sup> and 13<sup>30</sup>**

The results of the simulation of the thermal process in PV-T installation are shown in Figure 9. It can be concluded that by using different materials in the absorbing tube (copper, aluminium and steel) the temperature on PV module at a constant flow rate (0,004 kg/s) does not change.



By reduction in rate of water flow (0,0011 kg/s), the temperature on the PV module increases. Figure 9 shows the calculated dependence temperature of the PV module on time at different water flow rates and without water circulation. In the mode of without water flow, the temperature of the PV module reaches 70°C. The simulation results lead to the conclusion that the use of different materials for the tubes does not affect the operating temperature of PV module. Thus, the temperature of PV module and PV-T depends on the material of absorber plate.

Temperature dependence of water flow at outlet of the collector of the PV-T installation on water flow rates was studied during the day. As it is shown in Figure 10, the temperature of



**Figure 9. Temperature dependence of PV on daytime at different water flow rates**

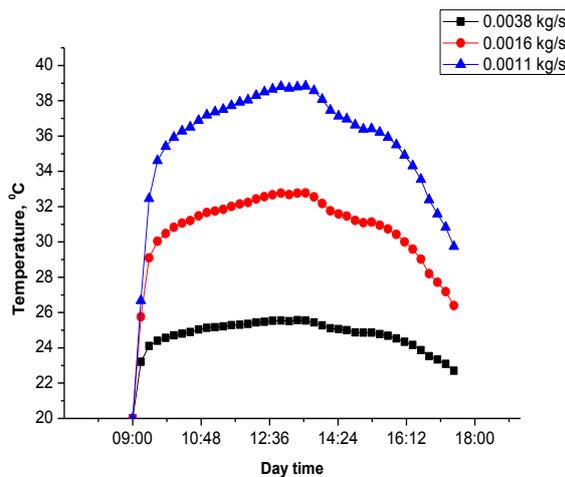
water flow at outlet of the collector strongly depends on the water flow rate.

The thermal power of outlet water flow is defined by the following equation:

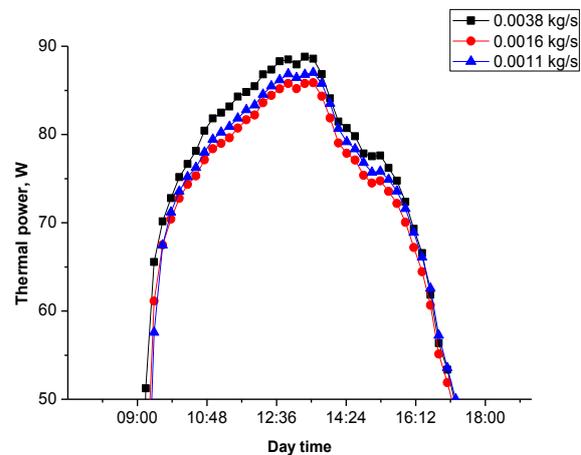
$$P = \frac{mc\Delta t}{\Delta \tau} \quad (7)$$

where,  $m$  and  $c$  – are mass and specific heat capacity of water;  $\Delta T$  – difference of temperature of inlet and outlet water flow in the collector of PV-T installation;  $\Delta \tau$  is time interval within that  $\Delta T$  taken place.

It can be seen that thermal power is directly proportional to the water flow rate and water temperature difference at the inlet and the outlet in collector, and therefore (Figure 11) at 0.0011 kg/s of water flow rate, the value of thermal power is high and is optimal for PV-T installation. Under such conditions, PV-T battery electrical parameters are optimal, consistent experimental results, which are shown in Figure 16.



**Figure 10. The dependence of water temperature at the outlet of the collector on the daytime**



**Figure 11. The dependence of thermal power of water flow rate at the outlet on the daytime**

When designing the combined solar engineering installations, it is necessary to take into account the influence of climatic conditions of places on their operating temperature, i.e. where the installation will be operated.

Heat flow of solar radiation  $Q_s$  (taking into account the reflected one), incident on the surface of PV panel, is equal to the sum of heat flows by  $Q_r$  radiation and  $Q_c$  convection.

$$Q_s = Q_r + Q_c \quad (8)$$

$$Q_r = \sigma(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)(T^4 - T_0^4) \quad (9)$$

$$Q_c = 2\alpha(T - T_0) \quad (10)$$

$$Q_s = (1 - \eta) \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (1 - R(\lambda)) \cdot E(\lambda) d\lambda \quad (11)$$

$T_0$  – ambient temperature (air);  $\varepsilon_1$  – glass emissivity;  $\varepsilon_2$  - emissivity of EVA;  $\sigma$  - Stefan-Boltzmann constant;  $\alpha$  - heat transfer coefficient;  $\lambda$  - the length of solar radiation wave;  $R(\lambda)$  - spectral refractive ratio of surface;  $E(\lambda)$  - flux density of solar radiation.

The expression for heat transfer coefficient has the following view:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \gamma}{l} \quad (12)$$

$$Nu = 0,032 \left( v \frac{l}{\nu} \right)^{0,8} \quad (13)$$

where,  $Nu$  - Nusselt's number;  $l$  – characteristic length;  $\gamma$  and  $\nu$  - coefficient of heat conductivity and kinematic viscosity of air;  $v$  – air velocity. Since, the glass cover does not absorb the solar radiation at its spectral range, and the magnitude of refraction index of the glass  $n$  is constant, then (11) can be written as the following:

$$Q_s = (1 - \eta) \cdot \tau \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) d\lambda \quad (14)$$

where,  $\tau$  is transmittance of the glass which takes into account multiple reflections in the glass cover, and has the following expression:

$$\tau = \frac{2n}{n^2 + 1} \quad (15)$$

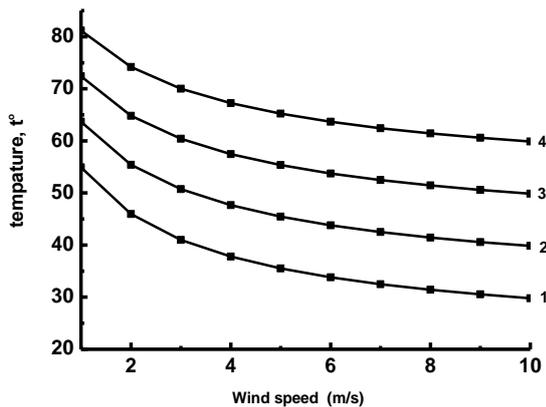
The refraction index of glass ranges  $\sim 1.48 \div 1.53$ , the average value of its transmittance  $\tau \sim 0.92$ . For the model AM1.5D and  $\lambda_1 = 0.4 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_2 = 2.55 \mu\text{m}$ , the magnitude of the integral is  $961.0 \text{ W/m}^2$ .

If it takes a dimensionless variable  $x = T/T_0$ , then (8) taking into account (9-15), it follows to write down the equation as well as the following:

$$x^4 + \frac{2\alpha}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\sigma T_0^3} x - \left(1 + \frac{Q_s + 2\alpha T_0}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\sigma T_0^4}\right) = 0 \quad (16)$$

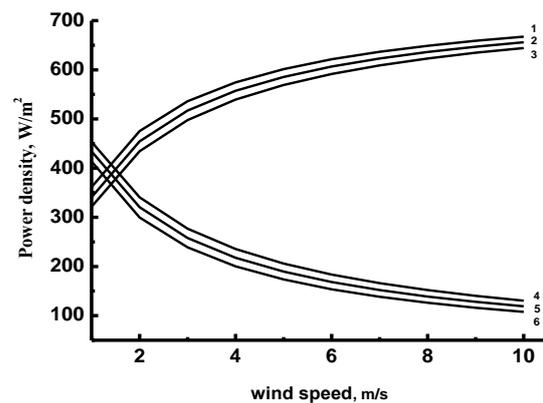
The reference data: emissivity of glass  $\varepsilon_1 = 0.937$ , emissivity of EVA film on the silicon  $\varepsilon_2 = 0.72$ , measured by a thermo-radiometer TPM, the values of  $\gamma$ ,  $\nu$  were taken from the reference books.

The solution of the equation (16) for the solar cell with the efficiency of  $\eta = 16\%$  and different ambient temperatures is given in Figure 12. Figure 13 presents the results of calculations for the dependence of flows of radiative and convective heat exchanges on the speed of wind, i.e. air velocity.



1 - 20°C; 2 - 30°C; 3 - 40°C; 4 - 50°C;

**Figure 12. The dependence of photovoltaic battery temperature on the wind speed and ambient temperature**



1, 4 - 30°C; 2, 5 - 40°C; 3, 6 - 50°C.

**Figure 13. Dependence of convective heat exchange (1,2,3) and thermal radiation (4,5,6) of photovoltaic batteries on the wind speed and ambient temperature**

It was found that if the ambient temperature is below 30°C, the temperature of the photovoltaic battery is highly dependent on the wind speed:

- with increasing wind speeds from 1m/c to 10 m/c, photovoltaic battery temperature drops about 40%;

- at ambient temperature over 30°C, photovoltaic battery temperature weakly depends on the wind velocity, and for the effective operation of the photovoltaic battery it is necessary to cool it;

- with the wind speed of less than 2 m/s, photovoltaic battery is cooled as well due to convective and radiative heat transfer;

- with the wind speeds of more than 2 m/s, convective heat transfer dominates over radiative one.

The fourth chapter titled **“Researching the parameters of combined power plants and improvement of their efficiency”** presents the experimental results. A method was proposed for the orientation of PV panel in relation to the sun. To test this method, an experimental device (Figure 14) was manufactured, which is a square plate with fixed on it at right angles to the vertical and horizontal measuring scales for determining the optimal orientation angles of PV panels.



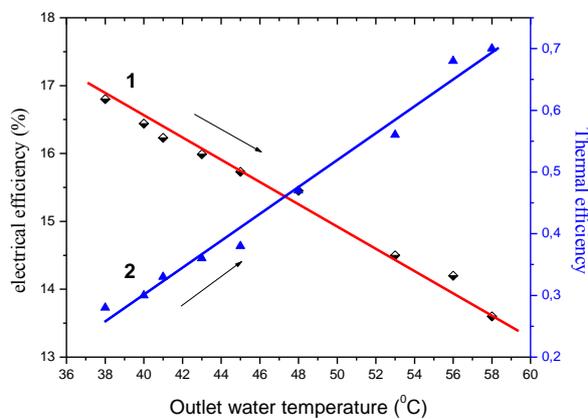
**Figure 14. Measuring desk on the test ground of the Physical-Technical Institute**



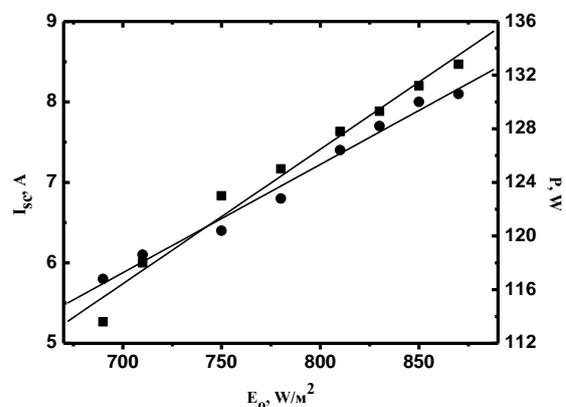
**Figure 15. The interface of the software for determining the incident angles of solar radiation**

Special software for determining the incident angles of solar radiation on the surface of solar cells is developed on the basis of Visual Basic, whose interface is presented in Figure 15. The magnitude of angles measured and calculated by the software differs insignificantly only for  $\sim 1\div 3\%$ . Based on the obtained results, one can conclude that the proposed angle measuring method provides a high accuracy.

Possibilities to increase the main parameters (the efficiency, nominal power, performance of thermal collector and etc.) of combined PV-T installation in the conditions of hot climate were investigated. Dependence of electrical and thermal efficiency on the outlet water temperature was studied (Figure 16). The electrical efficiency increased by 3% while the outlet water temperature decreased from  $56^{\circ}\text{C}$  to  $40^{\circ}\text{C}$ .



**Figure 16. Dependence of electrical (1) and thermal (2) efficiency of PV-T installation on the outlet water temperature**

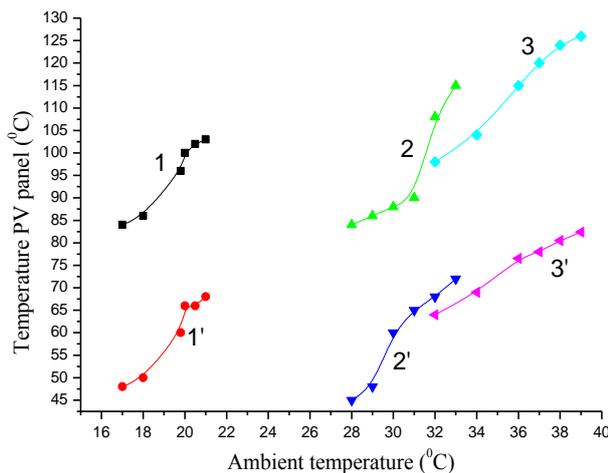


**Figure 17. Experimental dependence of short-circuit current  $I_{sc}$  (●) and power  $P$  (■) of PV-T installation on the flux density of solar radiation**

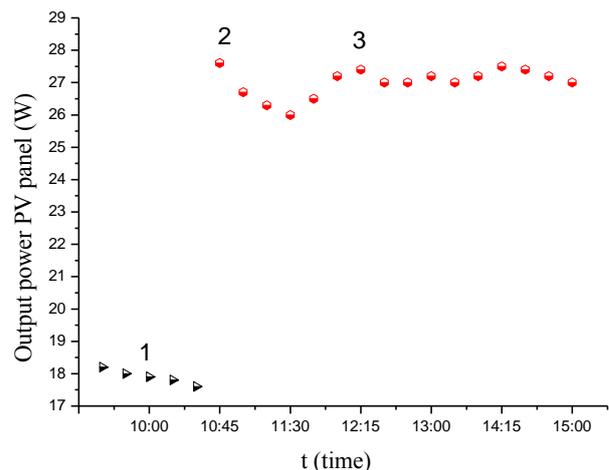
The water flow rate was 14 litres per hour. Dependence of short-circuit current  $I_{sc}$  and produced power  $P$  (Figure 17) on the flux density of solar radiation  $E_0$  are linear (correlation ratio  $\sim 1$ ).

Testing the combined PV-TEG installation has been carried out on the test ground at the Physical-Technical Institute of Uzbekistan of the Academy of Sciences. The results of testing are presented in Figure 18 and Figure 19. Figure 18 shows a temperature dependence of the surface of PV panels on the ambient

temperature with and without application of the reflector. Curve 1 shows that within exploitation of a PV module with a reflective concentrator at 21°C of ambient temperature, the temperature of solar cells on the PV module reached 103°C, however, without application of a reflective concentrator, the temperature of solar cells reached 69°C. Curve 2 shows that the temperature of solar cells with the application of a reflective concentrator reached 115°C while ambient temperature was 33°C. Curve 3 shows that when ambient temperature reached 39°C, the solar cells temperature increased up to 126°C, and in case of without application of refractive concentrator, this value was 82.4°C. The temperature difference between the PV and TEG was not more than 15°C. When ambient temperature ( $t_{o.c.}^0$ ) exceeded 25°C, the wind speed was 2 m/s. Figure 19 presents the experimental data on the dynamics of produced power by the PV-TEG installation during a clear day in Tashkent. The wind speed and ambient temperature were 3.3 m/s and 39°C, respectively. As it follows from Curve 1 (Figure 19), until the application of a reflecting concentrator, during one hour, the open-circuit voltage felt due to heating up of PV-TEG installation, consequently, the efficiency and output power decreased linearly with the open circuit voltage. Loss of power during that period was 19.6%. When refractive concentrators were attached, the power jump of PV panel was taken place (power increased from 16.9 to 27.5 W is seen in Curve 2), and the high flux density of solar radiation led to photocurrent providing a contact net of solar cell of current courier collection. Subsequently, as a result of progressive increasing of temperature of solar cell, decreasing  $U_{xx}$  and occupancy coefficient of volt-ampere FF took place, which led to the reduction in output power of PV panel (region of Curves 2-3). On the third region, at connection of a cooling system, a part of heat from solar cells scattered through TB. This process was accompanied by recovering of the value of the open-circuit voltage from 8.42 to 9.6 V, which led to the rising in power of PV panel.



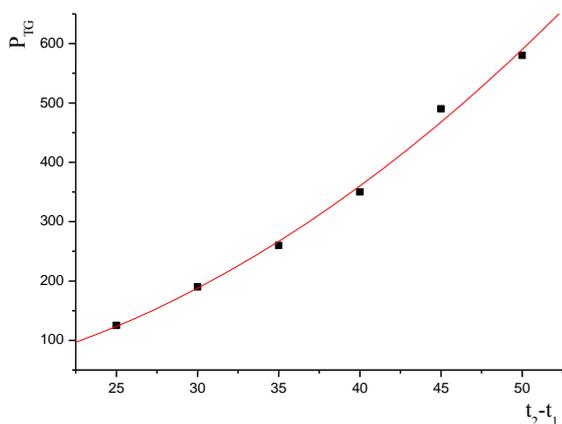
**Figure 18. Temperature dependence of PV panel with a refractive concentrator (1,2,3) and without it (1',2',3') on ambient temperature**



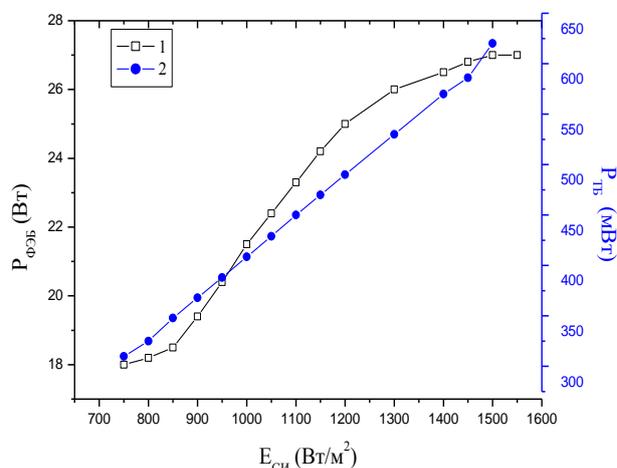
**Figure 19. Experimental dependence of the output power of PV-TEG installation on the daytime**

On the whole, the electrical output power during the application of reflective concentrators on combined PV-TEG installation increased by 40%.

Figure 20 shows the results of experimental investigations on the study of the dependence of the output power of TEG on the difference of temperature  $\Delta T$ . It is stated that if ambient temperature is  $t_{o.c.}^0 \sim 39^\circ\text{C}$  and the difference of temperature is  $50^\circ\text{C}$ , the nominal output power produced by TEG became  $\sim 580\text{ mW}$ .



**Figure 20. Dependence of the output power (mW) produced by TEG on the temperature difference  $\Delta T$  ( $^\circ\text{C}$ )**



**Figure 21. Dependence of the output powers produced PV panel (1) and TB (2) on the flux density of solar radiation**

As it is seen from Figures 20 and 21, by rising of temperature difference of cold and hot junctions in TB, a growth of the output power was observed, and by increasing of the flux density of solar radiation (Figure 21), the produced output power of PV-TE installation, as well as the temperature of hot junction of TB and its output power increased.

Consequently, the temperature  $\Delta T$  of thermoelectric generator on the basis of bismuth tellurium was dependent. The calculation showed that the application of a reflective concentrator led to an increase of flux density of solar radiation and, respectively, the output power of solar cells by 18%, and of TB by 47%. The conversion efficiency of solar energy in solar cells due to application of TEG increased by 2% at  $21^\circ\text{C}$  of ambient temperature. By increasing the capacity by 47% TEG, solar cell temperature decreased from  $90^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$ . Within the considered range of temperatures, thermal EMF linearly depended on  $\Delta T$ , and the voltage gradient was  $\sim 0,068\text{ V/deg}$ .

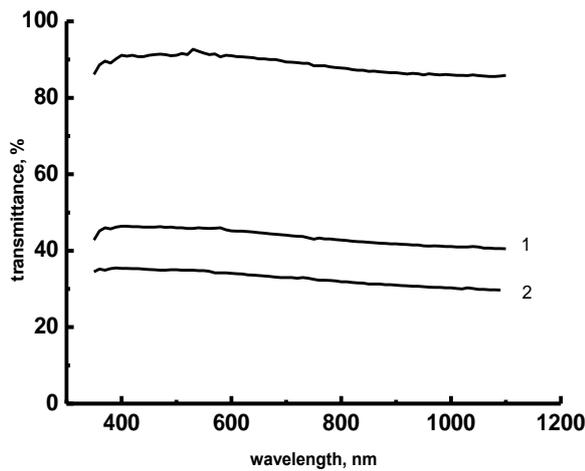
In the combined PV-TEG installation, the total area of TEG was 1/5 part of the area of PV panel. If the back side of the PV panel is completely covered by TB, it is possible to increase the efficiency of PV panel up to 10% of the total output power of PV panel at over  $40^\circ\text{C}$  of ambient temperature.

For the first time, a determination method of a dusty level on surfaces of PV panel by precipitations was proposed, and relative changes in the efficiency of PV panel was investigated.

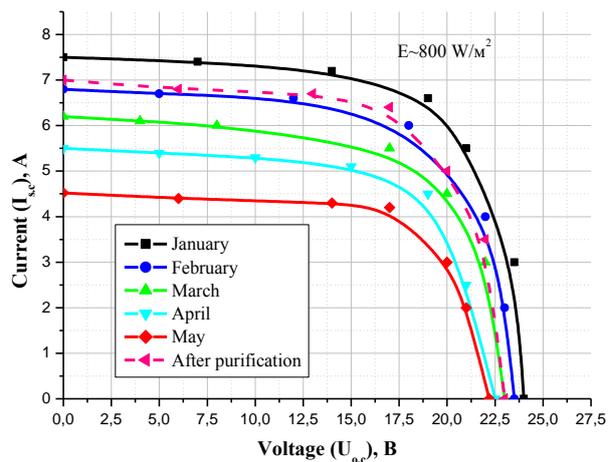
The method of measuring the plate glass transmittance after its exposure during  $80 \div 110$  days was worked out. By the Spectrophotometer Lambda EZ 150 (Figure 22) the transmittance of photographic plates was measured. It was

established that the pollution of the glass plate reduced the efficiency of the photovoltaic battery by 50.0%. It was concluded that the glass surface without any treatment for 80 days of exposure to the photovoltaic battery capacity decreased about by 50%. The effect of air pollution on the volt-ampere characteristics of PV panels in the climatic condition of Karshi (Figure 23) determined that the air pollution had led to a decrease in the capacity of photovoltaic panels to 37.6% during 4 months.

According to the experimental results, it can be concluded that the pollution of the surface of the PV module mainly depends on the season (precipitation) and the location in the photovoltaic regions of our country.



**Figure 22.** The transmission spectrum of pure photographic plate (without number) and photographic plate after the exposure during 80 (1) and 110 (2) days



**Figure 23.** Influence of atmospheric pollution on the volt-ampere characteristics of silicon PV panels

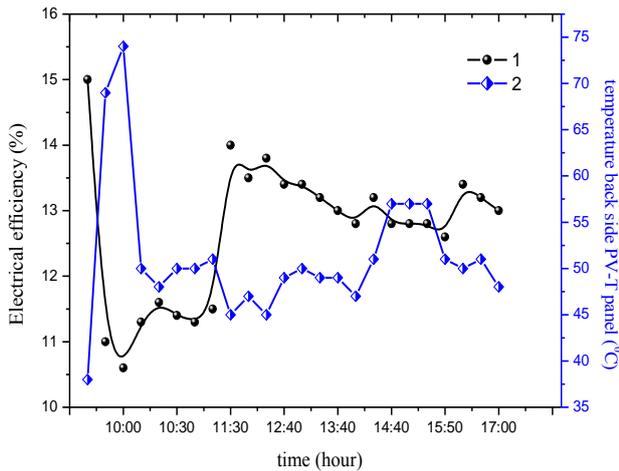
The influence of climatic factors on the operation of photovoltaic batteries in the Republic of Karakalpakstan was determined. It was found out that daily accumulative amount of charging current (in clear weather,  $790 \text{ W/m}^2$ ) in winter was  $42.7 \text{ A}\cdot\text{h}$ , cloudy (overcast,  $\sim 280 \text{ W/m}^2$ )  $11.6 \text{ A}\cdot\text{h}$ .

The influence of the forced air cooling on the performance of PV panels was studied. It was found out that the placement of the fans on the back side of PV panel was more effective than the location at the ends of photovoltaic batteries. It was observed that the output power dependence of photovoltaic batteries on the air flow rate was linear. Daily energy consumption share of the cooling installation was 8% in the total power of the photoelectrical installation that has reflectors. It was investigated that the efficiency of PV batteries increased by 2.5% by cooling it with air flow.

New designs of the PV-T system with a cooling device based on polymeric tubes were developed. The contact area of the collecting part with the rear surface of the photovoltaic battery increased by almost 50% of the area of the battery, resulting in a significant increase in the peak electric output power of the PV-T installation. The rear area of the PV-T panel was  $0.24 \text{ m}^2$ . The collector area of the PV-T installation was a structure consisting of parallel polymer tubes, which were attached to the two perpendicularly disposed, polypropylene tubes. Such kind of a

construction of the collector is lighter in weight and lower in cost as compared with traditional metal structures.

The dependence of the main parameters of the PV-T panel on temperature showed that with an increase in operating temperature of the photo-thermal battery up to 74°C (Figure 24), the open circuit voltage monotonically decreased approximately by 14.6%, the short-circuit current increased slightly and the electrical efficiency of the system decreased almost by 30% within one hour. After switching on the cold water from the reservoir to the heat collector, the recovery of the basic parameters of the photo-thermal battery was observed.

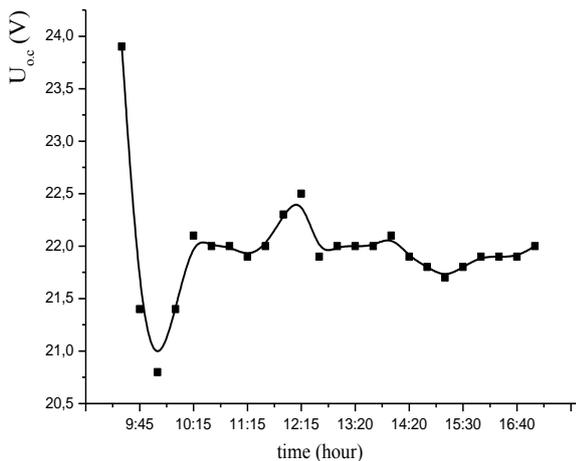


**Figure 24. The dependence of electrical efficiency (1) and temperature (2) of back side of PV-T panel on daytime**

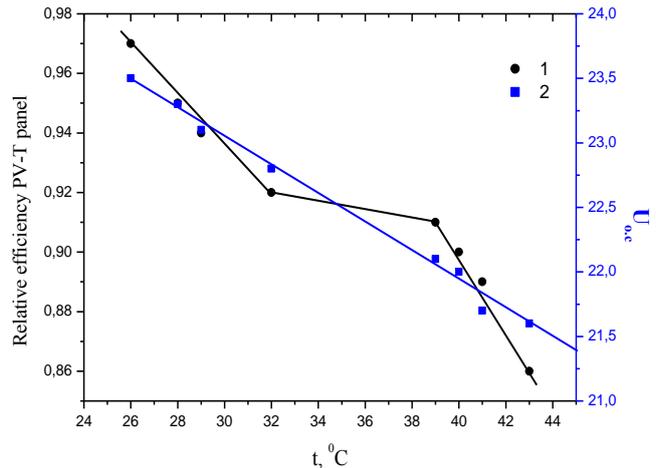
The measurement results (Figures 24 and 25) showed that the electrical efficiency of photovoltaic battery by cooling tubes polymer recovered and became ~ 13.5%, and the open circuit voltage increased by ~ 8.3%.

As it is seen in Figure 26, with an increase in water temperature at the outlet of the thermal collector from 32°C to 39°C, the relative efficiency of PV-T panel decreased slightly, and further heating up of outlet water led to a decrease in the relative efficiency of the PV-T panel.

It was determined that the production of hot water by using the thermal collector of photo-thermal batteries at a temperature of up to 45°C does not stop the process of charging a battery in the electric energy storage system.



**Figure 25. Dependence of open circuit voltage of PV-T panel on daytime**



**Figure 26. Dependence of relative efficiency (1) and open circuit voltage (2) of PV-T on the temperature of the outlet water**

The inlet water temperature was 20÷22°C. Hot water productivity was about 6 litres/hour. The daily thermal performance of the thermal collector part of PV-T

installation was 45 litres per day. If the reduction in the volumetric flow rate of water was up to 3 litres per hour, the outlet water temperature reached  $\geq 50^{\circ}\text{C}$ .

The fifth chapter titled **“The use of the developed PV installations in different sectors of the economy”** is devoted to the implementation of developed photovoltaic installations under climatic conditions in the regions of Uzbekistan.

A portable photovoltaic installation was created to make comfortable conditions for people's life in the rural areas with unequipped field camps. The application of the developed PV systems is intended for lighting rooms, connecting laptops and communications devices, shearing devices in farms, portable refrigerators, televisions and etc.

The possibility of using autonomous PV installations with the capacity of 2.24 kW·h in water lifting systems from deep wells using modern high-performance pumping systems was presented. The daily water production was 50-60 m<sup>3</sup>. Using the installations in water lifts costs about two times cheaper than diesel aggregate units.

A prototype of an autonomous mobile multifunction photovoltaic installation (AMMPVP) was designed and manufactured. This system is intended for use in emergency power supply in facilities, remote from centralized power sources. For the first time, the possibility of using AMMPVT in the agricultural sector of the country was exploited to lift water with the capacity of 6-8 m<sup>3</sup>/h, as well as to lift water from the main canals and wells, and operate the welding machine up to 3-4 hours per day subjecting to the rules of its operation.

Investigations were conducted on the application possibility of PV installations intended for power supply in lighting and heating equipment of non-conventional greenhouses. A new design of greenhouse was proposed, which differs from the traditional greenhouse with energy-saving properties and the relative cheapness of the used materials.

The question of the feasibility study of using PV installations is a major scientific and technical challenge. For this purpose, a comparative economic analysis has been carried out on the combined units: standard PV installations, photovoltaic installations with thermal collectors (PV-T), photovoltaic installations with a thermoelectric converter (PV-TEG), photovoltaic installations with an air cooling device and a reflective concentrator.

The economic efficiency of the developed PV installation was determined through the method for the calculation of operating costs, the volume of sales, the dynamics of changes in net profit from these facilities as compared with the standard PV installations with power of 170 watts and PV installations with an air-cooling device and a reflective concentrator. On the basis of results of the economic analysis, it was found out that the PV installation with a reflective concentrator and air cooling system is more cost-effective than standard PV installations.

The **appendix** of the dissertation contains information about the methods and calculations of measurement precisions of parameters of combined energy installations based on the PV panels from crystalline silicon, as well as

implementation of the developed systems in small enterprises of Uzbekistan, including “Ustyurtgas” Ltd., “Solar Energy Products” Ltd. and “Mirtemir” farm.

## CONCLUSION

On the basis of the conducted researches on theme of the doctoral dissertation “Combined energy installations based on photoelectric batteries of crystalline silicon”, the following conclusions are presented:

1. The ways were shown for achieving high efficiency in solar installations at direct and weakly concentrated solar radiations caused by the cascade placement of the photo-receiving surfaces, leading to the effective use of the solar spectrum range, and by the reduction of the temperature of PV components and production of hot water for the domestic needs.

2. Based on the developed technology, we made combined installations of PV batteries of crystalline silicon and presented them to small businesses for manufacturing photothermal PV installations having forced air cooling systems.

3. The developed method and program on Visual Basic were used to compute the angle of incidence of solar radiation, the results of which were used for manufacturing experimental devices to determine the optimal orientation angles of PV batteries.

4. We developed a CAD model of PV installations in the program of Solid Works Flow Simulation, which allowed to determine the changing dynamics in the distribution of temperature of PV-T batteries and assess the influence of water flow rate on the temperature of the PV-T system and it was revealed that the use of different materials for the tubes does not change the temperature modes of PV-T battery in the stationary regime, and on contrary the temperature conditions of PV-T batteries depend on the design of the absorber element (heat absorbing material) based on the metal sheet.

5. Through the application of a reflector at the ambient temperature of 21<sup>0</sup>C we showed the possibility of increasing the solar irradiance 1.6 times, and respectively, the solar cell output by 18%, and thermoelectric batteries by 47.0%.

6. For the first time, the recommended method allowed to determine the relative changes in the efficiency of clean and dusted PV batteries.

7. The linear dependence of the power of photovoltaic batteries on cooling air flow rate is achieved by using two identical photovoltaic cells with forced air cooling.

8. The developed design of the photo-thermal installation with a cooling device based on polymer pipes has increased the electrical output of photo-thermal batteries by 38%.

9. For the first time, we designed and manufactured for hot climatic regions a prototype of an autonomous multi-functional photovoltaic plant providing facilities remote from centralized sources of energy with emergency power for lifting water from wells, and for welding units.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; Part I)**

1. T.T. Riskiev, M.N.Tursunov., S. Dadamuxamedov., O. F. Tukfatullin., I. A. Yuldoshev and Yakubova M. S Features of Manufactures Technology of Low-Power Silicon Photoelectric Batteries: Studying Their Parameters // Applied Solar Energy. – USA, 2010. – V.46. – No.4. – P. 248-250. (05.00.00, №4, (SCIMAGO), IF = 0,14)

2. M.N. Tursunov., R. A. Muminov., O. F. Tukfatullin., I. A. Yuldoshev., and E.T. Abdullaev Photothermal Electric Battery Based on Silicon Solar Cells // Applied Solar Energy. – USA, 2011 – V.47. – No.1.– P. 63-65. (05.00.00, №4, (SCIMAGO), IF = 0,14)

3. М.Н. Турсунов., И.А. Юлдошев. Разработка фотоэлектрических батарей, установок эффективно работающих в условиях Центральной Азии // Проблемы энерго-ресурсосбережения. – Ташкент, 2011. – Специальный выпуск. – С. 160-165. (05.00.00, №21)

4. М.Н Турсунов., В.Г. Дыскин., С. Дадамухамедов., И.А. Юлдошев., Б.М. Турдиев. Определение параметров комбинированной системы фотопреобразователь – термоэлектрический преобразователь // Гелиотехника. – Ташкент, 2012. – №3. – С. 24-27. (05.00.00, №1)

5. M. N. Tursunov, R. A. Muminov, V. G. Dyskin, I. A. Yuldoshev. A mobile photothermal converter and its operating characteristics // Applied Solar Energy. – USA, 2013. – V.49. – P. 16-18. (05.00.00, №4, (SCIMAGO), IF = 0,14)

6. Рискиев Т.Т., М.Н Турсунов., Х. Сабилов., И.А. Юлдошев., Б.М. Турдиев. Автономная фотоэлектрическая система электропитания теплиц сельских жителей // Проблемы энерго-ресурсосбережения. – Ташкент, 2013. – №1-2. – С. 128-133. (05.00.00, №21)

7. В.Г. Дыскин., М.Н. Турсунов., И.А. Юлдошев. Устройство для определения оптимальных углов ориентации фотоэлектрических батарей // Проблемы энерго-ресурсосбережения. – Ташкент, 2013. – №3-4. – С. 79-82. (05.00.00, №21)

8. М.Н. Турсунов., В.Г. Дыскин., Б.М. Турдиев, И.А. Юлдошев Влияние конвективного теплообмена на температуру солнечной фотоэлектрической батареи // Гелиотехника. – Ташкент, 2014. – №4. – С. 34-37. (05.00.00, №1)

9. Рискиев Т.Т., М.Н Турсунов., Х. Сабилов., И.А. Юлдошев., О.Ф. Тукфатуллин., И.М. Комолов Автономная мобильная многофункциональная фотоэлектрическая система экстренного обеспечения электроэнергией сельскохозяйственных объектов // Проблемы энерго-ресурсосбережения. – Ташкент, 2014. – №3. – С. 175-180. (05.00.00, №21)

10. M. N. Tursunov., V.G. Dyskin., I.A Yuldashev., Kh. Sobirov., Park Jeong Hwoan. A Criterion of Contamination of the Glass Surface of Photovoltaic

Batteries // Applied Solar Energy. – USA, 2015. – V.51. – P. 163-164. (05.00.00, №4, (SCIMAGO), IF = 0,14)

11. J.S. Akhatov, I.A. Yuldashev, A.S. Halimov Study of thermal-technical parameters and experimental investigations on PV-Thermal collector // International Journal of Engineering and Advanced Research Technology (IJEART). – India, 2015. – V.1. – P.71-75 (IF = 1,227)

12. И.А. Юлдошев. Повышение эффективности фотоэлектрической батареи принудительным охлаждением // Проблемы энерго-ресурсосбережения. – Ташкент, 2015. – №3. – С. 122-127. (05.00.00, №21)

## **II бўлим (II часть; Part II)**

13. Патент на полезную модель № FAP 00793 от 18.07.2011. Фототермопреобразователь // Лутпуллаев С.Л., Турсунов М.Н., Дадамухамедов С., Юлдошев И.А. Расмий ахборотнома.28.02.2013. №2.

14. Патент на промышленный образец №SAP 01413 от 22.04.2015. Фотоэлектрическая установка с принудительным охлаждением // Турсунов М.Н, Собиров Х, Юлдошев И.А, Комолов И.М. Расмий ахборотнома. 29.02.2016.№2

15. М.Н. Турсунов., И.А. Юлдошев.. Автономная фотоэлектрическая система подъема воды из колодцев // Экологический вестник. – Ташкент, 2011. – № 4-5. – С. 52-54.

16. М.Н Турсунов., С.Дадамухамедов., И.А. Юлдошев., Х. О. Сабилов., Б.М. Турдиев Особенности создания фотоэлектрической системы для подъема воды // Экологический вестник. – Ташкент, 2012. – №10. – С. 27-29.

17. И.А Юлдошев. Оценка технико-экономических показателей комбинированных фотоэлектрических установок // Экономика и инновационная технология. – Ташкент, 2016. – №2.– С.1-6

18. M.N. Tursunov, Sungjin Kim, Sobirov Kh.A, Yuldashev I.A, Turdiev B.M. Development of Installation on the base of Photothermal Conversion and study its Properties // International Workshop on Convergence of Physical and material Engineering (IWCPME 2013), Chiang Mai University, Thailand 2013. P.33-35

19. J.S. Akhatov, I.A Yuldashev, A.S Halimov. Experimental Investigations on PV-T collector under natural condition of Tashkent // Energy Procedia 39 (2013) ISES Solar World Congress, Mexico. – P. 2327–2336

20. Yuldoshev I.A, Saymbetov A.K. Combined photo thermo converters solar energy with reflecting concentrators // Proceedings of XII International scientific conference “Solid state Physics”. Astana, 2014. – 25-27 June. P.217-219

21. Турсунов М.Н, Дыскин В.Г, Юлдошев И.А. Исследование параметров комбинированной установки на основе «фото-термобатарей» с концентраторами // Материалы III Международной конференции по

Оптическим и фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро и наноструктурах. Фергана, 2014. – 14-15 ноября. С. 108-110

22. Турсунов М.Н, Дыскин В.Г, Юлдошев И.А. Комолов И.М. Исследование возможностей увеличения эффективности фотоэлектрических установок с системой воздушного охлаждения // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в отраслях агропромышленного комплекса» Ташкентский институт ирригации и мелиорации. 2015. 25-26 май. С.416-418.

23. М.Н Турсунов., Юлдошев И.А., О.Ф Тукфатуллин., Sungjin Kim., Soon-Wook Jeong., Amir Abidov., Sang Woo Kim Фототермоэлектрические батареи на основе кремниевых солнечных элементов // Материалы международной конференции, посвященной 80-летию Академика М.С. Саидова «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» г.Ташкент, 24-25 ноября 2010г. С. 148-151

24. Турсунов М.Н., Юлдошев И.А., Абдуллаев Э. Т., Sungjin Kim., Byungo Choi, Taeho Van., Amir Abidov., Sang Woo Kim Маломощные фотоэлектрические батареи для питания бытовых приборов // Материалы международной конференции, посвященной 80-летию Академика М.С. Саидова «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» г.Ташкент, 24-25 ноября 2010г. С. 146-148

25. М.Н Турсунов., И.А. Юлдошев Повышение эффективности преобразования фототермоэлектрических генераторов // «Мустакиллик йилларида илм-фан тараккиёти: ёш олимлар мухим фундаментал натижалари, амалий ютуқлари ва инновациялар» Республика ёш олимлар илмий-амалий конференцияси, Тошкент 2011. С.56-58

26. Юлдошев И.А Влияние внешней среды на эффективность работы фотоэлектрических батарей // Республиканской научно-практической конференции молодых ученых посвященной 70-летию Академии Наук РУз. 26 декабрь 2013г. С. 142-143

27. Юлдошев И.А Повышение эффективности комбинированной установки для фототермопреобразования солнечной энергии // «Замонавий физиканинг долзарб муаммолари» Республика илмий – назарий анжумани. Термиз давлат университети. 2013г.1-2 май. С. 71-72

28. М.Н Турсунов, С. Дадамухамедов., Х. Собиров, И. А. Юлдошев, Б.М. Турдиев Фотоэлектрическая установка подъема воды из колодцев // Нанотехнология ва қайта тикланадиган энергия манбалари: Муаммолар ва ечимлар Республика илмий – амалий анжуман материаллари 27-28 апрель 2012 йил. С. 102-104

29. М.Н Турсунов, С. Дадамухамедов., И. А. Юлдошев, Б.М. Турдиев Комбинированная фототеплопреобразовательная установка // Нанотехнология ва қайта тикланадиган энергия манбалари: Муаммолар ва ечимлар Республика илмий – амалий анжуман материаллари 27-28 апрель 2012 йил. С. 173-175

30. М.Н Турсунов, Сабиров Х, И. А. Юлдошев, А. Ширматов Автономные фотоэлектрические установки подъема воды малой мощности // «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» Материалы международной конференции, посвященной 70-летию Физико-технического института С. 353-354

31. Юлдошев И.А., Абдуллаев Э.Т., Комолов И.М Негативное влияние внешней среды на параметры фотоэлектрических батарей // Актуальные проблемы использования альтернативных источников энергии, Материалы республиканской научно-технической конференции. Карши, 2014. 28-29 апрель С. 74-75

32. Юлдошев И.А Қуёш энергетикаси истиқболли манбалардан биридир // Умумтаълим фанлар методикаси журнали, Маънавий-маърифий, илмий, методик нашр. 2011. №1. 26-27 бет.

33. М.Н Турсунов, Сабиров Х, И. А. Юлдошев, А., Комолов И.М Повышение эффективности фототепловых батарей применен полимерных материалов для отвода тепла // Ишлаб чиқариш корхоналарининг энергиятежамкорлик ва энергия самарадорлик муаммоларини ечишда инновацион технологияларнинг аҳамияти. Республика илмий амалий анжумани. Карши, 2016. 15 апрель. С. 259-261.

Автореферат “Тил ва адабиёт таълими” журнали таҳририятида таҳрирдан  
ўтказилди (14.11.2016 йил)

Босишга рухсат этилди: \_\_\_\_\_ 2016 йил  
Бичими 60x45 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>, «Times New Roman»  
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табағи 5. Адади: 100. Буюртма: № \_\_\_\_\_.

Ўзбекистон Республикаси ИИВ Академияси,  
100197, Тошкент, Интизор кўчаси, 68

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ» ДУК