

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ  
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ЖЎРАЕВ ИСЛОМ РАХМАТОВИЧ**

**ИССИҚ ИҚЛИМ ШАРОИТИДА ЮПҚА ПЛЁНКАЛИ МОДУЛЛАР  
АСОСИДА ФОТОЭЛЕКТРИК ИССИҚЛИК ҚУРИЛМАСИНИ  
ЯРАТИШ**

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

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

**Тошкент – 2024**

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

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

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

**Жўраев Ислон Рахматович**

Иссиқ иқлим шароитида юпқа плёнкали модулар асосида фотоэлектрик  
иссиқлик қурилмасини яратиш..... 3

**Жураев Ислон Рахматович**

Создание фотоэлектрической тепловой установки на основе  
тонкопленочных модулей в условиях жаркого климата..... 25

**Juraev Islom Rakhmatovich**

Creation of a photovoltaic thermal installation based on thin-film modules in a  
hot climate..... 47

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works ..... 51

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ  
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ЖЎРАЕВ ИСЛОМ РАХМАТОВИЧ**

**ИССИҚ ИҚЛИМ ШАРОИТИДА ЮПҚА ПЛЁНКАЛИ МОДУЛЛАР  
АСОСИДА ФОТОЭЛЕКТРИК ИССИҚЛИК ҚУРИЛМАСИНИ  
ЯРАТИШ**

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

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

**Тошкент – 2024**

Техника фанлари буйича фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг мавзуси  
Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги хузуридаги Олий  
аттестация комиссиясида В2021.1.PhD/T2108 рақами билан рўйхатга олинган.

Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетида бажарилган.  
Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-  
саҳифаси ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ҳамда "ZiyoNet" ахборот-таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz))  
жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: **Юлдошев Исроил Абриевич**  
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: **Уришев Бобарам**  
техника фанлари доктори, профессор

**Ахатов Жасуржон Саидович**  
техника фанлари доктори, катта илмий ходим

Етакчи ташкилот: **"Исникликэлектрлойиха" АЖ**

Диссертация химояси Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети  
хузуридаги DSc.03/10.12.2019.T.03.03 рақамли Илмий кенгашнинг 2024 йил "\_\_\_"  
соат \_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтди. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2.  
Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@edu.uz](mailto:tstu_info@edu.uz)).

Диссертация билан Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетининг  
Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (\_\_\_ рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил:  
100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 207-14-70).

Диссертация автореферати 2024 йил "\_\_\_" \_\_\_\_\_ кунин тарқатилди.  
(2024 йил "\_\_\_" \_\_\_\_\_ даги \_\_\_ рақамли реестр баённомаси).



**К.Р.Аллаев**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси,  
техника фанлари доктори, профессор, академик

**И.У.Рахмонов**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби,  
техника фанлари доктори, профессор

**Р.П.Бабаходжаев**  
Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

## КИРИШ (докторлик (PhD ) диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда қайта тикланадиган энергия манбаларига асосланган энергия қурилмалари ва тизимларидан фойдаланиш истеъмолчиларни электр ва иссиқлик энергияси билан таъминлашнинг истиқболли йўналишларидан биридир. Такидлаш жоизки, жаҳонда умумий электр энергияси истеъмолидан секторлар буйича 26,94% (23,43 млн.ТЖ)<sup>1</sup> турар-жой секторига, шу жумладан электр энергияси, иситиш ва иссиқ сув таъминотига тўғри келади. Дунёда энергия захираларининг тугаб бораётганлиги сабабли, куёш энергиясини электр энергиясига айлантириш учун фотоэлектрик модуллардан фойдаланиш масалаларига алоҳида аҳамият берилмоқда. Бироқ, иссиқ иқлим шароитида, атроф муҳит ҳароратининг юқорилиги сабабли фотоэлектрик модулларнинг самарадорлиги ва ишлаб чиқариш қуввати сезиларли даражада камайтирилади ва юқори исиш ҳарорати деградация жараёнининг тезлашишига ва яроқлилиқ муддатини қисқаришига олиб келади.. Юқоридаги муаммоларни инобатга олган ҳолда, фотоэлектрик модуллар ҳароратининг кескин кўтарилишини олдини олиш, совутиш суви ҳароратини назорат қилиш орқали қурилмаларнинг электрофизик ва иссиқлик кўрсаткичлари барқарорлигини таъминлаш учун абсорберлардан фойдаланишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда фотоэлектрик модулларни ўта исишдан шаффоф конструктив полимер материалларнинг оптик хоссаларининг ўзгариши ҳамда иш самарадорлигини тушиб кетишини олдини олиш мақсадида фотоэлектрик модулларни совутиш учун турли конструкцияли металл ва нометалл материаллар асосидаги абсорберлардан фойдаланиш ҳамда уларнинг иссиқлик ва электрофизик кўрсаткичларини аниқлашга қаратилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда<sup>2,3</sup>. Ҳозирги вақтда иссиқлик ўзгартиргичга эга юпқа пленкали модуллар асосидаги фотоэлектрик модулларга кескин ҳарорат ва иқлим шароитлари таъсирини инобатга олган ҳолда фотоэлектрик модулларни электрофизик ҳамда иссиқлик кўрсаткичларини тадқиқ қилиш долзарб ҳисобланади. Юпқа плёнкали модуллар асосида фотоэлектрик иссиқлик қурилмасини электрофизик, иссиқлик техникавий, техник-иқтисодий ва экологик кўрсаткичларини аниқлаш, уларни лаборатория ва табиий шароитларда синовдан ўтказиш усулларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Республикамизда илғор хорижий тажрибани ҳисобга олган ҳолда, мавжуд ресурслар ва фойдаланилмаётган салоҳиятни жалб қилиш, энергия

---

<sup>1</sup><https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser/country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=ElecConsBySector>

<sup>2</sup> H. Haloui, K. Touafek, and A. Khelifa, "Modeling of a hybrid thermal photovoltaic (PVT) collector based on thin film organic solar cells," *Electric Power Systems Research*, vol. 210, p. 108131, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.EPSR.2022.108131.

<sup>3</sup> Y. El Alami, A. Lamkaddem, R. Bendaoud, S. Talbi, M. louzazni, and E. Baghaz, "Numerical study of a water-based photovoltaic-thermal (PVT) hybrid solar collector with a new heat exchanger," *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 9, p. 100693, Sep. 2024, doi: 10.1016/J.PRIME.2024.100693.

тежайдиган технологиялар ва қайта тикланадиган энергия манбаларини кенг жорий этиш, иқтисодий ва ижтимоий тармоқларда энергия сарфини кескин камайтириш орқали энергия самарадорлигини оширишга қаратилган комплекс чора-тадбирлар амалга оширилмоқда.. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги Фармонида, жумладан “...уй-жой коммунал хўжалиги, ижтимоий объектлар ва бошқа соҳаларда қайта тикланадиган энергия манбаларини кенг жорий этиш ва энергия самарадорлигини ошириш”<sup>4</sup> вазифалари белгиланган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, хусусан абсорберлар ёрдамида кадмий теллуридга асосланган фотоэлектрик модуллардан фойдаланиш, фотоэлектрик модулларнинг ҳароратини пасайтириш, қурилмаларнинг электрофизик ва иссиқлик параметрлари барқарорлигини таъминлашга қаратилган илмий тадқиқотларни олиб бориш муҳим ҳисобланади.

Мазкур диссертация тадқиқоти 2019 йил 21 майдаги ЎРҚ-539-сонли “Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш тўғрисида”ги Ўзбекистон Республикаси Қонунида<sup>5</sup>, 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422-сонли “Иқтисодий ва ижтимоий тармоқларнинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежайдиган технологияларни жорий этиш ва қайта тикланадиган энергия манбаларини ривожлантириш бўйича жадал чора-тадбирлар тўғрисида”ги<sup>6</sup> ҳамда 2023 йил 16 февральдаги ПҚ-57-сонли “2023 йилда қайта тикланадиган энергия манбалари ва энергия тежайдиган технологияларни жорий этишни жадаллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” ги Ўзбекистон Республикаси Президентининг қарорлари, ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Диссертация иши бўйича тадқиқотлар республика фан ва технологиялари ривожланишининг IV.”Қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш усулларини ишлаб чиқиш, нанотехнология, фотоника ва бошқа илғор технологияларга асосланган технологиялар ва қурилмаларни яратиш” устувор йўналишига мос келади.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Фотоэлектрик модулларни исиш жараёнларини тадқиқ қилиш ва совутиш технологиялари, фотоэлектрик иссиқлик қурилмаларини яратиш каби масалаларни ҳал қилишда бир қатор таниқли хорижий олимлар катта ҳисса қўшганлар,

---

<sup>4</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 28.01.2022 йилдаги ПФ-60-сонли “Янги Ўзбекистоннинг 2022-2026 йилларга мўлжалланган ривожланиш стратегияси тўғрисида”ги Фармони

<sup>5</sup> Ўзбекистон Республикасининг 21.05.2019 йилдаги ЎРҚ-539-сон “Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш тўғрисида”ги Қонуни.

<sup>6</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 22-августдаги ПҚ-4422-сонли “Иқтисодий ва ижтимоий тармоқларнинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежайдиган технологияларни жорий этиш ва қайта тикланадиган энергия манбаларини ривожлантириш бўйича жадал чора-тадбирлар тўғрисида”

жумладан Skoplaki E., J.A.Palyvos, Y. Tripanagnostopoulos (Греция), S.A. Kalogirou (Кипр), Chow T.T., Chan A., Fong K. (Хитой), Garg R.K., V.Agrawal, Tiwari G.N.(Ҳиндистон), H.Haloui, K. Touafek, A. Khelifa (Жазоир), Д.С.Стребков, В.В.Харченко, В.В.Кувшинов, П.В.Тихонов (Россия) ва бошқалар.

Комбинацияланган қуёш қурилмалари, фото-иссиқлик ўзгартиргичларини яратиш ва энергия самарадор ва энергия тежовчи технологияларни ишлаб чиқиш каби илмий муаммоларни ҳал қилишга Ўзбекистоннинг таниқли олимларини илмий ишлари бағишланган. Булардан, Р. А. Мўминов, Р. Р. Аvezов, Н. Р. Аvezова, М. Мирзабобоев, М. Н. Турсунов, В. Г. Дискин, Ж. С. Ахатов, И. А. Юлдошев, А. Комилов. Олиб борилган илмий тадқиқотлар натижасида, фотоэлектрик модуллар ва қурилмаларнинг ишлаш самарадорлигини ошириш масалаларини ечишда салмоқли натижаларга эришилди.

Сезиларли муваффақиятларга қарамай, юпқа плёнкали технологияларга асосланган фотоэлектрик модуллар ва фотоэлектрик иссиқлик қурилмалари билан боғлиқ илмий муаммолар етарли даражада ўрганилмаган. Мазкур диссертация ишида, иссиқ иқлим шароитида фотоэлектрик модулларнинг барқарор ишлашини таъминлаш учун уларни абсорберлар ёрдамида иссиқлик ташувчи орқали совутиш, уларда тўпланадиган иссиқликдан фойдаланиб иссиқ сув ишлаб чиқариш имконини берувчи юпқа плёнкали модуллар асосида фотоэлектрик иссиқлик қурилмасининг конструкциялари таклиф этилган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилаётган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқотлари Тошкент Давлат техника университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ, Ф-ОТ-2021-497-“Фотоэлектрик батареялар асосида қуёш когенерацион қурилмаларини яратишнинг илмий асосларини ишлаб чиқиш” (2021-2026) фундаментал лойиҳасининг илмий-тадқиқот ишлари режаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** иссиқ иқлим шароитларига мослаштирилган юпқа плёнкали модулларга асосланган фотоэлектрик иссиқлик қурилмасини ишлаб чиқиш, яратиш ва унинг энергетик параметрларини, техник-иқтисодий ва экологик кўрсаткичларини аниқлашдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

фотоэлектрик иссиқлик қурилмаларининг ҳозирги ривожланиш ҳолатини кўриб чиқиш ва таҳлил қилиш.

юпқа плёнкали кадмий теллурид модуллари асосида фотоэлектрик иссиқлик қурилмасининг конструкцияларини ишлаб чиқиш ва кристалли ҳамда юпқа плёнкали технологиялар асосидаги фотоэлектрик модулларни экспериментал тадқиқ қилиш.

юпқа плёнкали кадмий теллурид модуллари асосида фотоэлектрик иссиқлик қурилмасининг иссиқлик ва энергетик параметрларини ҳисоблаш учун математик модели ва дастурини ишлаб чиқиш.

юпқа плёнкали кадмий теллурид модуллари асосида фотоэлектрик иссиқлик қурилмалардан фойдаланишни техник-иқтисодий ва экологик жиҳатдан асослаш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида кристалли ва юпқа плёнкали технологияларга асосланган фотоэлектрик модуллар, кадмий теллуриднинг юпқа плёнкали модуллари асосидаги фотоэлектрик иссиқлик қурилмаларининг конструкциялари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** атроф-муҳит метеорологик омилларининг (куёш радиацияси, ҳаво ҳарорати, шамол тезлиги ва бошқалар) фотоэлектрик модуллар ва фотоэлектрик иссиқлик қурилмалари энергетик параметрларига таъсир жараёнларини ташкил қилади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида математик моделлаштириш, рақамли усуллар, экспериментал усуллар, иқтисодий баҳолаш, қиёсий таҳлил ҳамда маълумотларни қайта ишлашда замонавий усуллардан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

кадмий теллуриднинг юпқа плёнкали модулига бириктирилган замонавий композит материаллардан тайёрланган иссиқлик алмаштиргич асосидаги фотоэлектрик иссиқлик батареясининг конструкцияси яратилган;

кадмий теллуриднинг юпқа плёнкали модулига бириктирилган “лист-труба” кўринишдаги комбинациялашган иссиқлик алмаштиргич конструкцияси учун фотоэлектрик иссиқлик қурилмасининг энергетик параметрларини атроф-муҳит омилларига боғлиқ равишда иссиқлик баланси тенгламалари асосида аниқлайдиган математик модели такомиллаштирилган;

юпқа плёнкали кадмий теллурид модуллари ва иссиқлик алмаштиргичлар асосида ишлаб чиқилган фотоэлектрик иссиқлик қурилмасининг конструкциялари фотоэлектрик модулларнинг ўрнатилган қувватдан фойдаланиш коэффициентини 1,9 фоизга ошириш имкониятини яратган.

иссиқ иқлим шароитларида кадмий теллурид асосидаги модулнинг ишчи ҳароратини мажбурий сув айланишли фотоэлектрик иссиқлик қурилмаси орқали 8,6-21,5 фоизга пасайиши ҳисобига модулнинг электр самарадорлиги 1,7-2,5 фоизга, электр қуввати 8-10,3 фоизга ошиши аниқланган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

юпқа плёнкали кадмий теллурид модуллари асосида фотоэлектрик иссиқлик қурилмасининг конструкциялари ишлаб чиқилган ва яратилган;

юпқа плёнкали кадмий теллурид модуллари асосида фотоэлектрик иссиқлик қурилмасидан иссиқ сув таъминоти тизими учун бирламчи иссиқлик манбаи сифатида фойдаланиш принципиал схемаси ишлаб чиқилган;

аҳоли ва хўжаликлар эҳтиёжлари учун, айниқса марказлаштирилган электр ва иссиқлик таъминотидан узоқ бўлган жойларда фойдаланиш учун иссиқлик режимлари бошқариладиган автоном юпқа плёнкали кадмий

теллурид модуллари асосидаги фотоэлектрик иссиқлик қурилмаси ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончилиги экспериментал тадқиқотлар ва симуляция ҳисоб-китоблари натижаларининг ўзаро мувофиқлиги, уларнинг яқинлашиши, экспериментал тадқиқотлар учун замонавий ўлчов воситаларидан фойдаланилганлиги, такрорий кўплаб тажрибалар натижалари билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти иссиқ иқлим шароитида юпка плёнкали модулларга асосланган фотоэлектрик иссиқлик қурилмаларининг ҳамда кристалли ва юпка плёнкали технологиялар асосидаги фотоэлектрик модулларнинг энергетик параметрлари натижаларини олиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти иссиқ иқлим шароитида фотоэлектрик модуллари совутиш орқали барқарор ва самарали ишлашни таъминлаш, тўпланган иссиқликдан фойдаланиб иссиқ сув ишлаб чиқариш, шунингдек марказлаштирилган энергия ва иссиқлик таъминотидан узоқ бўлган, чекка ҳудудларда яшовчи аҳоли ва хўжаликларни бир вақтнинг ўзида электр энергияси ва иситиладиган сув билан таъминлаш имконини берувчи юпка плёнкали кадмий теллурид модулларига асосланган фотоэлектрик иссиқлик қурилмасининг конструкциялари ишлаб чиқилганлиги ва яратилганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Иссиқ иқлим шароитида юпка плёнкали модулар асосида фотоэлектрик иссиқлик қурилмасини ишлаб чиқиш ва яратиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

кадмий теллуриднинг юпка плёнкали модулига бириктирилган композит материалли иссиқлик алмаштиргич асосидаги фотоэлектрик иссиқлик батареясининг конструкцияси учун Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк марказининг фойдали моделига патенти олинган (Фотоэлектрик иссиқлик батареяси, FAP 2455, 04.04.2024 йил). Натижада иссиқ иқлим шароитида фотоэлектрик модулниң электр қувватини 8%, самарадорлигини 1,7% ошириш имконияти яратилган;

кадмий теллуриднинг юпка плёнкали модули асосида фотоэлектрик иссиқлик қурилмасининг такомиллаштирилган конструкцияси Бухоро вилояти Олот туманидаги “Vohidjon Fayziyev” фермер хўжалигига жорий қилинган (Ўзбекистон фермерлар, деҳқон хўжаликлари ва томорқа ер эгалари Кенгашининг 26.12.2023 йилдаги 01/03-2658-сонли маълумотномаси). Натижада фотоэлектрик иссиқлик қурилмасидан самарали фойдаланиш орқали олинган йиллик иқтисодий самарадорлик 25 млн.сўмни ташкил этиб, яратилган қурилмалар фермер ва деҳқон хўжаликлари, яқка тартибдаги қишлоқ аҳоли турар-жойлари, уларнинг хўжалик эҳтиёжларини электр энергияси ва иссиқ сув билан таъминлаш имкониятини берган;

кадмий теллурид асосидаги мажбурий сув айланувчи фотоэлектрик иссиқлик қурилмаси “Uzeltexsanoat” уюшмасининг “Solar Nature” МЧЖга жорий этилган (“Uzeltexsanoat” уюшмасининг 01.02.2024 йилдаги № 04-3/150 №4-маълумотномаси). Натижада ўрнатилган электр энергия қуввати 1,2 кВт ва ўрнатилган иссиқлик энергия қуввати 2,17 кВт бўлган фотоэлектрик иссиқлик қурилма йилига 2,236 млн.сўмлик кўмир ёқилғи ресурсини тежалиши ва 17,3 тонна CO<sub>2</sub> эмиссиясини олдини олиши ҳамда йилига 2,8 млн.сўмлик энергия ишлаб чиқариши ҳисобига қурилмадан фойдаланиш даврида 133,6 млн.сўм соф фойда олиш имконини берган. Диссертация иши натижалари уюшмага тегишли корхоналарда энергия тежайдиган технологик қурилмалар устида илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш имкониятини яратган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 6 та халқаро ва 6 та республика илмий-амалий анжуман ва семинарларда муҳокомадан ўтган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 23 та илмий иш чоп этилган, шулардан, 1 та монография, 1 та фойдали модел учун патент, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақолалар, жумладан 5 та республика, 1 та Россия Федерацияси ОАК таркибига кирувчи журналда ва 1 та чет эл илмий журналида ҳамда 2 та Scopus базасига кирувчи тўпламларда, 10 та республика ва халқаро илмий-амалий анжуман ва семинарлар тўпламларида нашр этилган, 2 та ЭҲМ учун дастурга гувоҳнома олинган.

**Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 120 бетдан иборат.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш қисмида** олиб борилган тадқиқотларнинг долзарблиги, зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг Республикада фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишлари билан боғлиқлиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари, олинган натижаларнинг илмий-амалий аҳамияти, тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши тўғрисидаги маълумотлар, нашр этилган ишлар ва диссертациянинг тузилиши ва ҳажми бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Фотоэлектрик иссиқлик қурилмалари бўйича ишланмаларнинг замонавий ҳолатини таҳлил қилиш”** номли биринчи бобида Фотоэлектрик модулларнинг (ФЭМ) энергетик параметрларига атроф-муҳит омилларининг таъсири ва уларни соvuтиш усуллари таҳлили келтирилган. Илмий-техник адабиётларни таҳлил қилиш натижасида тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари шакллантирилди. Юпқа плёнкали технология асосидаги модулларнинг кам ўрганилганлигини ҳисобга олган ҳолда, юпқа плёнкали модуллар асосида фотоэлектрик иссиқлик қурилмаларини ишлаб чиқиш, яратиш ва иссиқ иқлим шароитида тадқиқотлар ўтказиш бўйича вазифалар белгиланди.

Диссертациянинг **“Ҳар хил турдаги фотоэлектрик модулларни ва кадмий теллуриднинг юпқа плёнкали модуллари асосида фотоэлектрик иссиқлик қурилмаларини экспериментал тадқиқ қилиш”** деб номланган иккинчи бобида табиий муҳит шароитида ўтказилган тадқиқотлар натижалари келтирилган.

Иссиқ иқлим шароитида қизиш ҳароратининг турли хил ФЭМлар энергетик кўрсаткичларига таъсирини ўрганиш мақсадида 2021 йил июлдан октябргача ТДТУ АЭМ кафедрасининг гелиополигоиида кўп сонли экспериментал тадқиқотлар ўтказилди (1-расм).



**1-расм. Ҳар хил турдаги ФЭМ.**

STC тест синов шарти бўйича юқоридаги ФЭМ паспорт маълумотлари 1-жадвалда келтирилган.

ФЭМ паспорт маълумотлари (STC, 1000 Вт/м<sup>2</sup>, AM1.5, 25<sup>0</sup>C)

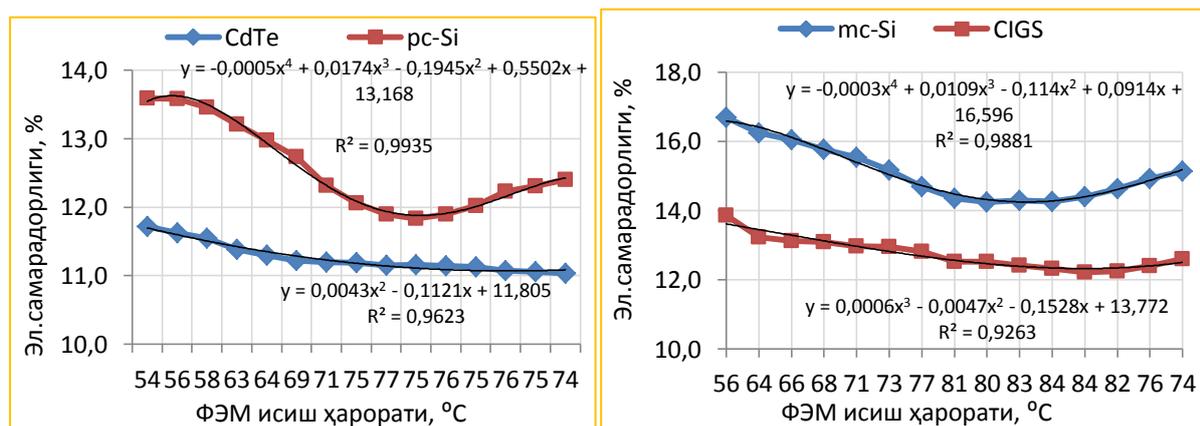
ФЭМ характеристикалари	ФЭМ турлари			
	mc-Si Sky(AR) 290W	pc-Si ODA50-18-P 50W	CIGS SC-50MDF 48W	CdTe ASP-S1-90
Модул юзаси, S <sub>м</sub> , м <sup>2</sup>	1,56	0,72	0,65	0,35
Номинал қувват, P <sub>н</sub> , Вт	290	50	48	90
Самарадорлик, η <sub>stc</sub> , %	19	15,6	16	12,5
Ҳарорат коэффициенти P <sub>н</sub> , γ, %/ <sup>0</sup> C	-0,45	-0,44	-0,38	-0,214

Фотоэлектрик модулнинг самарадорлиги, ҳарорат коэффициентиға боғлиқ равишда қуйидаги формула ёрдамида ҳисобланиши мумкин:

$$\eta_{\text{фэм}} = \eta_{\text{stc}} \cdot [1 - \gamma(T_{\text{фэм}} - T_{\text{stc}})] \quad (1)$$

Бу формулада η<sub>stc</sub> – модулнинг STC бўйича T<sub>stc</sub> 25<sup>0</sup>C ҳароратдаги, AM1,5 ва W<sub>stc</sub> қуеш нурланиш оқими зичлиги - 1000 Вт/м<sup>2</sup> бўлганидаги номинал самарадорлиги (ФИК), γ – модулнинг қувват бўйича ҳарорат коэффициенти, T<sub>stc</sub> - фотоэлектрик модулнинг STC бўйича ҳарорати. Кўрсатилган параметрларнинг қийматлари 1-жадвалдан олинган. T<sub>фэм</sub> – фотоэлектрик модулнинг ҳарорати, <sup>0</sup>C, ҳисоблашларда эксперимент орқали ўлчанган қийматлардан фойдаланилган.

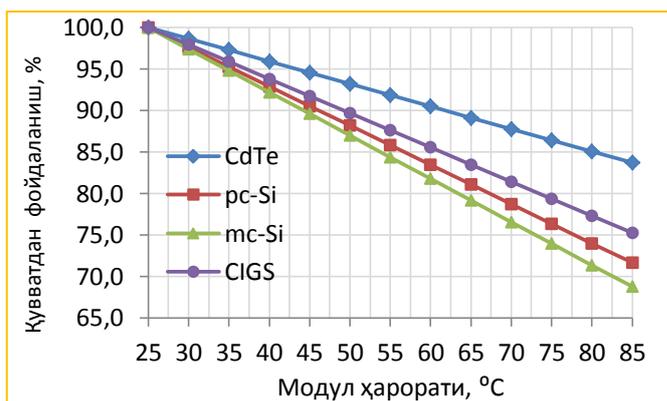
(1)-формула бўйича ФЭМ самарадорлиги қийматлари ҳисобланиб, ўзгариш графиклари 2-расмда мос равишда ФЭМ турлари бўйича келтирилган.



**2-расм. Ҳар хил турдаги ФЭМ самарадорликлари ўзгаришининг ишчи ҳароратга боғлиқлик графиклари**  
ФЭМ электр қувватини қуйидаги формула орқали ҳисоблаш мумкин.

$$P_{\text{фэм}} = \eta_{\text{stc}} \cdot [1 - \gamma(T_{\text{фэм}} - T_{\text{stc}})] \cdot W \cdot S_{\text{м}} \quad (2)$$

(2)-формула бўйича турли хил ФЭМ қувватлари ҳисобланди ва унга кўра ФЭМ ҳароратига боғлиқ равишда қувватлардан фойдаланиш графиклари қурилди (3-расм).



**3-расм. ФЭМ ҳароратининг ўзгаришига кўра ФЭМ қувватларидан фойдаланиш графикалари**

3-расмда ФЭМ турлари бўйича номинал қувват қийматиға нисбатан модул-нинг қизиш ҳароратиға боғлиқ равишда ФЭМ қувват йўқотишлари ҳисобланди. ФЭМ ҳарорати 85°C бўлганида, қувват йўқотилиши мос равишда қуйидаги қийматларни ташкил этди,

**mc-Si - 31%, pc-Si - 28%, CIGS – 25%, CdTe – 16%.**

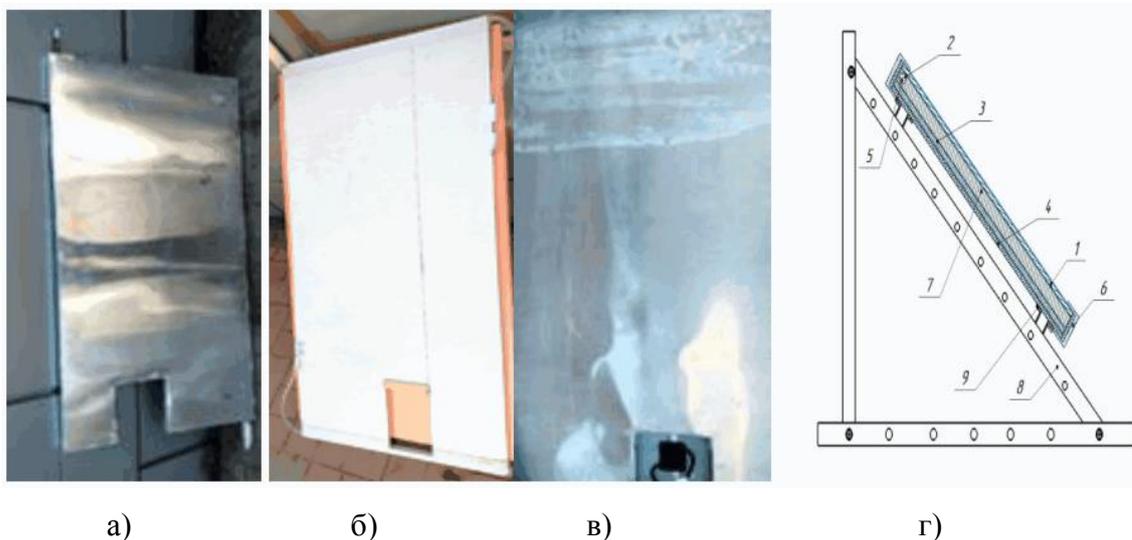
Модуларнинг қизиш ҳарорати таъсирини экспериментал тадқиқотлар асосида табиий шароитда ҳарорат коэффицентларининг қувват бўйича қийматлари, шунингдек табиий шароитларда турли технологиялар асосидаги фотоэлектрик модуларнинг самарадорлиги ва қувватининг нисбий пасайиши аниқланди, унга кўра ҳарорат коэффицентлари:

**mc-Si-0,521, pc-Si-0,473, CIGS – 0,413, CdTe-0,272 - (%/°C);**

Самарадорликнинг нисбий пасайиши:

**mc-Si – 14 %, pc-Si – 13 %, CIGS – 11 %, CdTe – 6 %.**

ФЭИҚ турли хил конструкцияларини ишлаб чиқиш учун юпқа плёнкали модуларға бириктириладиган иссиқлик алмаштиргичлар (ИА) яратилди (4-расм).



**4-расм. Иссиқлик алмаштиргич турлари**

**а) метал “лист-труба” комбинацияси турдаги ИА; б) композит материаллардан иборат “композит панель” турдаги ИА; в) “алюминий радиатор” турдаги ИА; г) ФЭИБ қурилмани таянч конструкцияға маҳкамланиши**

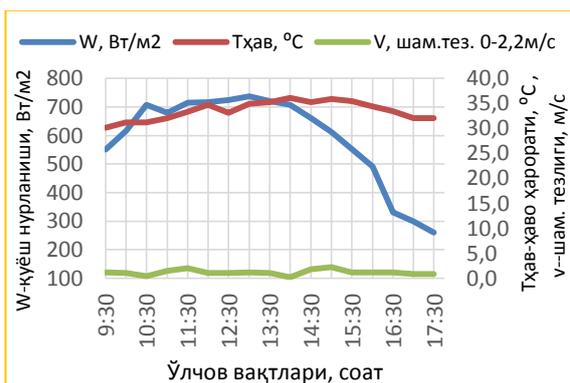
ФЭИҚ ва ФЭМ қурилмалари 2022-2023 йиллар апрель-сентябрь ойлари оралиғида кўп сонли тажрибалар орқали синовдан ўтказилди ва атроф-

муҳит омиллари, қурилмаларнинг электр ва иссиқлик параметрлари ўлчанди (5-расм).

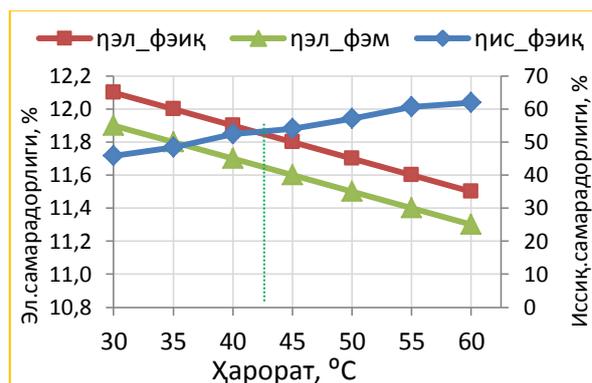


**5-расм. ФЭИҚ ва ФЭМ экспериментал қурилмалари умумий кўриниши ва параметрларни ўлчаш жараёнлари**

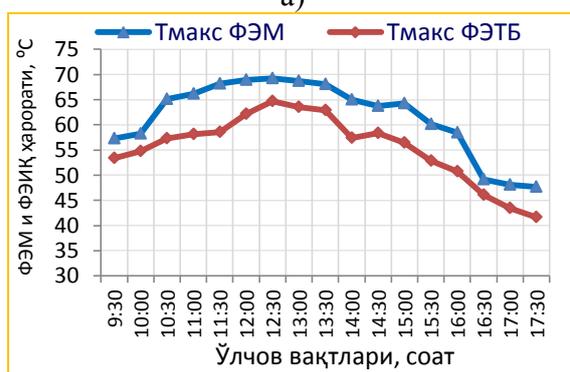
ФЭМ ва композит материаллар асосидаги “композит панель” турдаги иссиқлик алмаштиргичдан иборат ФЭИҚ экспериментал тадқиқотлар натижалари 6-расмда келтирилган.



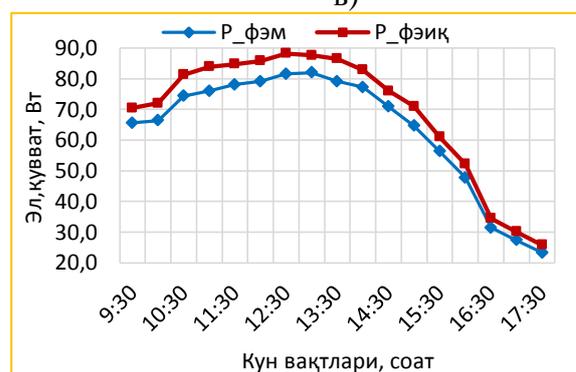
а)



в)



б)



г)

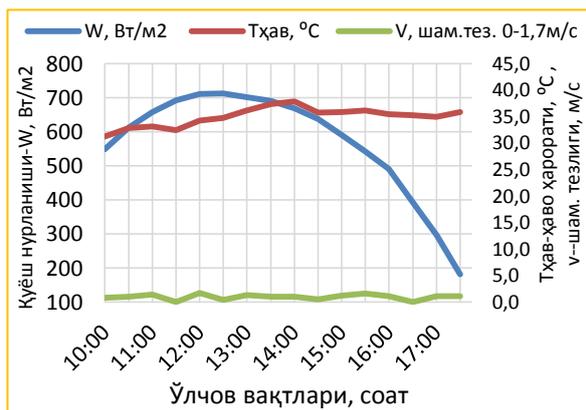
ФЭИҚ параметрларининг ўзгариши:  
 Эл.қувватнинг ошиши Р<sub>эл</sub>-8,0%; Модул ҳарорати пасайиши- 8,6%; Модул эл.самарадор.ошиши - 1,7%; Иссиқлик самарадорлиги -54,4%.

**6-расм. Параметрларни ўзгариш графиги,**

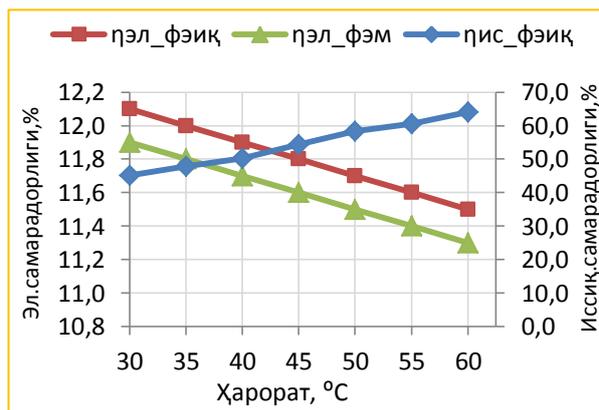
а) ташқи омилар графиги, б) ФЭМ ва ФЭИҚ ҳарорат графиглари, в) ФЭМ ва ФЭИҚ электр қувват графиглари, г) ФЭМ ва ФЭИҚ электр ва иссиқлик самарадорлиги графиглари.

6-расмда 04.08.2022йил санасидаги экспериментал натижалар келтирилган, кундуз куни 121 литр ўртача ҳарорати 39,5°C бўлган иситилган сув ишлаб чиқилди. CdTe асосидаги ФЭМ совутилиши ҳисобига, электр самарадорлиги 1,7% оширилди. Самарадорликларни ўртача қийматлари: иссиқлик-54,6%, электр-11,8%. ФЭМ ҳарорати 5°C пасайди, электр қуввати 4,8 Вт ёки 8,0% ошди.

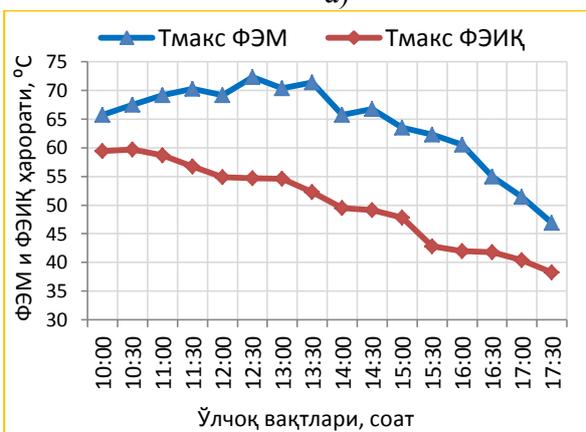
ФЭМ ва “алюминий радиатор” турдаги иссиқлик алмаштиргичдан иборат ФЭИҚ экспериментал тадқиқотлар натижалари 7-расмда келтирилган.



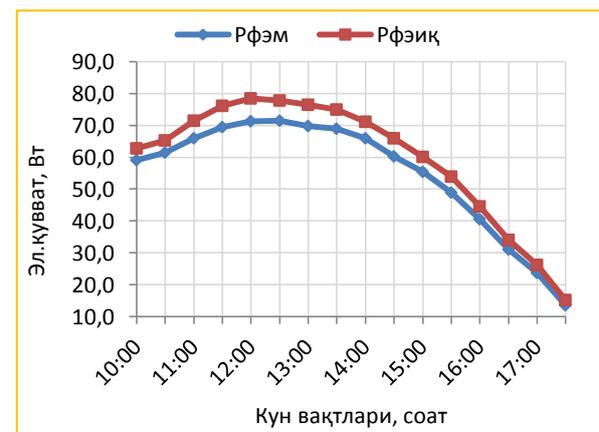
а)



в)



б)



г)

ФЭИҚ параметрларининг ўзгариши: Эл.қувватнинг ошиши Рэл - 8,5%; Модул ҳарорати пасайиши -21,5%; Модул эл.самарадор.ошиши -1,7%; Иссиқлик самарадорлиги-55%.

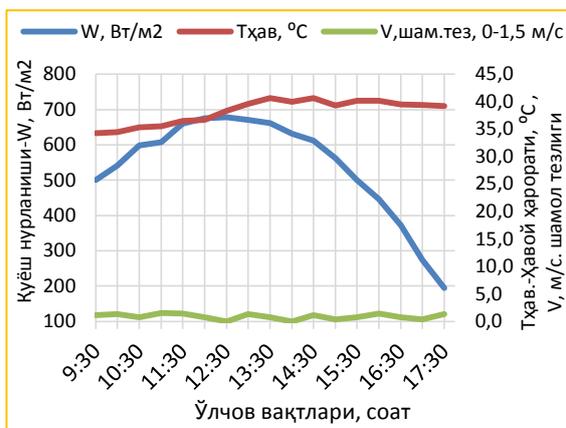
### 7-расм. Параметрларни ўзгариш графиги,

а) ташки омиллар графиги, б) ФЭМ ва ФЭИҚ ҳарорат графиглари, в) ФЭМ ва ФЭИҚ электр қувват графиглари, г) ФЭМ ва ФЭИҚ электр ва иссиқлик самарадорлиги графиглари.

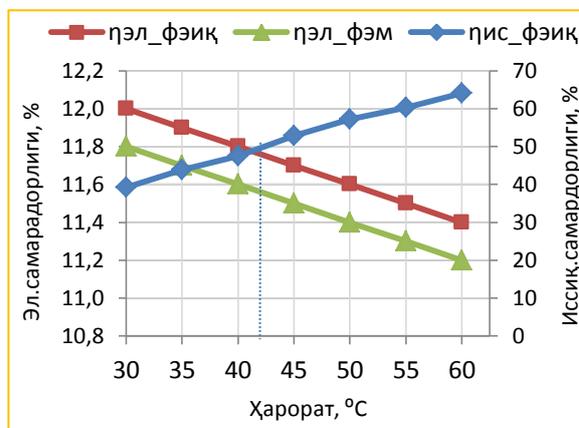
06.08.2022йил санасидаги экспериментал натижалар келтирилган, кундуз куни 134 литр ўртача ҳарорати 39,5 °C бўлган иситилган сув ишлаб чиқилди. CdTe асосидаги ФЭМ совутилиши ҳисобига, электр самарадорлиги 1,7% оширилди. Самарадорликларни ўртача қийматлари:

иссиқлик-55%, электр-11,8%. ФЭМ ҳарорати 13,8°C пасайди, электр қуввати 5 Вт ёки 8,5% ошди.

ФЭМ ва метал “лист-труба” турдаги иссиқлик алмаштиргичдан иборат ФЭИҚ экспериментал тадқиқотлар натижалари 8-расмда келтирилган.



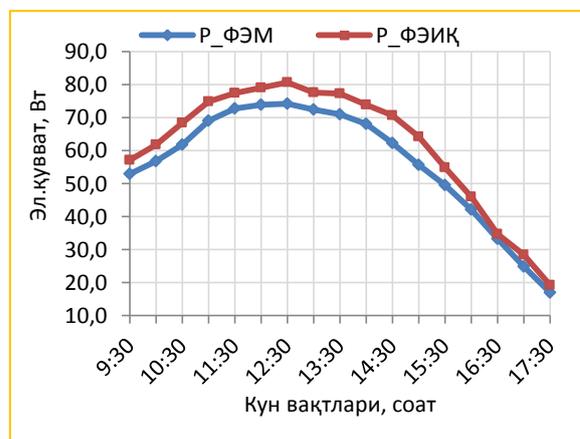
а)



в)



б)



г)

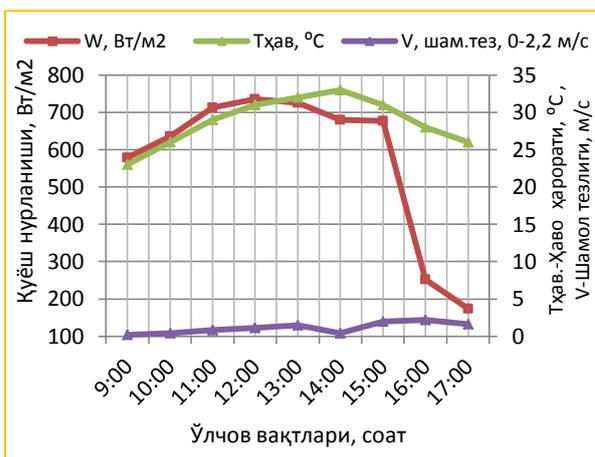
### 8-расм. Параметрларни ўзгариш графиги

ФЭИҚ параметрларининг ўзгариши:  
 Эл.қувватнинг ошиши Рэл, % 10,3;  
 Модул ҳарорати пасайиши, % 10,1;  
 Модул эл.самардор.ошиши, % 2,1;  
 Иссиқлик самарадорлиги, % 56,4.

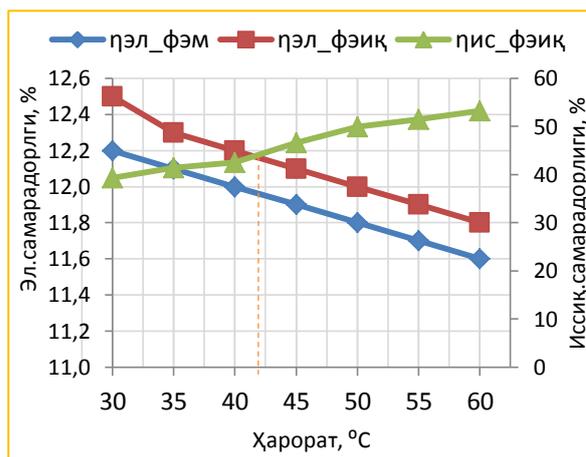
а) ташқи омиллар графиги, б) ФЭМ ва ФЭИҚ ҳарорат графиклари, в) ФЭМ ва ФЭИҚ электр қувват графиклари, г) ФЭМ ва ФЭИҚ электр ва иссиқлик самарадорлиги графиклари.

8-расмда 27.07.2022йил санасидаги экспериментал натижалар келтирилган, кундуз куни 122 литр ўртача ҳарорати 39,5°C бўлган иситилган сув ишлаб чиқилди. CdTe асосидаги ФЭМ совутилиши ҳисобига, электр самарадорлиги 2,1% оширилди. Самарадорликларни ўртача қийматлари: иссиқлик-56,4%, электр-11,7%. ФЭМ ҳарорати 6,3°C пасайди, электр қуввати 5,3 Вт ёки 10,3% ошди.

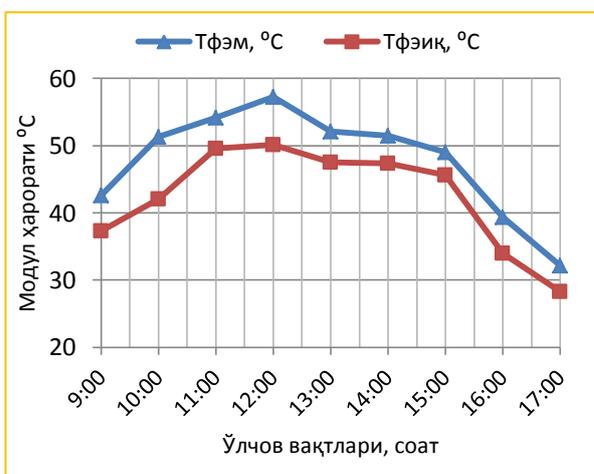
ФЭМ ва метал “лист-труба” турдаги иссиқлик алмаштиргичдан иборат ФЭИҚ баҳорги мавсум апрель ойидаги экспериментал тадқиқотлар натижалари 9-расмда келтирилган



а)



в)



б)



г)

ФЭИҚ параметрларининг ўзгариши:  
 Эл.қувватнинг ошиши Рэл-9,4%;  
 Модул ҳарорати пасайиши -12,2%;  
 Модул эл.самардор.ошиши - 2,5%;  
 Иссиқлик самарадорлиги,-46,4%.

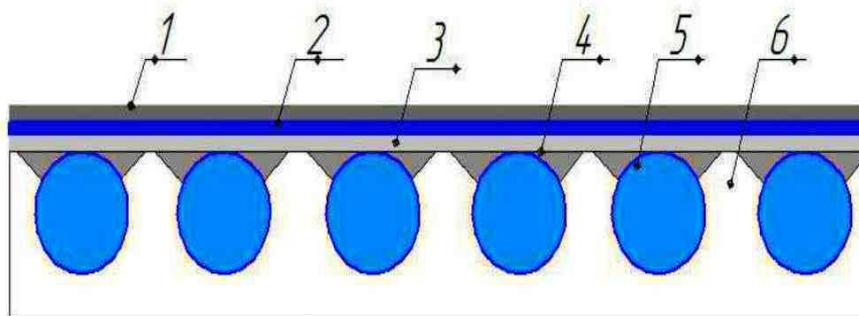
### 9-расм. Параметрларни ўзгариш графиги

а) ташқи омиллар графиги, б) ФЭМ ва ФЭИҚ ҳарорат графиклари, в) ФЭМ ва ФЭИҚ электр қувват графиклари, г) ФЭМ ва ФЭИҚ электр ва иссиқлик самарадорлиги графиклари.

9-расмда 28.04.2023йил санасидаги экспериментал натижалар келтирилган, кундуз куни 68 литр ўртача ҳарорати 40,5°C бўлган иситилган сув ишлаб чиқилди. CdTe асосидаги ФЭМ совутилиши ҳисобига, электр самарадорлиги 2,5% оширилди. Самарадорликларни ўртача қийматлари: иссиқлик-46,4%, электр-12,1%. ФЭМ ҳарорати 5,3°C пасайди, электр қуввати 5 Вт ёки 9,4% ошди.

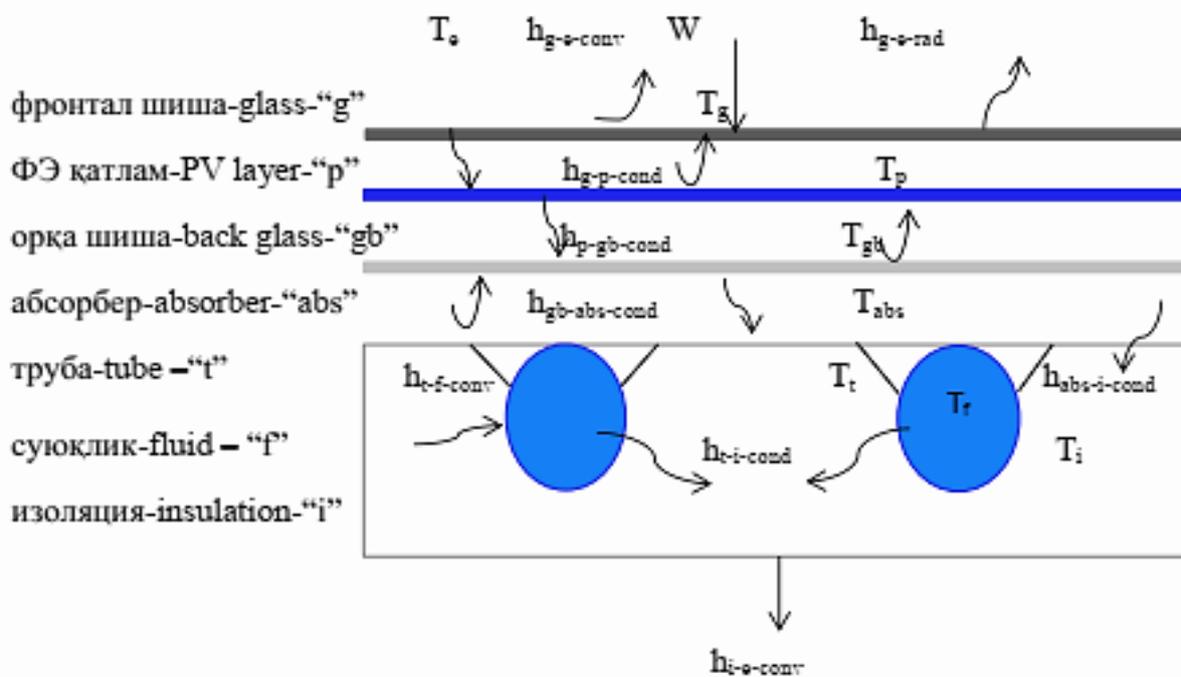
Диссертациянинг “Юпқа плёнкали кадмий теллурид модуллари асосида фотоэлектрик иссиқлик қурилмасини моделлаштириш” номли учинчи бобида “лист-труба” туридаги фотоэлектрик иссиқлик қурилманинг математик модели ишлаб чиқилган. Математик моделни, қурилманинг ҳар бир элементи учун иссиқлик баланслари тенгламаларини тузиш учун

иссиқлик алмашинуви жараёнлари схемаси ишлаб чиқилди. Моделга кўра, Python алгоритмик тилида дастур тузилди ва тегишли тенгламалар Гаусс-Зейдел сонли итерациялар усули ёрдамида ечилди (10-расм).



а)

1-ФЭМ фронтал шишаси, 2-ФЭ қатлам, 3-ФЭМ орқа шишаси,  
4-абсорбер, 5-совутиш суви билан иссиқлик алмаштиргич трубкаси,  
6-изоляция қатлам



б)

10-расм. (а)- “лист-труба” конструкцияли ФЭИҚ кундаланг кесим схемаси,  
(б)- “лист-труба” конструкцияли ФЭИҚ қатламлари кесимида иссиқлик узатилиш коэффициентлари схемаси

#### Иссиқлик узатиш коэффициентлари белгиларининг номи:

$h_{g\_e\_conv}$  – фронтал шишадан атроф-муҳитга конвектив иссиқлик узатиш коэффициентлари;  $h_{g\_e\_rad}$  – фронтал шиша ва атроф-муҳит ўртасида радиацион иссиқлик узатиш коэффициентлари;  $h_{g\_p\_cond}$  – фронтал шиша ва фотоэлектрик қатлам орасидаги иссиқлик узатиш коэффициентлари;  $h_{p\_gb\_cond}$  – фотоэлектрик қатлам ва орқа шиша орасидаги иссиқлик узатиш коэффициентлари;  $h_{gb\_abs\_cond}$  – орқа шиша ва абсорбер ўртасида иссиқлик узатиш коэффициентлари;  $h_{abs\_i\_cond}$  – абсорбер ва изоляция ўртасидаги иссиқлик узатиш коэффициентлари;  $h_{t\_f\_conv}$  – труба ва суюқлик ўртасида конвектив иссиқлик узатиш коэффициентлари;  $h_{t\_i\_conv}$  – абсорбер ва изоляция ўртасидаги иссиқлик узатиш коэффициентлари;  $h_{i\_e\_conv}$  – изоляция ва атроф-муҳит ўртасидаги конвекция коэффициентлари;  $W$  – шиша юзасига тушадиган қуёш нурланиш оқимининг зичлиги;  $T_e$  –

атроф-мухит ҳарорати;  $T_g$  – фронтал шиша ҳарорати;  $T_p$  – фотоэлектрик қатлам ҳарорати;  $T_{gb}$  – орқа шиша ҳарорати;  $T_{abs}$  – абсорбер ҳарорати;  $T_t$  – труба ҳарорати;  $T_f$  – суюқлик ҳарорати;  $T_i$  – изоляция ҳарорати;  $T_{sky}$  – осмоннинг эквивалент нурланиш ҳарорати.

10-расмда келтирилган иссиқлик алмашинув схемаси асосида барча қатламлар учун қуйидаги иссиқлик баланс тенгламлари тузилди.

ФЭМ фронтал шишаси ва ФЭ қатлам учун:

$$M_g c_g \frac{dT_g}{dt} = h_{g-e-conv} S_g (T_e - T_g) + h_{g-e-rad} S_g (T_{sky} - T_g) + h_{g-p-cond} S_g (T_p - T_g) + S_g \alpha_g W \quad (3)$$

ФЭ қатлам ва орқа шиша учун:

$$M_p c_p \frac{dT_p}{dt} = h_{p-g-cond} S_p (T_g - T_p) + h_{p-gb-cond} S_{gb} (T_{gb} - T_p) + (\alpha\tau)_p \cdot S_p \cdot W (1 - \eta_{el}) \quad (4)$$

Орқа шиша ва абсорбер учун:

$$M_{gb} c_{gb} \frac{dT_{gb}}{dt} = h_{gb-p-cond} S_{gb} (T_p - T_{gb}) + h_{gb-abs-cond} S_{gb} (T_{abs} - T_{gb}) \quad (5)$$

Абсорбер ва труба учун:

$$M_{abs} c_{abs} \frac{dT_{abs}}{dt} = h_{abs-t-cond} S_{abs-t} (T_t - T_{abs}) + h_{abs-i-cond} S_{abs-i} (T_a - T_{abs}) + h_{abs-gb-cond} S_{abs} (T_{gb} - T_{abs}) \quad (6)$$

Труба ва иссиқлик ташувчи суюқлик учун:

$$M_t c_t \frac{dT_t}{dt} = h_{t-f-conv} S_{t_{int}} (T_f - T_t) + h_{t-abs-cond} S_{abs-t} (T_{abs} - T_t) + h_{t-i-cond} S_{t_i} (T_i - T_t) \quad (7)$$

Иссиқлик ташувчи суюқлик учун:

$$M_f c_f \frac{dT_f}{dt} = h_{t-f-conv} S_{t_{int}} (T_t - T_f) - \dot{m}_f c_f (T_{f_{out}} - T_{f_{in}}) \quad (8)$$

Изоляция қатлами учун:

$$M_i c_i \frac{dT_i}{dt} = h_{abs-i-cond} S_i (T_{abs} - T_i) + h_{t-i-cond} S_{t_i} (T_t - T_i) + h_{i-e-conv} S_i (T_e - T_i) \quad (9)$$

Электр самарадорлик:

$$\eta_{el} = \eta_{stc} [1 - \beta_p (T_p - T_{stc})] \quad (10)$$

Электр қувват:

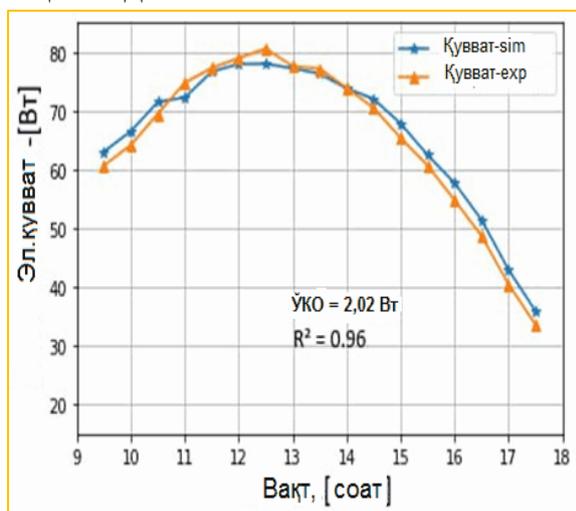
$$P_{el} = \eta_{el} \cdot W \cdot S_{pvtb} \quad (11)$$

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}_f c_f (T_{f_{out}} - T_{f_{in}})}{S_{pvtb} W} \quad (12)$$

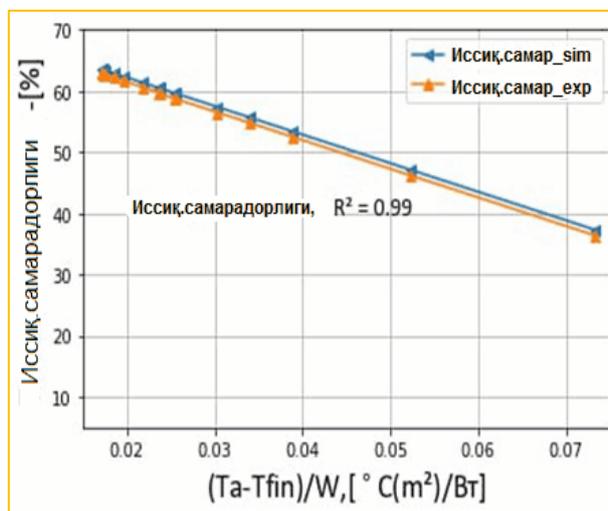
(3)-(9)-дифференциал тенгламалар бошланғич ва чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда чекланган фарқлар усули ёрдамида ечилди ва қатламлар ҳароратларини топиш учун алгебраик тенгламалар тузилди. Қурилманинг электр қуввати, электр ва иссиқлик самарадорликлари (10)-(12) формулалар орқали аниқланди.

Модел ёрдамида ҳисобланган қувват, электр ва иссиқлик самарадорликлар бўйича қийматлар экспериментал маълумотлар билан таққосланган натижалари 11-расмда график шаклида келтирилган.

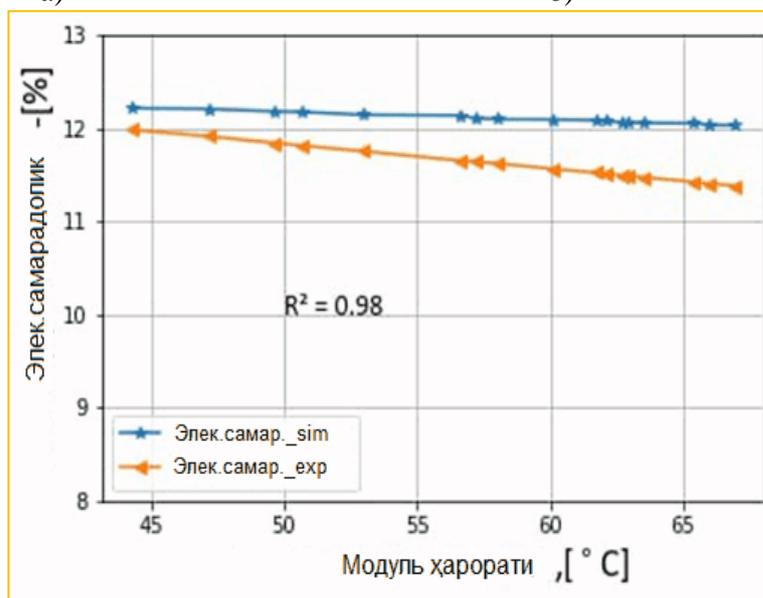
Ишлаб чиқилган моделнинг адекватлигини текшириш ва тасдиқлаш учун  $R^2$  - детерминация коэффиценти ва ЎҚО ҳисоблашга асосланган “келишув ва стандарт оғишни баҳолаш (ЎҚО)” усуллари ёрдамида баҳоланди.



а)



б)

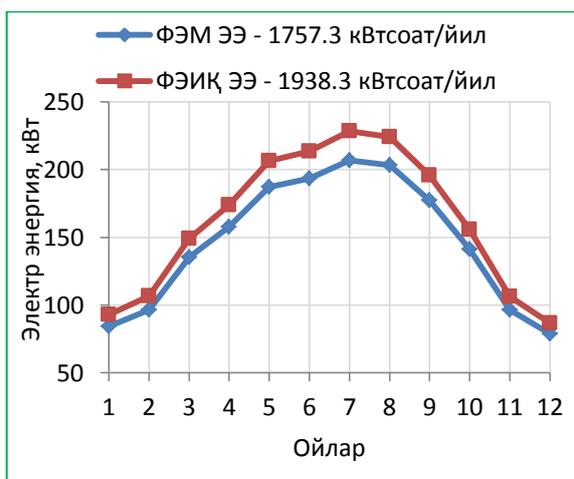


в)

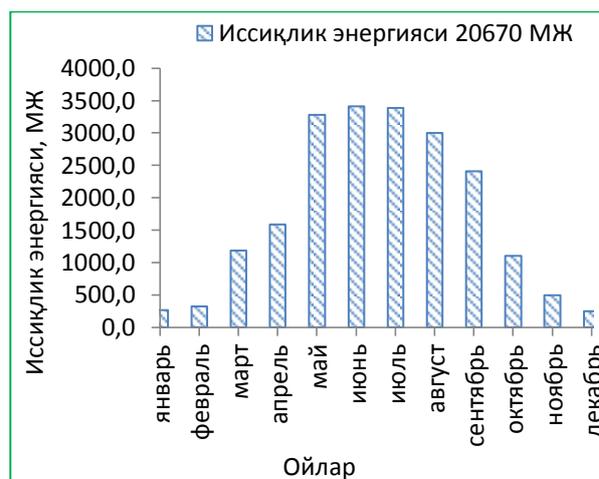
**11-расм. Симуляция ва экспериментал натижаларини таққослаш, а) электр қувватини таққослаш, б) иссиқлик самарадорлигини таққослаш, в) электр самарадорлигини таққослаш.**

ФЭИҚ электр қувватининг эксперимент ва модел орқали аниқланган ўртача квадратик оғиши (ЎҚО) 2,02 ватт ёки 6,2% ташкил қилди. детерминация коэффиценти  $R^2$  0,96 ташкил қилди. ФЭ қатлам ва сув ҳароратлари бўйича детерминация коэффиценти  $R^2$  0,88, электр самарадорлиги бўйича 0,98, иссиқлик самарадорлиги бўйича 0,99 ташкил қилди.

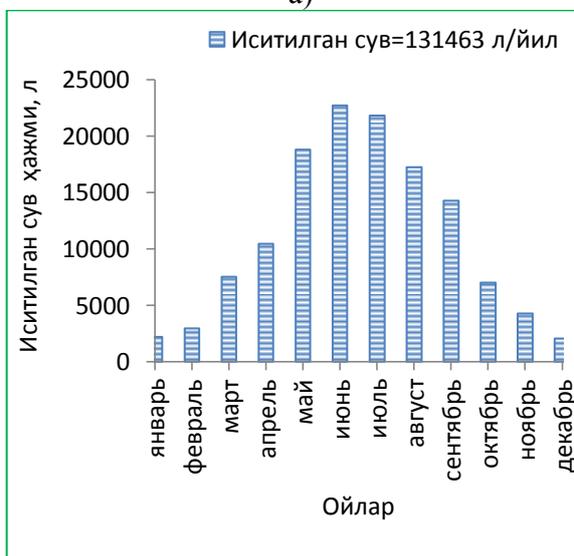
**“Юпқа плёнкали кадмий теллурид модуллари асосидаги фотоэлектрик иссиқлик қурилмаларидан фойдаланиш самарадорлигини техник-иқтисодий асослаш”** номли диссертациянинг тўртинчи бобида электр энергияси ва иссиқ сув ишлаб чиқариш учун ФЭИҚ технологик схемалари келтирилган. Модулни совутиш жараёнини ва иссиқ сув ишлаб чиқаришни автоматик бошқариш учун алгоритм ишланган. Шунингдек, техник-иқтисодий, экологик ҳисоб-китоблар ва иқтисодий самарадорликни баҳолаш ҳам келтирилган. Шунингдек, яқка тартибдаги уй жой истеъмоли учун номинал электр қуввати 1,2 кВт ва иссиқлик қуввати 2,17 кВт бўлган ФЭИҚнинг йиллик ишлаб чиқарган электр ва иссиқлик энергияси, иситилган сув ҳажмлари келтирилган (12-расм).



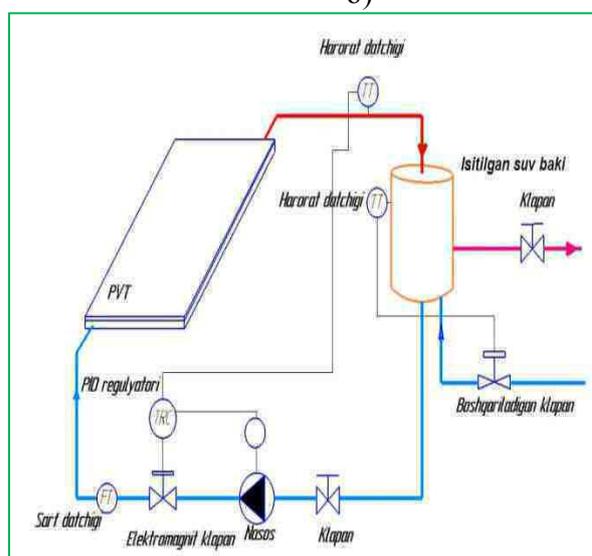
а)



б)



в)



г)

**12-расм. ФЭИҚ техник кўрсаткичлари ва иситилган сув ишлаб чиқариш схемаси: а) электр энергия, б) фойдали иссиқлик энергия, в) иситилган сув, г) иситилган сув ишлаб чиқариш схемаси.**

Ишлаб чиқилган ФЭИҚнинг конструкцияси углеводород ёқилғи ресурсларини тежалишини ва атмосферанинг экологик тозалигини қуйидагича таъминлайди: 1,74 млн.сўм миқдорида табиий газ тежалиб атмосферага 2,1 тонна CO<sub>2</sub> чиқинди чиқишнинг олди олинади ёки 2,24

млн.сўм кўмир тежалиб атмосферага 17,3 тонна CO<sub>2</sub> чиқинди чиқишнинг олди олинади.

Ушбу бобда, шунингдек, ишлаб чиқилган ФЭИҚ ва фотоэлектрик батареялар (ФЭБ) таркибидаги фотоэлектрик модулларнинг тахмин қилинган энергия параметрлари **PV Syst.V7.4.8.** дастурий пакетда симуляция орқали баҳоланган. Кадмий теллурид модуллари асосидаги ФЭБ учун прогноз маълумотларга кўра  $K_{\phi} - 1,2$  кВт номинал қувватли ФЭБ учун ўрнатилган қувватдан фойдаланиш коэффициентини (ЎҚФК) қуйидаги формула орқали ҳисоблаймиз.

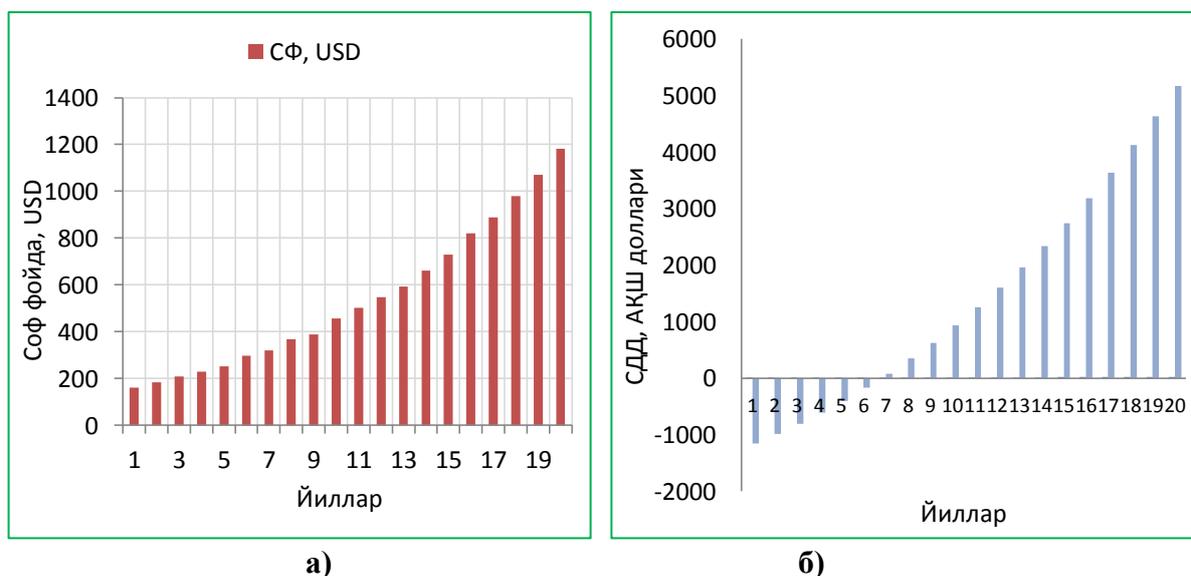
$$K_{\phi} = \frac{E_{\text{ич}}}{P_{\text{н}} \cdot t_{\text{й}}} \quad (13)$$

$E_{\text{ич}}$  - ишлаб чиқарилган йиллик электр энергия кўрсаткичи, кВт·соат,  $P_{\text{н}}$ - ФЭБ ўрнатилган қуввати, 1,2 кВт·соат  $t_{\text{й}}$  – йил давомидаги вақт, 8760 соат. ФЭБ юзасининг ифлосланиши, харорат остида қизиши каби асосий йўқотишларни ҳисобга олиб йиллик ишлаб чиқарган электр энергия ҳажми 1781 кВт·соат. Ишлаш коэффициентини ва энергия йўқотишларини ҳисобга олиб 1484 кВт·соат.  $K_{\phi_{\text{ФЭБ}}} = 0,141$

Фотоэлектрик иссиқлик қурилмаси (ФЭИҚ) ФЭБ модуллари совутилгани ҳисобига ишлаб чиқариладиган йиллик электроэнергия 1938 кВт·соат, ФЭБ ФЭИҚ учун ишлаш коэффициентини ҳисобга олган ҳолда 1682 кВт·соат,  $K_{\phi_{\text{ФЭИҚ}}} = 0,160$  ташкил этган.

ФЭИҚ ФЭБ модулларининг мажбурий сув айлантириш орқали совутилиши ҳисобига ЎҚФК совутилмайдиган модуллар асосидаги ФЭБга нисбатан 1,9 % юқори эканлиги аниқланган.

Ушбу бобда, шунингдек, смета қиймати 1314 АҚШ доллар бўлган ФЭИҚ, фойдаланишнинг 20 йиллик инвестицион даврида олинадиган соф фойда (СФ), соф дисконтланган даромад (СДД) ҳисоблаб чиқилган (13-расм).



13-расм. (а) СФ ўзгариш графиги; (б) СДД ўзгариш графиги ва лойиханинг жорий қайтарилиш даври

Лойиҳанинг 7-йилидан бошлаб 76,9 АҚШ доллари миқдорида СДД олинган, яъни жорий қайтарилиш даври 7 йилни ташкил этган. Ҳисоб-китоб даври учун соф фойда (СФ) 10,839 АҚШ доллари (ҳисоб-китоб санасидаги 12.12.2023й., 1АҚШ доллари учун ЎзР МБ курси бўйича 12325сум-133,6 млн.сўм), СДД 5164,5 АҚШ доллари (63,7 млн.сўм) ташкил этади.

## ХУЛОСА

“Иссиқ иқлим шароитида юпқа плёнкали модулар асосида фотоэлектрик иссиқлик қурилмасини яратиш” мавзусидаги техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. Патент тадқиқотлари натижасида юпқа плёнкали кадмий теллурид модулига бириктирилган композит материаллардан тайерланган иссиқлик алмаштиргич асосида фотоэлектрик иссиқлик батареяси яратилди (Фотоэлектрик иссиқлик батареяси, FAP 2455, 04.04.2024 йил). Натижада, фотоэлектрик модулнинг электр самарадорлиги 1,7 фоизга, электр қуввати 8,0 фоизга оширилди.

2. Юпқа плёнкали кадмий теллурид модуллари ва “лист-труба”, “композит панель”, “алюминий радиатор” турдаги иссиқлик алмаштиргичлар асосида фотоэлектрик иссиқлик қурилмасининг конструкциялари ишлаб чиқилди. Натижада, фотоэлектрик модулларнинг ўрнатилган қувватдан фойдаланиш коэффициенти 1,9 фоизга оширилди.

3. Фотоэлектрик иссиқлик қурилмасининг энергетик параметрларини атроф-муҳит омилларига боғлиқ равишда иссиқлик баланси тенгламалари асосида аниқлаш учун иссиқлик алмашинуви жараёнларининг схемаси, математик модел ва компютер дастури ишлаб чиқилди. Моделнинг адекватлиги “ўртача квадратик оғиш ва детерминация коэффициенти” усуллари ёрдамида баҳоланди. Натижада, электр қувват бўйича квадратик оғиш 2,02 Вт ёки 6,2 фоизни, самарадорлик ва ҳароратлар бўйича детерминация коэффициентлари 0,88-0,99 оралиғида эканлиги аниқланди.

4. Юпқа плёнкали модулар асосида яратилган фотоэлектрик иссиқлик қурилмалар ва кадмий теллурид асосидаги фотоэлектрик модулар табиий атроф-муҳит шароитларида экспериментал равишда синов тадқиқотлардан ўтказилди. Натижада, мажбурий сув айлантириш фотоэлектрик қурилмаси орқали совутилган модулларнинг ҳарорати 8,6-21,5 фоиз оралиғида пасайиши ҳисобига электр самарадорлиги 1,7-2,5 фоиз, электр қуввати 8,0 – 10,3 фоиз оралиғида ошиши аниқланди.

5. Табиий иқлим шароитларида кристалли ва юпқа плёнкали технологиялар асосидаги фотоэлектрик модулар экспериментал равишда ўрганилди. Натижада, модулларнинг самарадорлик бўйича  $m\text{-Si}-0,10$ ,  $p\text{-Si}-0,09$ ,  $\text{CIGS}-0,06$ ,  $\text{CdTe}-0,03$  ( $\%/\text{°C}$ ) ва қувват бўйича  $m\text{-Si}-0,521$ ,  $p\text{-Si}-0,473$ ,  $\text{CIGS}-0,413$ ,  $\text{CdTe}-0,272$ -( $\%/\text{°C}$ ) ҳарорат коэффициентларининг қийматлари аниқланди.

6. Ишлаб чиқилган номинал электр қуввати 1,2 кВт ва иссиқлик қуввати 2,17 кВт бўлган фотоэлектрик иссиқлик қурилмасидан фойдаланиш орқали йилига 2,236 млн.сўмлик табиий ёқилғи ресурсини тежаб қолиш ва CO<sub>2</sub> чиқинди газининг атроф-муҳитга ташланмасини 17,3 тоннага камайтириш имконияти яратилди. Натижада, қурилмадан фойдаланишнинг 20 йиллик инвестицион даврида олинадиган иқтисодий самарадорлик 133,6 млн.сўмни ташкил этади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
ДОКТОРА НАУК DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**ЖУРАЕВ ИСЛОМ РАХМАТОВИЧ**

**СОЗДАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЕПЛОЙ УСТАНОВКИ  
НА ОСНОВЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ МОДУЛЕЙ В УСЛОВИЯХ  
ЖАРКОГО КЛИМАТА**

**05.05.06 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии**

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

**Ташкент – 2024**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за В2021.1.PhD/T2108.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

Научный руководитель:

**Юлдошев Исроил Абриевич**  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

**Уришев Бобарам**  
доктор технических наук, профессор

**Ахатов Жасуржон Саидович**  
доктор технических наук,  
старший научный сотрудник

Ведущая организация:

АО «Теплоэлектропроект»

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании Научного совета DSc.03/10.12.2019.T.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова. Адрес: 100095, г Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32, e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова (регистрационный номер \_\_\_\_). Адрес: 100095, Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 207-14-70.

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 года.  
(протокол рассылки № «\_\_» от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 года).



**К.Р. Аллаев**  
Председатель научного совета  
по присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, профессор, академик

**Н. У. Рахмонов**  
Ученый секретарь научного совета  
по присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, профессор.

**Р.П. Бабаходжаев**  
Председатель научного семинара при  
научном совете по присуждению  
ученых степеней, доктор технических наук, профессор

## ВВЕДЕНИЕ (Аннотация диссертации доктора философии (PhD))

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире использование энергетических установок и систем на основе возобновляемых источников энергии является одним из перспективных направлений для обеспечения потребителей электрической и тепловой энергией. Нужно отметить, что в мире 26,94 % (23,43 млн ТДж)<sup>1</sup> от общего потребления электроэнергии по секторам приходится на жилой сектор, в том числе на электричество, отопление и горячее водоснабжение. В связи с истощением мировых запасов энергии, использование фотоэлектрических модулей для преобразования солнечной энергии в электричество считается более перспективным. Однако, в условиях жаркого климата из-за высокой температуры окружающей среды эффективность и производительность фотоэлектрических модулей значительно снижаются, а высокие температуры нагрева приводят к ускорению процесса деградации и сокращению срока годности. Учитывая вышеперечисленные проблемы, использованию абсорберов для предотвращения резкого повышения температуры фотоэлектрических модулей, обеспечения стабильности электрофизических и тепловых показателей установок путем контроля температуры охлаждения и теплоносителя, уделяется особое внимание.

В мире ведутся научно-исследовательские работы, направленные на определение тепловых и электрофизических показателей, а также в целях предотвращения падения эффективности работы фотоэлектрических модулей и изменения оптических свойств прозрачных конструкционных полимерных материалов из-за перегрева, а также на использование абсорберов разных конструкций на основе металлических и неметаллических материалов для охлаждения фотоэлектрических модулей<sup>2,3</sup>. В настоящее время исследования фотоэлектрических модулей на основе тонкопленочных модулей с теплопреобразователями с учетом резких изменений температур и климатических условий, исследования электрофизических и тепловых показателей фотоэлектрических модулей является актуальным. Определению электрофизических, теплотехнических, технико-экономических и экологических показателей фотоэлектрических тепловых установок на основе тонкопленочных модулей, разработке методов их испытания в лабораторных и естественных условиях уделяется особое внимание.

В нашей республике с учетом передового зарубежного опыта проводятся комплексные меры, направленные на повышение

---

<sup>1</sup> <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser/country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=ElecConsBySector>

<sup>2</sup> H. Haloui, K. Touafek, and A. Khelifa, "Modeling of a hybrid thermal photovoltaic (PVT) collector based on thin film organic solar cells," *Electric Power Systems Research*, vol. 210, p. 108131, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.EPSR.2022.108131.

<sup>3</sup> Y. El Alami, A. Lamkaddem, R. Bendaoud, S. Talbi, M. louzazni, and E. Baghaz, "Numerical study of a water-based photovoltaic-thermal (PVT) hybrid solar collector with a new heat exchanger," *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 9, p. 100693, Sep. 2024, doi: 10.1016/J.PRIME.2024.100693.

энергоэффективности за счет привлечения имеющихся ресурсов и неиспользованного потенциала, на широкое внедрение энергосберегающих технологий и возобновляемых источников энергии, резкое снижение энергопотребления отраслей экономики и социальной сферы. В Указе Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», определены задачи, направленные на: «...широкое внедрение возобновляемых источников энергии и повышение энергоэффективности в жилищно-коммунальном хозяйстве, на объектах социальной сферы и в других сферах»<sup>4</sup>. При реализации этих задач, в частности, применение фотоэлектрических модулей на основе кадмия теллурида с использованием абсорберов тепла, снижение температуры фотоэлектрических модулей, обеспечение стабильности электрофизических и теплотехнических параметров установок считаются важнейшими задачами научных исследований.

Данное диссертационное исследование в определенной степени соответствует задачам, предусмотренным в Законе Республики Узбекистан № ЗРУ-539 от 21 мая 2019 года «Об использовании возобновляемых источников энергии»<sup>5</sup>, Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-4422 от 22.08.2019г, «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии»<sup>6</sup>, в Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-57 от 16.02.2023г «О мерах по ускорению внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023 году», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в республике.** Исследования по диссертационной работе соответствует приоритетному направлению развития науки и технологий республики: IV. «Развитие методов использования возобновляемых источников энергии, создание технологий и устройств на основе нанотехнологий, фотоники и других передовых технологий».

**Степень изученности проблемы.** Ряд известных зарубежных ученых, в том числе Skoplaki E., J.A.Palyvos, Y. Tripanagnostopoulos (Греция), S.A. Kalogirou (Кипр), Chow T.T., Chan A., Fong K. (Китай), Garg R.K., V.Agrawal, Tiwari G.N.(Индия), H.Haloui, K. Touafek, A. Khelifa (Алжир), Д.С.Стребков, В.В.Харченко, В.В.Кувшинов, П.В.Тихонов (Россия) и

---

<sup>4</sup> Указ Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы».

<sup>5</sup> Закон Республики Узбекистан № ЗРУ-539 от 21 мая 2019 года «Об использовании возобновляемых источников энергии».

<sup>6</sup> Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-4422 от 22.08.2019г, «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии».

другие внесли значительный вклад в решение таких вопросов, как исследование процессов нагрева фотоэлектрических модулей и технологии охлаждения, создание фотоэлектрических тепловых установок.

Научная деятельность выдающихся ученых Узбекистана посвящена решению таких научных задач, как создание комбинированных солнечных установок, фото-тепловых преобразователей и разработке энергоэффективных и энергосберегающих технологий. Из них: Р.А.Муминов, Р.Р.Авезов, Н.Р.Авезова, М.Мирзобоев, М.Н.Турсунов, В.Г.Дыскин, Ж.С.Ахатов, И.А.Юлдошев, А.Комилов. В результате проведенных научных исследований были получены значительные результаты в решении вопросов повышения эффективности работы фотоэлектрических модулей и установок.

Несмотря на значительный успех, научные проблемы, связанные с фотоэлектрическими модулями и фотоэлектрическими тепловыми установками, основанными на тонкопленочных технологиях, в достаточной степени не изучены. В данной диссертационной работе предложены конструкции фотоэлектрических тепловых установок на основе тонкопленочных модулей, позволяющих охлаждать фотоэлектрические модули через теплоноситель с помощью абсорберов для обеспечения стабильной работы фотоэлектрических модулей в условиях жаркого климата, в том числе производить горячую воду с использованием накопленного в них тепла.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательской работы научно-исследовательского учреждения, в котором выполняется диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета и в рамках научно-исследовательских работ фундаментального проекта Ф-ОТ-2021-497 «Разработка научных основ создания солнечных когенерационных установок на основе фотоэлектрических батарей» (2021-2026 гг.).

**Целью исследования** является разработка и создание фотоэлектрической тепловой установки на основе тонкопленочных модулей, приспособленной к условиям жаркого климата и определение энергетических параметров, технико-экономических и экологических показателей.

**Задачи исследования:**

обзор и анализ современного состояния разработок фотоэлектрических тепловых установок;

разработка и исследование конструкций фотоэлектрических тепловых установок на основе тонкопленочных модулей теллурида кадмия и экспериментальные исследования фотоэлектрических модулей кристаллических и тонкопленочных технологий;

разработка математической модели и программы для расчета энергетических параметров фотоэлектрической тепловой установки на основе тонкопленочных модулей теллурида кадмия;

технико-экономическое и экологическое обоснование использования фотоэлектрических тепловых установок на основе тонкопленочных модулей теллурида кадмия.

**Объектом исследования** являются фотоэлектрические модули кристаллических и тонкопленочных технологий, конструкции фотоэлектрических тепловых установок на основе тонкопленочных модулей теллурида кадмия.

**Предметом исследования** являются метеорологические факторы окружающей среды, (солнечная радиация, температура воздуха, скорость ветра и др.), влияющие на выходные энергетические параметры фотоэлектрических модулей и фотоэлектрической тепловой установки.

**Методы исследования:** В диссертационной работе были использованы: математическое моделирование, численные методы, методы экспериментального исследования, экономической оценки, сравнительного анализа, а также современные методы в обработке результатов.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

создана конструкция фотоэлектрической тепловой батареи на основе изготовленного из современных композитных материалов теплообменника, прикрепленного к тонкопленочному модулю теллурида кадмия;

усовершенствована математическая модель для комбинированной конструкции теплообменника вида «лист-труба», прикрепленного к тонкопленочному модулю теллурида кадмия, определяющая на основе уравнений теплового баланса энергетические параметры фотоэлектрической тепловой установки в зависимости от факторов окружающей среды;

разработанные конструкции фотоэлектрической тепловой установки на основе тонкопленочных модулей теллурида кадмия и теплообменников создали возможность увеличения коэффициента использования установленной мощности фотоэлектрических модулей на 1,9 процент.

выявлено увеличение электрической эффективности на 1,7-2,5 процента, электрической мощности на 8-10,3 процента за счет снижения рабочей температуры модуля на основе теллурида кадмия на 8,6-21,5 процента с помощью разработанной фотоэлектрической тепловой установки с принудительной циркуляцией воды в условиях жаркого климата.

**Практические результаты исследования** заключаются следующем:

на основе тонкопленочных модулей из теллурида кадмия разработаны и созданы конструкции фотоэлектрической тепловой установки;

на основе тонкопленочных модулей из теллурида кадмия разработана принципиальная схема использования фотоэлектрической тепловой установки в качестве первичного источника тепла для системы горячего водоснабжения;

для нужд населения и фермерских хозяйств разработана автономная фотоэлектрическая тепловая установка на основе тонкопленочных модулей из теллурида кадмия с регулируемым тепловыми режимами, особенно для использования в районах, удаленных от централизованного электро- и теплоснабжения.

**Достоверность результатов исследований** подтверждается адекватностью результатов экспериментальных исследований и расчетов моделирования, их сходимостью, применением современных измерительных приборов для экспериментальных исследований, результатами повторных многочисленных экспериментов.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость исследования заключается в получении результатов энергетических параметров фотоэлектрических модулей кристаллических и тонкопленочных технологий и фотоэлектрических тепловых установок на основе тонкопленочных модулей в условиях жаркого климата

Практическая значимость результатов исследований объясняется обеспечением в условиях жаркого климата за счет охлаждения стабильной и эффективной работы фотоэлектрических модулей, производством горячей воды с использованием накопленного тепла, а также разработкой и созданием конструкций фотоэлектрической тепловой установки на основе тонкопленочных модулей из теллурида кадмия, которые позволяют одновременно обеспечивать электроэнергией и горячей водой население, проживающего в отдаленных и труднодоступных районах и хозяйств, расположенных вдали от централизованного электроснабжения и теплоснабжения.

**Внедрение результатов исследования.** На основе научных результатов, полученных при разработке и создании фотоэлектрической тепловой установки на основе тонкопленочных модулей в условиях жаркого климата:

получен патент на полезную модель Центра интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на конструкцию фотоэлектрической тепловой батареи на основе теплообменника из композитного материала, прикрепленного к тонкопленочному модулю из теллурида кадмия (фотоэлектрическая тепловая батарея, FAP 2455, 04.04.2024). В результате создана возможность увеличить электрическую мощность фотоэлектрического модуля на 8% и эффективность на 1,7% в условиях жаркого климата;

усовершенствованная конструкция фотоэлектрической тепловой установки на основе тонкопленочного модуля из теллурида кадмия внедрена в фермерском хозяйстве «Vohidjon Fayziyev» Алатского района Бухарской области (справка Совета фермеров, дехканских хозяйств и приусадебных землевладельцев Узбекистана от 26.12.2023 № 01/03-2658). В результате за счет эффективного использования фотоэлектрической тепловой установки годовая экономическая эффективность составила 25 млн.сум. Созданные установки позволили обеспечить электричеством и горячей водой фермерские и дехканские хозяйства, индивидуальные сельские жилые дома, их хозяйственные нужды.

фотоэлектрическая тепловая установка с принудительной циркуляцией воды на основе теллурида кадмия внедрена в ООО «Solar Nature»

ассоциации «Uzeltexsanoat» (справка ассоциации «Uzeltexsanoat» № 04-3/150 от 01.02.2024г., №4). В результате фотоэлектрическая тепловая установка с установленной мощностью электрической энергии 1,2 кВт и установленной мощностью тепловой энергии 2,17 кВт за счет экономии в год 2,236 млн.сум угольных топливных ресурсов и предотвращения выбросов 17,3 тонны CO<sub>2</sub>, а также суммарной выработки энергии на 2,8 млн.сум, за период эксплуатации позволила получить 133,6 млн.сум чистой прибыли. Результаты диссертационной работы создали возможность проводить научно-исследовательские работы по энергосберегающим технологическим установкам на предприятиях, принадлежащих ассоциации.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования обсуждались на 6 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях и семинарах.

**Публикация результатов исследования.** По результатам исследований опубликованы всего 23 научные работы, из них 1 монография, 1 патент на полезную модель, 7 научных статей, в том числе 1 в зарубежных и 5 в республиканских научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации доктора философии (PhD), 1 в журнале, входящем в ОАК России, 2 в сборниках, входящих в Scopus базу, 10 опубликованы в материалах международных и республиканских конференций и семинарах. Получены 2 свидетельства на программные продукты для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка опубликованных работ, использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновываются актуальность, необходимость проведенного исследования, цели и задачи исследования, описываются объект и предмет исследования, указывается соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники в республике, описываются научная новизна и практические результаты исследования, научно-практическая значимость полученных результатов, сведения о внедрении результатов исследования, об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, под названием **«Анализ современного состояния разработок по фотоэлектрическим тепловым установкам»**, представлены анализ влияния факторов окружающей среды на энергетические параметры фотоэлектрических модулей (ФЭМ) и способы их охлаждения. В результате анализа научно-технической литературы были сформулированы цель и задачи исследования. Учитывая малоизученность модулей тонкопленочных технологий, поставлены задачи для разработки и создания фотоэлектрических тепловых установок на основе тонкопленочных модулей и проведения исследований в условиях жаркого климата.

Во второй главе диссертации, озаглавленной **«Экспериментальные исследования фотоэлектрических модулей разных типов и фотоэлектрических тепловых установок на основе тонкопленочных модулей теллурида кадмия»**, представлены результаты исследований, проведенных в естественных условиях окружающей среды.

С целью изучения влияния температуры нагрева в жарких условиях климата на энергетические показатели ФЭМ разных типов с июля по октябрь месяцы 2021 года на гелиополигоне кафедры “АИЭ” ТГТУ проведены многочисленные экспериментальные исследования (рис.1).



Рис.1. Разные типы ФЭМ

Паспортные данные ФЭМ, по условиям тестирования STC, приведены в табл.1.

Таблица 1

## Паспортные данные ФЭМ (STC, 1000 Вт/м<sup>2</sup>, AM1.5, 25<sup>0</sup>C)

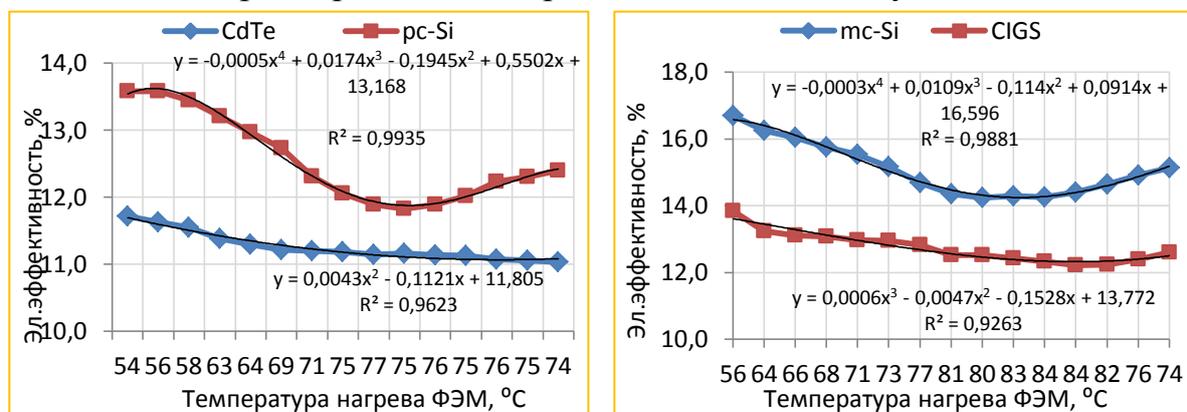
Характеристики ФЭМ	Типы ФЭМ			
	mc-Si Sky(AR) 290W	pc-Si ODA50- 18-P 50W	CIGS SC-50MDF 48W	CdTe ASP-S1-90
Площадь модулей, S <sub>м</sub> , м <sup>2</sup>	1,56	0,72	0,65	0,35
Номинальная мощность, P <sub>н</sub> , Вт	290	50	48	90
Эффективность, η <sub>stc</sub> , %	19	15,6	16	12,5
Температурный коэффициент P <sub>н</sub> , γ, %/ <sup>0</sup> C	-0,45	-0,44	-0,38	-0,214

Эффективность фотоэлектрического модуля в зависимости от температурного фактора можно рассчитать по следующей формуле.

$$\eta_{\text{фЭМ}} = \eta_{\text{stc}} \cdot [1 - \gamma(T_{\text{фЭМ}} - T_{\text{stc}})] \quad (1)$$

В этой формуле η<sub>stc</sub> – номинальная эффективность (кпд) модуля по STC, при температуре модуля T<sub>stc</sub> 25<sup>0</sup>C и при W<sub>stc</sub> плотности потока солнечной радиации, равной 1000 Вт/м<sup>2</sup>. γ – температурный коэффициент модуля по мощности, T<sub>stc</sub> – температура фотоэлектрического модуля по STC. Значения перечисленных параметров для расчетов взяты из табл. 1. T<sub>фЭМ</sub> – температура фотоэлектрического модуля, <sup>0</sup>C, в расчетах использованы экспериментально измеренные данные.

По формуле (1) были рассчитаны значения эффективностей ФЭМ, изменение которых приведены на рис. 2, для соответствующих типов ФЭМ.

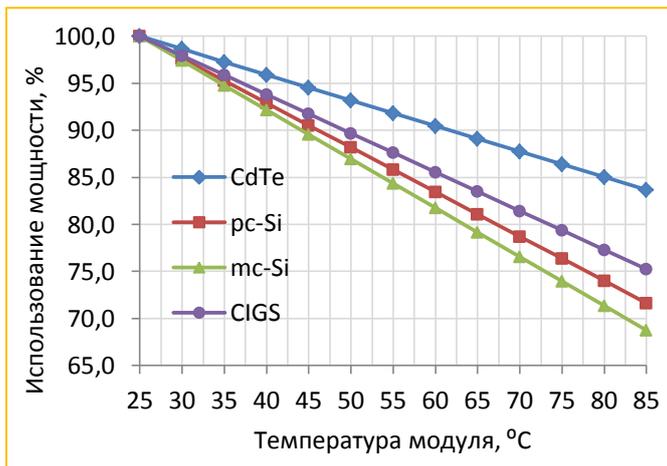


**Рис. 2. График зависимости эффективностей ФЭМ от рабочей температуры**

Электрическую мощность ФЭМ можно подсчитать по следующей формуле.

$$P_{\text{фЭМ}} = \eta_{\text{stc}} \cdot [1 - \gamma(T_{\text{фЭМ}} - T_{\text{stc}})] \cdot W \cdot S_{\text{м}} \quad (2)$$

По формуле (2) были рассчитаны значения мощностей ФЭМ разных технологий и по которым построены графики использования мощностей в зависимости от температуры ФЭМ (рис.3).



**Рис.3. Зависимости использования мощностей разных типов ФЭМ от температуры**

На рис.3 приведены расчетные потери мощностей по разным типам ФЭМ в зависимости от температуры нагрева относительно номинального значения мощности каждого типа ФЭМ. При температуре ФЭМ 85°С, потери мощности соответственно составили следующие значения :

**mc-Si - 31%, pc-Si - 28%, CIGS – 25%, CdTe – 16%.**

По экспериментальным данным влияния температуры нагрева модулей были определены значения фактических температурных коэффициентов модулей по мощности, а также относительное снижение показателей эффективности и мощности фотоэлектрических модулей различных технологий в натуральных условиях, согласно которым

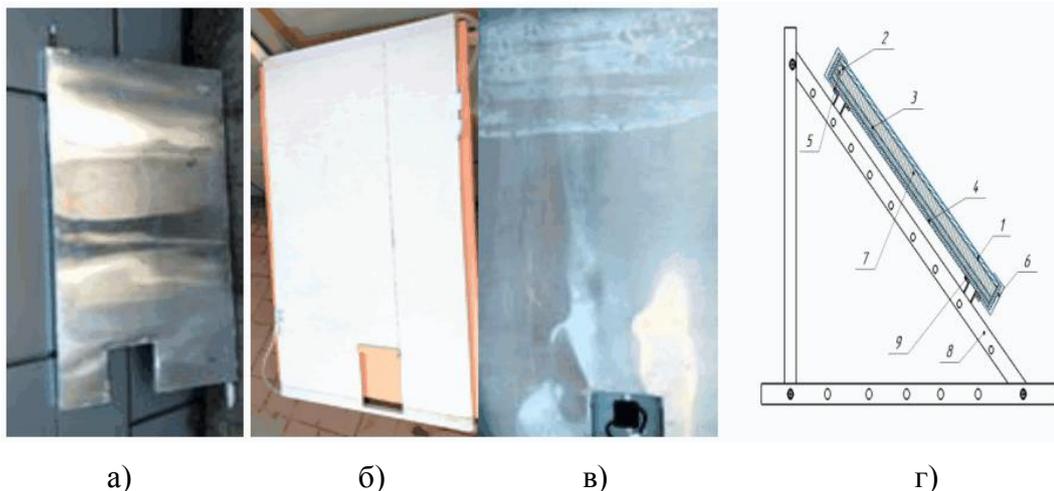
температурные коэффициенты:

**mc-Si-0,521, pc-Si-0,473, CIGS – 0,413, CdTe-0,272 - (%/°C).**

относительное снижение эффективности

**mc-Si – 14 %, pc-Si – 13 %, CIGS – 11 %, CdTe – 6 %,**

для разработки ФЭТУ различных конструкций созданы теплообменники (ТО), прикрепленные к тонкопленочным модулям (рис.4).



**Рис.4. Виды теплообменников:**

- а) ТО типа комбинации металлов «лист-труба»; б) ТО типа «композитная панель» из композитных материалов; в) ТО типа «алюминиевый радиатор»; г) крепление ФЭТБ к опорной конструкции.**

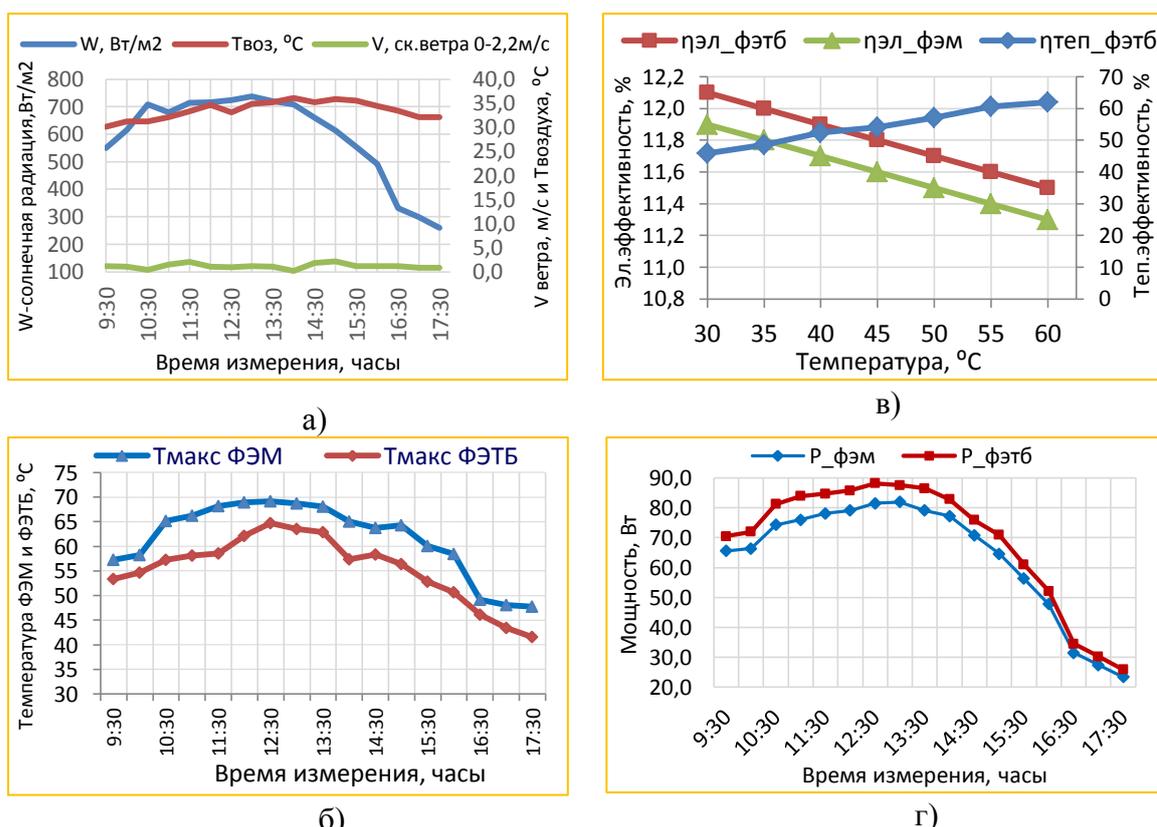
Установки ФЭТУ и ФЭМ были испытаны проведением многочисленных экспериментов в период с апреля по сентябрь 2022-2023

годов и измерены факторы окружающей среды, электрические и тепловые параметры (рис.5).



**Рис.5. Общий вид экспериментальных установок ФЭТУ и ФЭМ и ход проведения измерений параметров**

На рис.6 приведены результаты экспериментальных исследований ФЭМ и ФЭТУ с теплообменником (ТО) типа «композитная панель» на основе композитных материалов.



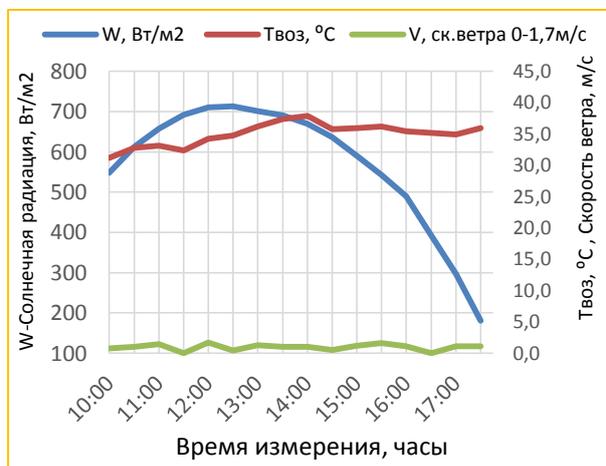
**Рис.6. Графики изменения параметров :а)графики внешних факторов, б)графики температуры ФЭМ и ФЭТУ, в)графики электрической мощности ФЭМ и ФЭТУ, г) графики электрической и тепловой эффективности.**

Изменение параметров ФЭТУ:  
 Увеличение мощности Рэл - 8%;  
 Снижение температуры -8,6%;  
 Увеличение эл. эффективности - 1,7%;  
 Тепл.эффективность - 54,4%.

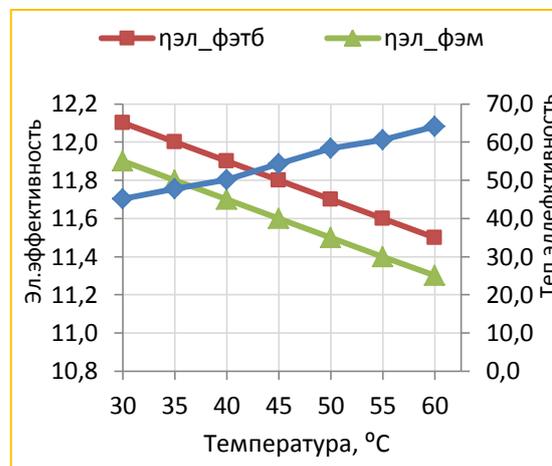
На рис.6 представлены экспериментальные данные за 04.08.2022г., за световой день произведен 121 литр нагретой воды, средняя температура

39,5<sup>0</sup>С. За счет охлаждения ФЭМ на основе CdTe электрическая эффективность увеличена на 1,7%. Средняя эффективность: тепловая 54,6%, электрическая - 11,8. Температура ФЭМ снижена на 5<sup>0</sup>С, мощность увеличена на 4,8 Вт или 8,0%.

На рис.7 приведены результаты исследований ФЭТУ и ФЭМ с теплообменником (ТО) типа «алюминиевый радиатор».



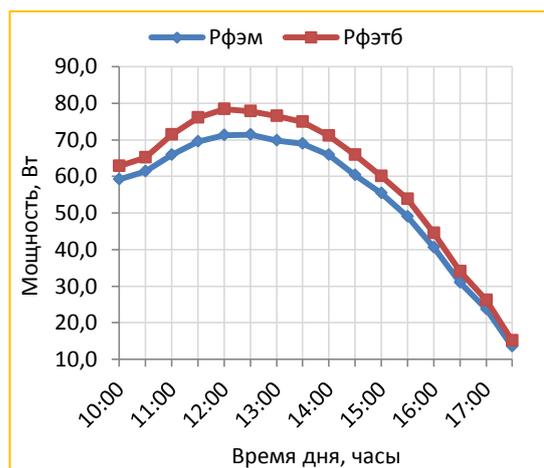
а)



в)



б)



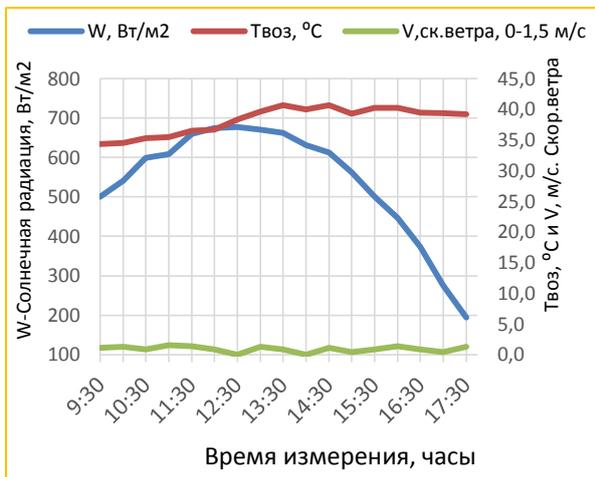
г)

Изменения параметров ФЭТУ:  
 Увеличение мощности Рэл -8,5 %;  
 Снижение температуры -21,5 %;  
 Увеличение эл. эффективности - 1,7%;  
 Тепл.эффективность - 55%

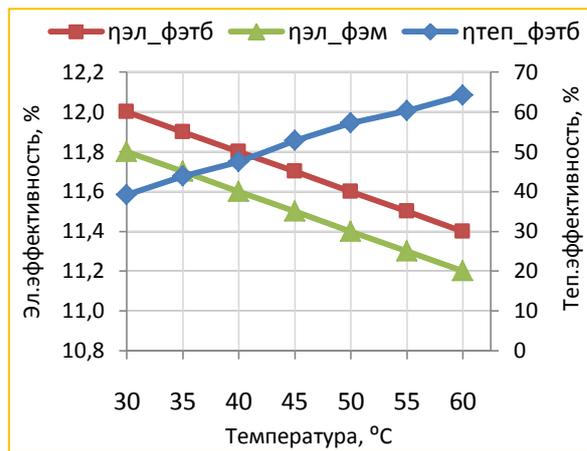
**Рис.7. Графики изменения параметров: а)графики внешних факторов, б)графики температуры ФЭМ и ФЭТУ, в)графики электрической мощности ФЭМ и ФЭТУ, г) графики электрической и тепловой эффективности.**

Экспериментальные данные представлены за 06.08.2022г., за световой день произведены 134 литра нагретой воды, средняя температура 39,5<sup>0</sup>С. За счет охлаждения модуля электрическая эффективность увеличена на 1,7%. Средняя эффективность: тепловая 55%, электрическая - 11,8%. Температура ФЭМ снижена на 13,8<sup>0</sup>С, мощность увеличена на 5 Вт или 8,5%.

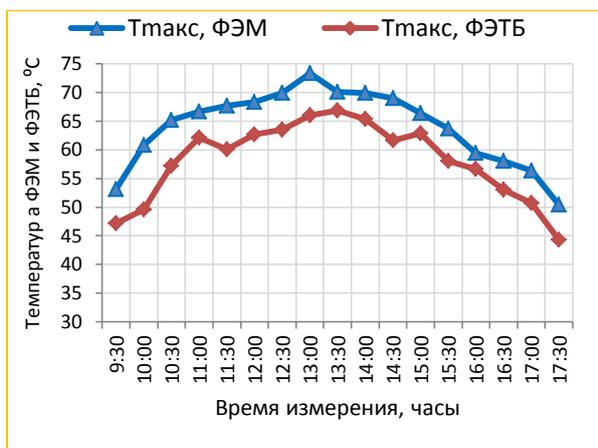
На рис.8 приведены результаты исследований ФЭТУ и ФЭМ с теплообменником (ТО) типа «лист-труба».



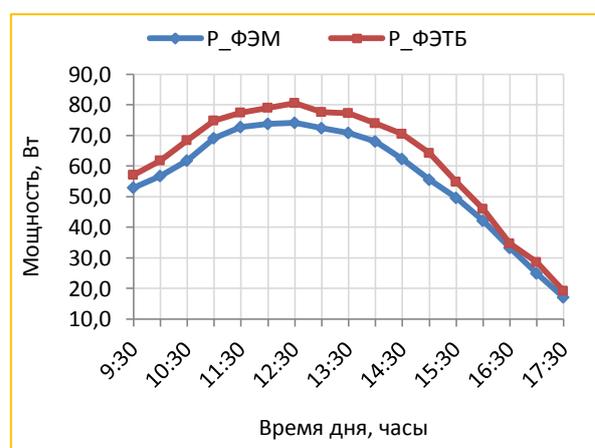
а)



в)



б)



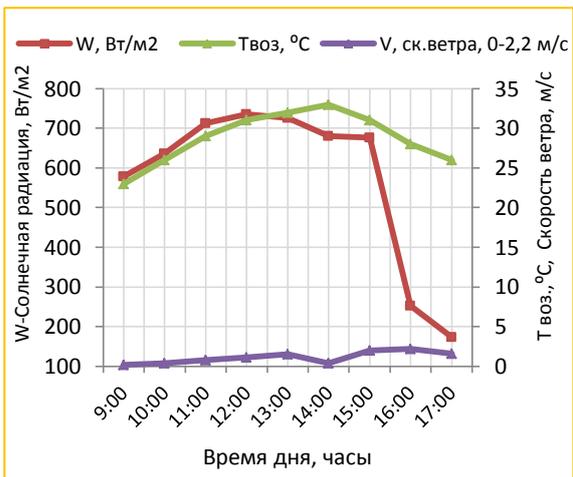
г)

**Рис. 8. Графики изменения параметров:**  
**а)графики внешних факторов,**  
**б)графики температуры ФЭМ и ФЭТУ,**  
**в)графики электрической мощности ФЭМ и ФЭТУ, г) графики электрической и тепловой эффективности.**

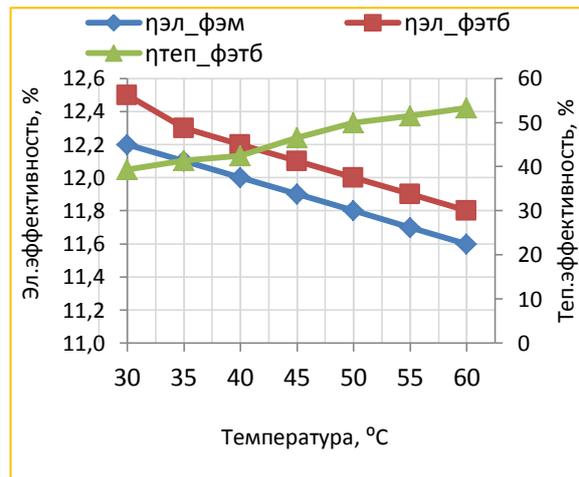
Изменения параметров ФЭТУ:  
 Увеличение мощности Рэл -10,3%;  
 Снижение температуры -10,1%;  
 Увеличение эл.эффективности -2,1%;  
 Тепл.эффективность – 56,4%.

На рис.8 представлены экспериментальные данные за 27.07.2022г., за световой день произведено 122 литра нагретой воды средней температуры 39,5<sup>0</sup>C. За счет охлаждения модуля электрическая эффективность увеличена на 2,1%. Средняя эффективность: тепловая 56,4%, электрическая - 11,7%. Температура ФЭМ снижена на 6,3<sup>0</sup>C, мощность увеличена на 5,3Вт или 10,3%.

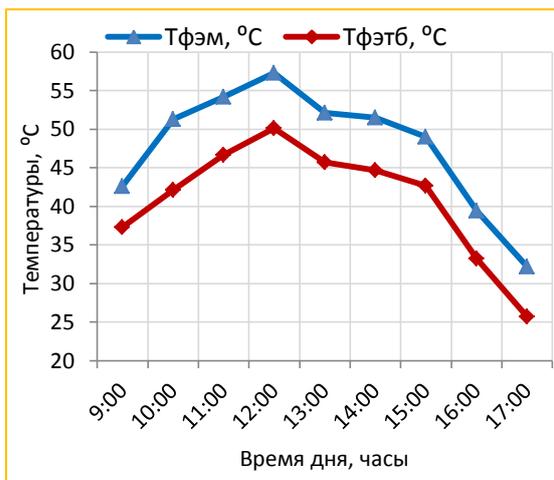
На рис.9 приведены результаты исследований ФЭТУ и ФЭМ с теплообменником типа «лист-труба» в апреле месяце весеннего сезона.



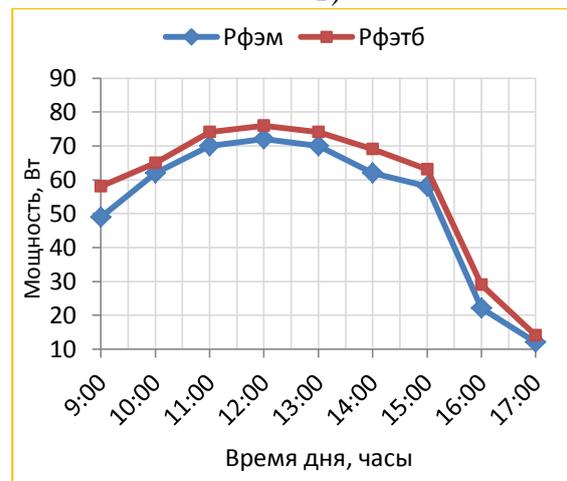
а)



в)



б)



г)

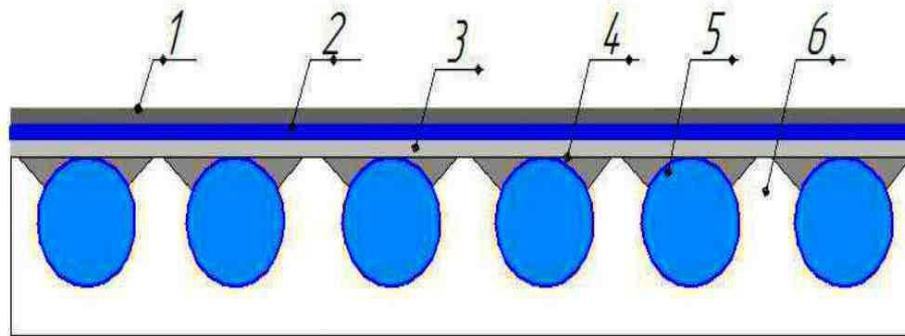
**Рис.9. Графики изменения параметров:**  
**а) графики внешних факторов, б) графики температуры ФЭМ и ФЭТУ, в) графики электрической мощности ФЭМ и ФЭТУ, г) графики электрической и тепловой эффективности.**

Изменения параметров ФЭТУ:  
 Увеличение мощности Рэл -9,4%;  
 Снижение температуры -12,2%;  
 Увеличение эл.эффективности -2,5%;  
 Тепл.эффективность -46,4%.

На рис.9 представлены экспериментальные данные за 28.04.2023г., за световой день выработано 68 литров горячей воды средней температуры 40,5<sup>0</sup>С. За счет охлаждения модуля электрическая эффективность увеличена на 2,5%. Средняя эффективность: тепловая 46,4%, электрическая - 12,1%. Температура ФЭМ снижена на 5,3<sup>0</sup>С, мощность увеличена на 5 Вт или 9,4%.

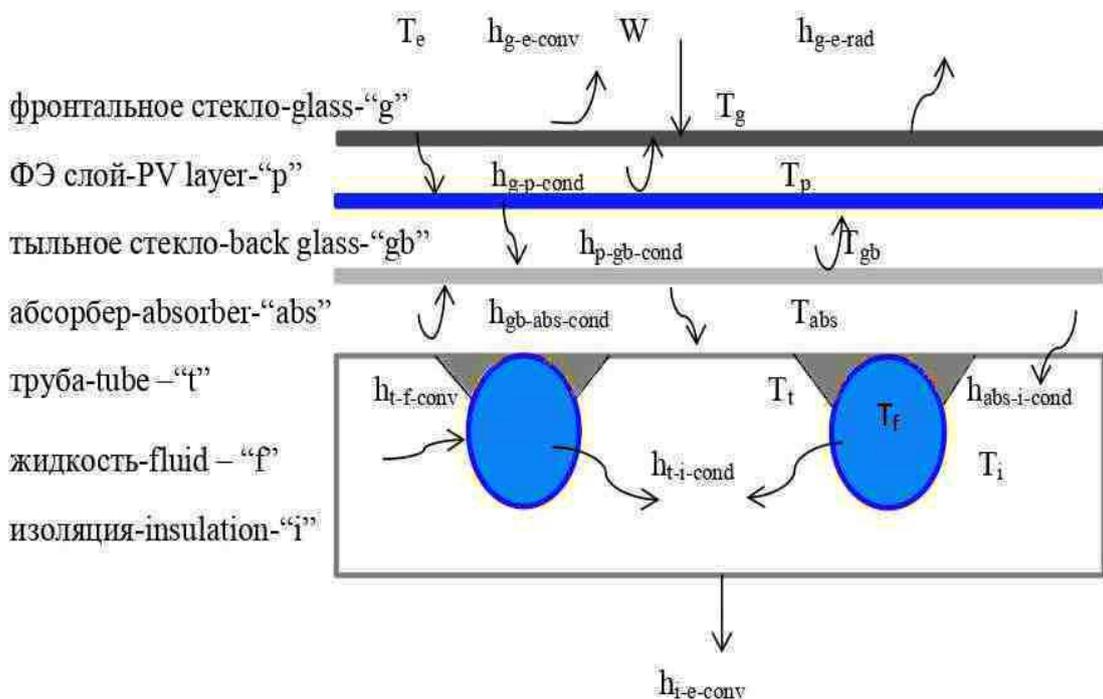
В третьей главе диссертации, озаглавленной «**Моделирование фотоэлектрической тепловой установки на основе тонкопленочной модули теллурида кадмия**», разработана математическая модель фотоэлектрической тепловой батареи вида «лист-труба». Для составления математической модели, уравнений тепловых балансов по каждому элементу установки была построена схема теплообменных процессов. По модели составлена программа на алгоритмическом языке Python и

соответствующие уравнения решены численным методом итерации Гаусса-Зейделя (рис.10).



а)

1-фронтальное стекло ФЭМ, 2-ФЭ слой, 3-тыльное стекло ФЭМ, 4-абсорбер, 5-теплообменная труба с теплоносителем, 6-изоляционный слой



б)

Рис.10.(а)-Схема поперечного сечения ФЭТУ конструкции «лист-труба», (б)-Схема коэффициентов теплопередачи в слоях ФЭТУ по конструкции «лист-труба» в разрезе

#### Наименование обозначений коэффициентов теплопередачи:

$h_{g\_e\_conv}$  – коэффициент конвективной теплоотдачи от переднего стекла к окружающей среде;  $h_{g\_e\_rad}$  – коэффициент радиационной теплопередачи между передним стеклом и окружающей средой;  $h_{g\_p\_cond}$  – коэффициент теплопередачи между передним стеклом и фотоэлектрическим слоем;  $h_{p\_gb\_cond}$  – коэффициент теплопередачи между фотоэлектрическим слоем и тыльным стеклом;  $h_{gb\_abs\_cond}$  – коэффициент теплопередачи между тыльным стеклом и абсорбером;  $h_{abs\_i\_cond}$  – коэффициент теплопередачи между абсорбером и изоляцией;  $h_{t\_f\_conv}$  – коэффициент конвективной теплопередачи между трубой и жидкостью;  $h_{t\_i\_cond}$  – коэффициент теплопередачи между абсорбером и изоляцией;  $h_{i\_e\_conv}$  – коэффициент конвекции между изоляцией и окружающей средой;  $W$  – плотность потока солнечной радиации, падающей на поверхность стекла;  $T_e$  – температура окружающей среды;  $T_g$  – температура переднего

стекла;  $T_p$  - температура фотоэлектрического слоя;  $T_{gb}$  - температура тыльного стекла;  $T_{abs}$  - температура абсорбера;  $T_t$  - температура трубы;  $T_f$  - температура жидкости;  $T_i$  - температура изоляции;  $T_{sky}$  - эквивалентная радиационная температура небосвода.

На основе схемы теплообмена, приведенной на рис.10, для всех слоев составлены следующие уравнения тепловых балансов.

Для ФЭ слоя и фронтального стекла ФЭМ:

$$M_g c_g \frac{dT_g}{dt} = h_{g-e-conv} S_g (T_e - T_g) + h_{g-e-rad} S_g (T_{sky} - T_g) + h_{g-p-cond} S_g (T_p - T_g) + S_g \alpha_g W \quad (3)$$

Для ФЭ слоя и тыльного стекла:

$$M_p c_p \frac{dT_p}{dt} = h_{p-g-cond} S_p (T_g - T_p) + h_{p-gb-cond} S_{gb} (T_{gb} - T_p) + (\alpha\tau)_p \cdot S_p \cdot W (1 - \eta_{el}) \quad (4)$$

Для тыльного стекла и абсорбера:

$$M_{gb} c_{gb} \frac{dT_{gb}}{dt} = h_{gb-p-cond} S_{gb} (T_p - T_{gb}) + h_{gb-abs-cond} S_{gb} (T_{abs} - T_{gb}) \quad (5)$$

Для абсорбера и трубы:

$$M_{abs} c_{abs} \frac{dT_{abs}}{dt} = h_{abs-t-cond} S_{abs-t} (T_t - T_{abs}) + h_{abs-i-cond} S_{abs-i} (T_a - T_{abs}) + h_{abs-gb-cond} S_{abs} (T_{gb} - T_{abs}) \quad (6)$$

Для трубы и жидкостью теплоносителем:

$$M_t c_t \frac{dT_t}{dt} = h_{t-f-conv} S_{t_{int}} (T_f - T_t) + h_{t-abs-cond} S_{abs-t} (T_{abs} - T_t) + h_{t-i-cond} S_{t_i} (T_i - T_t) \quad (7)$$

Для жидкости теплоносителя:

$$M_f c_f \frac{dT_f}{dt} = h_{t-f-conv} S_{t_{int}} (T_t - T_f) - \dot{m}_f c_f (T_{f_{out}} - T_{f_{in}}) \quad (8)$$

Для изоляционного слоя:

$$M_i c_i \frac{dT_i}{dt} = h_{abs-i-cond} S_i (T_{abs} - T_i) + h_{t-i-cond} S_{t_i} (T_t - T_i) + h_{i-e-conv} S_i (T_e - T_i) \quad (9)$$

Электрическая эффективность:

$$\eta_{el} = \eta_{stc} [1 - \beta_p (T_p - T_{stc})] \quad (10)$$

Электрическая мощность:

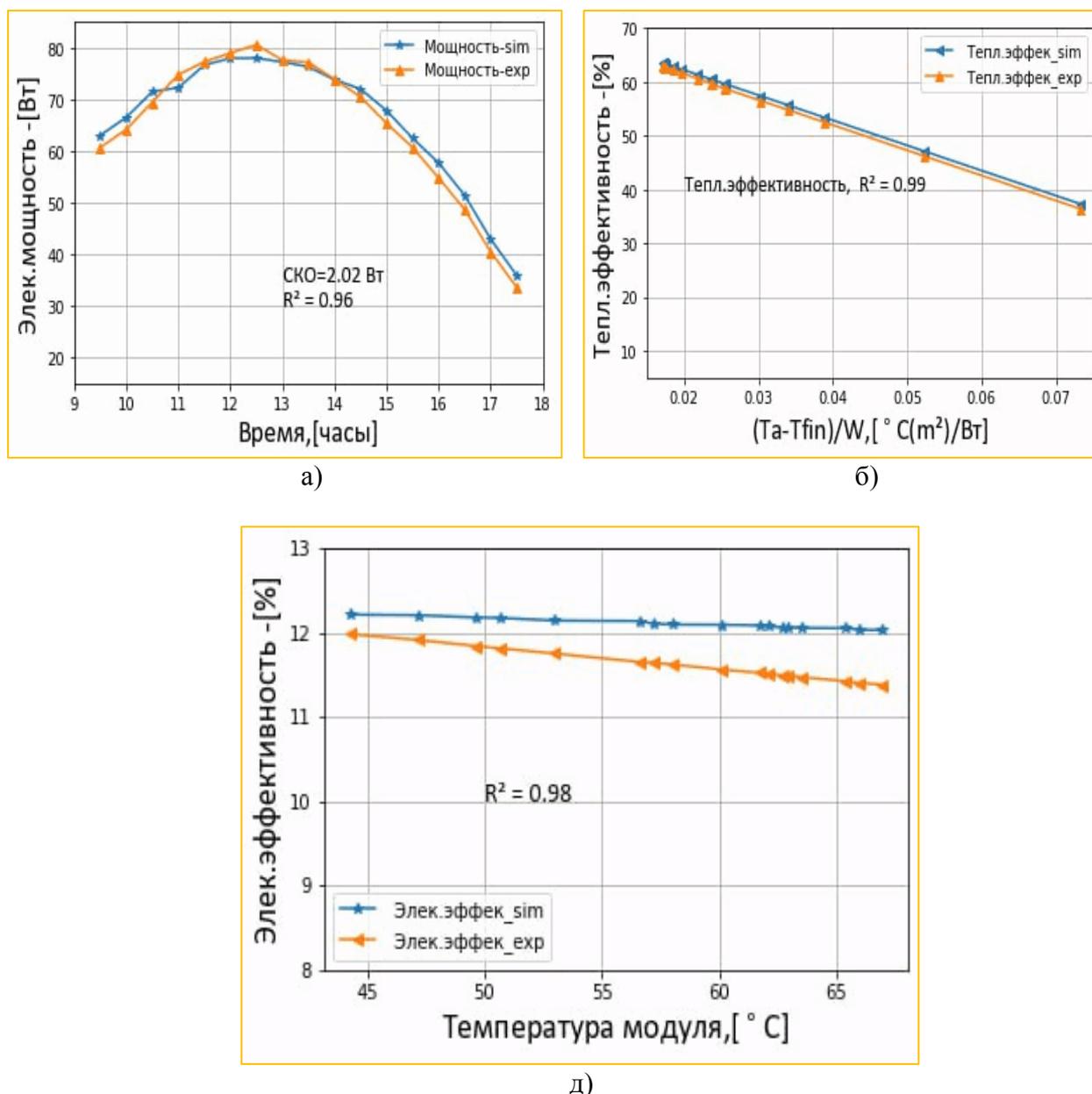
$$P_{el} = \eta_{el} \cdot W \cdot S_{pvtb} \quad (11)$$

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}_f c_f (T_{f_{out}} - T_{f_{in}})}{S_{pvtb} W} \quad (12)$$

Дифференциальные уравнения (3)-(9) были решены методом конечных разностей с учетом начальных и граничных условий и составлены алгебраические уравнения для определения температуры всех слоев. Электрическая мощность, электрическая и тепловая эффективности установки опеределены по формулам (10)-(12).

Результаты сравнения расчетных значений мощности, электрической и тепловой эффективности, полученных моделированием, были сопоставлены с результатами экспериментальных данных и приведены на рис.11 в виде

графиков. Для проверки и подтверждения адекватности разработанной модели были оценены коэффициент детерминации  $R^2$  и СКО, основанных на расчетах с использованием методов «оценки согласия и стандартного отклонения (СКО)».

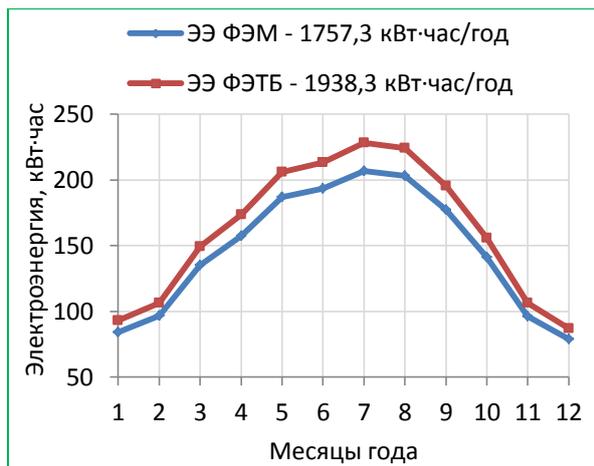


**Рис.11. Сравнения результатов моделирования и экспериментов: а) сравнение электрической мощности, б) сравнение тепловой эффективности, в) сравнение электрической мощности**

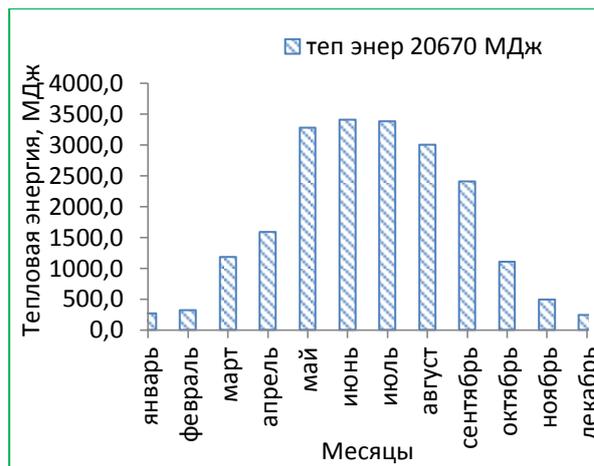
Среднеквадратичное отклонение (СКО) электрической мощности ФЭТУ, определенных экспериментально и расчетным путем, составляет 2,02 Вт или 6,2%. Коэффициент детерминации  $R^2$  составляет 0,96. Коэффициент детерминации  $R^2$  по ФЭ слою и воде составили 0,88, по электрической эффективности 0,88, тепловой эффективности 0,99.

Четвертая глава диссертации под названием «Технико-экономическое обоснование эффективности использования фотоэлектрических тепловых установок на основе тонкопленочных

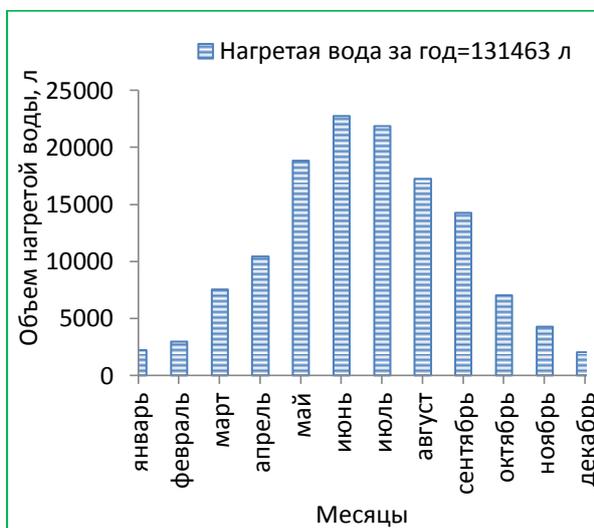
модулей теллурида кадмия» посвящена исследованию технологических схем ФЭТУ для производства электрической энергии и горячей воды. Разработан алгоритм для автоматического регулирования процесса охлаждения модулей и производства горячей воды. Также приведены технико-экономические, экологические расчеты и оценка экономической эффективности. А также приведены годовые объемы производства электрической и тепловой энергии, нагретой воды ФЭТУ с номинальной электрической мощностью 1,2 кВт и тепловой мощностью 2,17 кВт для энергоснабжения и горячего водоснабжения индивидуального домовладения (рис.12).



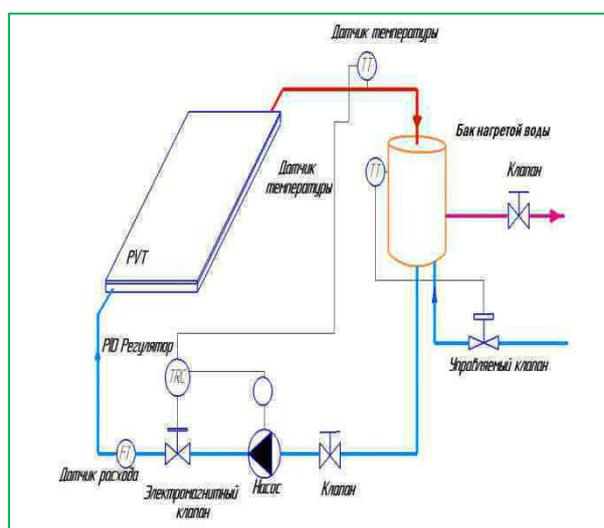
а)



б)



в)



г)

**Рис.12. Технические показатели ФЭТУ и схема производства нагретой воды:**  
а) электроэнергия, б) полезная тепловая энергия,  
в) нагретая вода, г) схема производства нагретой воды.

Разработанная конструкция ФЭТУ обеспечивает экономию углеводородных топливных ресурсов и экологическую чистоту атмосферы следующим образом: экономия природного газа на сумму 1,74 млн.сум и предотвращение 2,1 тн выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу или угля на сумму 2,24 млн.сум и предотвращение 17,3 тн выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу.

В данной главе также проведена оценка прогнозных энергетических параметров разработанной ФЭТУ и фотоэлектрических модулей в составе фотоэлектрических батарей (ФЭБ) симуляцией на программном пакете **PV Syst.V7.4.8**. На основе прогнозных данных ФЭБ теллурида кадмия  $K_{и}$  - коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) для ФЭБ номинальной мощности 1,2 кВт рассчитаем по следующей формуле.

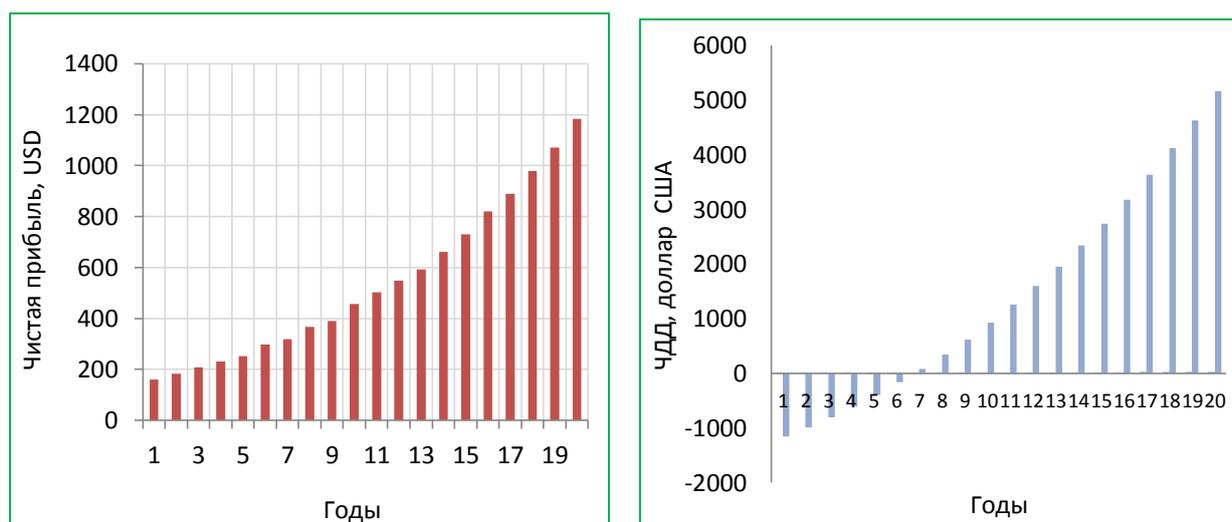
$$K_{и} = \frac{E_{ппр}}{P_{н} \cdot t_{г}} \quad (13)$$

$E_{ппр}$  - годовой показатель произведенной электроэнергии, кВт·час,  $P_{н}$ - номинальная мощность ФЭБ 1,2 кВт·час  $t_{г}$  - время в течение года, 8760 час. С учетом основных потерь энергии на температурный нагрев, загрязнение поверхности ФЭБ, годовая выработка энергии составила 1781 кВт·час. С учетом коэффициента работы и потерь энергии 1484 кВт·час. тогда  $K_{и}$  для ФЭБ,  $K_{и\_фэб} = 0,141$ .

За счет охлаждения модулей ФЭБ для фотоэлектрической тепловой установки (ФЭТУ) годовая выработка электроэнергии составила 1938 кВт·час, с учетом коэффициента работы  $K_{и}$  для ФЭБ ФЭТУ составляет 1682 кВт·час,  $K_{и\_фэту} = 0,160$ .

Таким образом, КИУМ ФЭТУ за счет охлаждения принудительной циркуляцией воды модулей ФЭБ оказался на 1,9 % выше, чем не охлаждаемые модули ФЭБ.

В данной главе также приведены расчеты чистой прибыли (ЧП) и чистого дисконтированного дохода (ЧДД) получаемого от использования ФЭТУ со сметной стоимостью 1314 долларов США за 20 лет инвестиционного периода (рис.13).



а)

б)

Рис.14. (а) График изменения ЧП; (б) График изменения ЧДД и срок окупаемости установки

Начиная с 7 года проекта, получаем ЧДД в сумме 76,9 USD, срок окупаемости данного проекта составляет 7 лет. За расчетный период чистая прибыль (ЧП) составляет 10839 USD (по курсу на дату расчета 12.12.2023г, 12325 сум за 1 USD-133,6 млн. сум), ЧДД 5164,5 USD (63,7 млн. сум).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований по диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам на тему «Создание фотоэлектрической тепловой установки на основе тонкопленочных модулей в условиях жаркого климата» представлены следующие выводы:

1. В результате патентных исследований была создана фотоэлектрическая тепловая батарея на основе теплообменника изготовленного из композитных материалов, прикрепленного к тонкопленочному модулю из теллурида кадмия (Фотоэлектрическая тепловая батарея, FAP 2455, 04.04.2024 год). В результате, электрическая эффективность фотоэлектрического модуля увеличена на 1,7 процентов, электрическая мощность на 8,0 процентов.

2. Разработаны конструкции фотоэлектрической тепловой установки на основе тонкопленочных модулей и теплообменников типа «лист-труба», «композитная панель», «алюминиевый радиатор». В результате, коэффициент использования установленной мощности фотоэлектрических модулей увеличен на 1,9 процентов.

3. Разработаны : схема теплообменных процессов, математическая модель и компьютерная программа для определения энергетических параметров фотоэлектрической тепловой установки в зависимости от факторов окружающей среды на основе уравнений тепловых балансов. Адекватность модели оценивалась методами «среднеквадратичного отклонения (СКО) и коэффициента детерминации». В результате, квадратичное отклонение по электрической мощности 2,02 Вт или 6,2 процента, коэффициенты детерминации по эффективности и температурам опеределены в пределах 0,88-0,99.

4. Созданные на основе тонкоплёночных модулей фотоэлектрические тепловые установки и фотоэлектрические модули на основе теллурида кадмия экспериментальными исследованиями испытаны в естественных условиях окружающей среды. В результате, за счет снижения температуры охлаждаемых модулей в пределах 8,6-21,5 процентов посредством фотоэлектрических тепловых установок с принудительной циркуляцией воды, определено увеличение электрической эффективности в пределах 1,7-2,5 процента, электрической мощности в пределах 8,0 – 10,3 процента.

5. В естественных климатических условиях экспериментально изучены фотоэлектрические модули на основе кристаллических и тонкоплёночных технологий. В результате, определены значения температурных коэффициентов модулей по эффективности mc-Si–0,10, pc-Si–0,09, CIGS–

0,06, CdTe–0,03 (%/°C), по мощности mc-Si-0,521, pc-Si-0,473, CIGS–0,413, CdTe–0,272-(%/°C).

6. За счет использования разработанной ФЭТУ с номинальной электрической мощностью 1,2 кВт, тепловой мощностью 2,17 кВт создана возможность экономии природного топливного ресурса на 2,236 млн.сум и снижения 17,3 тн выбросов выхлопного газа CO<sub>2</sub> в год. В результате, за 20 лет инвестиционного периода экономическая эффективность составляет 133,6 млн.сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING DEGREE OF DOCTOR OF  
SCIENCE DSc.03/10.12.2019.T.03.03 AT TASHKENT STATE  
TECHNICAL UNIVERSITY NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY  
NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

**JURAEV ISLOM RAKHMATOVICH**

**CREATION OF A PHOTOVOLTAIC THERMAL INSTALLATION  
BASED ON THIN-FILM MODULES IN A HOT CLIMATE**

**05.05.06 – Power plants based on renewable energy**

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

**Tashkent – 2024**

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science, and Innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2021.1.PhD/T2108.

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian and english (resume)) on the website ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) and on the website of "ZiyoNet" Information and education portal ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Academic leader:** Yuldoshev Isroil Abrievich  
Doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:** Urishev Bobaraim  
Doctor of technical sciences, professor

Akhatov Jasurjon Saidovich  
Doctor of technical sciences, senior researcher

**Leading organization:** JSC "Heat electric project"

The defense of dissertation will take place on "\_\_\_" \_\_\_ 2024 at \_\_\_ o'clock at a meeting of the Scientific council No. DSc.03/10.12.2019.T.03.03 under Tashkent State Technical University named after Islam Karimov. Address: 100095, Tashkent, Universitet st., 2. Tel./fax: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32, e-mail: [tsu\\_info@tdtu.uz](mailto:tsu_info@tdtu.uz).

The doctoral dissertation can be reviewed at the Information-resource center of Tashkent State Technical University named after Islam Karimov (is registered number No \_\_\_). Address: 100095, Tashkent, Universitet st., 2. Tel.: (99871) 227-03-41.

Abstract of the dissertation sent out on "\_\_\_" \_\_\_ 2024

(Protocol of the delivery No \_\_\_ dated "\_\_\_" \_\_\_ 2024)



**K.R.Alaev**  
Chairman of Scientific Council  
on awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor Academician

**I.U.Rakhmonov**  
Scientific secretary of scientific council  
on awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**R.P.Babakhodjaev**  
Chairman of scientific seminar under scientific council  
for awarding scientific degrees  
Doctor of Technical Sciences, Professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**Relevance and necessity of the dissertation topic.** In the world, the use of energy installations and systems based on renewable energy sources is one of the promising areas for providing consumers with electric and thermal energy. It should be noted that in the world 26.94% (23.43 million TJ) residential sector accounts from the total electricity consumption by sector, including electricity, heating and hot water supply. Due to the depletion of global energy reserves, the use of photovoltaic modules to convert solar energy into electricity is considered more promising. However, in a hot climate, due to the high ambient temperature, the efficiency and performance of photovoltaic modules are significantly reduced, and high heating temperatures lead to an acceleration of the degradation process and a shortening of the shelf life. Taking into account the above problems, special attention is paid to the use of absorbers to prevent a sharp increase in the temperature of photovoltaic modules, to ensure the stability of electrophysical and thermal parameters of installations by controlling the temperature of cooling and coolant.

Scientific research is underway in the world aimed at determining thermal and electrophysical indicators, as well as in order to prevent a decrease in the efficiency of photovoltaic modules and changes in the optical properties of transparent structural polymer materials due to overheating, as well as the use of absorbers of various designs based on metallic and non-metallic materials for cooling photovoltaic modules. Currently, studies of photovoltaic modules based on thin-film modules with heat converters, taking into account sudden temperature changes and climatic conditions, studies of electrophysical and thermal parameters of photovoltaic modules are relevant. Special attention is paid to the determination of electrophysical, thermal, technical, economic and environmental indicators of photovoltaic thermal installations based on thin-film modules, the development of methods for testing them in laboratory and natural conditions.

**The purpose of the study.** Development and creation of a photovoltaic thermal installation based on thin-film modules designed for hot climate conditions and to conduct research on energy parameters, technical, economic and environmental indicators.

### **Tasks of the research:**

review and analysis of the current state of development of photovoltaic thermal installations.

development and research of designs of photovoltaic thermal installations based on thin-film modules of cadmium telluride and experimental studies of photovoltaic modules of crystalline and thin-film technologies.

development of a mathematical model and a program for calculating thermal and energy parameters of a photovoltaic thermal installation based on thin-film cadmium telluride modules.

feasibility study of the use of photovoltaic thermal installations based on thin-film cadmium telluride modules.

**The object of the research.** photovoltaic modules of various technologies, new designs of photovoltaic thermal installations based on thin-film modules.

**The subject of the research.** The subject of the study is meteorological environmental factors (solar radiation, air temperature, wind speed, etc.) affecting the output energy parameters of photovoltaic modules and a photovoltaic thermal installation.

**Research methods:** In the dissertation work, mathematical modeling, numerical methods, methods of experimental research, economic assessment, comparative analysis were used, as well as modern methods in processing the results.

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

a photovoltaic thermal battery design has been created based on a heat exchanger made of modern composite materials attached to a thin-film cadmium telluride module;

a mathematical model has been improved for the combined design of a “sheet-tube” heat exchanger attached to a thin-film cadmium telluride module, which determines the energy parameters of a photovoltaic thermal installation based on thermal balance equations depending on environmental factors;

the developed designs of a photovoltaic thermal installation based on thin-film cadmium telluride modules and heat exchangers have created the possibility of increasing the utilization rate of the installed capacity of photovoltaic modules by 1,9 percent;

an increase in electrical efficiency by 1,7-2,5 percent and electrical power by 8-10.3 percent was revealed due to a decrease in the operating temperature of the cadmium telluride module by 8,6-21,5 percent using a developed photovoltaic thermal installation with forced water circulation in a hot climate.

**Approbation of the research results.** The results of the study were discussed at 6 international and 6 republican scientific and practical conferences and seminars.

**Publication of the research results.** According to the results of the research, only 23 scientific papers have been published, including 1 monograph, 1 patent for a utility model, 7 scientific articles, including 1 in foreign and 5 in republican scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of the dissertation of a doctor of philosophy (PhD), 1 in a journal in the HAC of Russia, 2 in the collections included in the Scopus database, 10 are published in the materials of international and national conferences and seminars. 2 certificates for computer software products have been obtained.

**The scope and structure of the dissertation.** The content of the dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 120 pages.

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

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Жураев И.Р. Юлдошев И.А. Аюпов К.С. Жураева З.И. Разработка и создание фотоэлектрической тепловой установки на основе тонкопленочных модулей в условиях жаркого климата. : Монография. “SARVARPRINT” МСНУ босмахонаси, Ташкент, ISBN: 978-9910-9183-2-2, 2024-132 бет.

2. I. R. Jurayev, I. A. Yuldoshev , and Z. I. Jurayeva. Experimental Study of a Thin-Film Photovoltaic Thermal Battery in Natural Conditions. // “Applied Solar Energy”. -USA. 2023. -Vol.59, - №4. PP. 498–506. (SCOPUS) (CiteScore, IF=2.5, №4).

3. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Сравнительный анализ эффективности работы фотоэлектрических тепловых батарей различных конструкций. // Научно-технический журнал «Проблемы энерго и ресурсосбережения». –Ташкент, 2023. -№1. С.183-189. (05.00.00; №21).

4. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Экспериментальное исследование фотоэлектрической тепловой батареи с тонкопленочным модулем на основе CdTe. // Вестник МЭИ. 2023. № 5. С. 64-74. DOI: 10.24160/1993-6982-2023-5-64-74.(05.00.00; №17).

5. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И.. Экспериментальное изучение энергетических показателей фотоэлектрической тепловой батареи тонкопленочной технологии на основе теллурида кадмия. // Научно-технический журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». -Ташкент, 2023. Специальный выпуск-№84. С.337-344. (05.00.00; №21).

6. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Сравнительный анализ электрофизических параметров фотоэлектрических модулей. // Научно-технический журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». -Ташкент, 2021.-№ 1, С.293-304. (05.00.00; №21).

7. Жураев, И., Юлдошев, И., & Жураева, З. Оценка экономической эффективности использования фотоэлектрической тепловой установки. // Ijtimoiy, iqtisodiy, siyosiy, ilmiy, ommabop jurnal YASHIL IQTISODIYOT VA TARAQQIYOT. - 2024-yil, fevral.-№2-son, 606-611 б. (08.00.00; № 336/3).

8. Жураев, И., Юлдошев, И., & Жураева, З. Методика расчета технико-экономических показателей фотоэлектрической тепловой установки на основе тонкопленочной модули теллурида кадмия. // Научно–технический журнал ФерПИ. – Фергана, 2024. - Том 28. Специальный выпуск. - № 6, - С. 60-68. (05.00.00; №20).

## II бўлим (Часть II; Part II)

9. Юлдошев И.А., Жураева З.И., Жураев И.Р., Фотоэлектрическая тепловая батарея. Патент на полезную модель. // «Центр интеллектуальной собственности» при Министерстве Юстиции Республики Узбекистан. FAP2455. 04.04.2024, опубликовано 22.04.2024, Бюл.,-№ 4(277).

10. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Ҳарорат омилини ҳисобга олган ҳолда фотоэлектрик модулнинг энергетик параметрларини ҳисоблаш дастури. // Ўзбекистон Республикаси Адлия Вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк маркази. -№ DGU 26720, 17.08.2023.

11. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Фотоэлектрик иссиқлик батареясининг иссиқлик ва энергетик кўрсаткичларини ҳисоблаш дастури. // Ўзбекистон Республикаси Адлия Вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк маркази. -№ DGU 27231, 05.09.2023.

12. Islom Jurayev, Isroil Yuldoshev and Zukhra Jurayeva. Results of Study of Photovoltaic Thermal Battery Based on Thin-Film Module by Modeling and Computational Methods. // Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT. 2024, Volume 12, Issue 1, PP. 243-249. DOI:10.25673/115707. (SCOPUS).

13. Islom Jurayev, Isroil Yuldoshev and Zukhra Jurayeva. Effects of Temperature on the Efficiency of Photovoltaic Modules. // Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT. 2023, Volume 11, Issue 1, PP. 199-206. DOI:10.25673/101938, (SCOPUS).

14. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Перспективы интеграции фотоэлектрических тепловых установок в сферы энергообеспечения потребителей. // “Energetika kompleksining dolzarb muammolari: ishlab chiqarish, uzatish va ekologiya” mavzusidagi Xalqaro miqyosida ilmiy-texnik maqolalar va tezislar to’plami. Qarshi “Intellekt” nashriyoti, 25-26-aprel 2024-yil, 603-608 б.

15. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Экспериментальное исследование работы фотоэлектрической тепловой батареи. // Ёш олимлар ва физик талабаларнинг III республика илмий анжумани (ЁОФТРИА- III) Ўзбекистон миллий университети ҳузуридаги яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий-тадқиқот институти. Тошкент 2023 йил, 15 июнь. 181-184 б.

16. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Исследование температуры нагрева фотоэлектрической модули. “Инновацион техника ва технологияларнинг қишлоқ хўжалиги озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истикболлари”. // Сборник научных трудов, II-Международная научная конференция. г.Ташкент, 22-23 апреля 2022 г., С. 488-489.

17. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Влияние температуры нагрева на мощность фотоэлектрической модули. // “Энергетика соҳасини ривожлантиришда муқобил энергия манбаларининг роли” Вазирлик микесиди илмий-амалий конференция туплами. г.Наманган, 28-29 апрель 2022й. 185-187-б.

18. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Зависимость электрофизических параметров от температуры фотоэлектрической модули. // “Использование новых видов альтернативных источников энергии инновационные решения и энергосбережение при их использовании” научно-техническая конференция республики. г.Андижан, 29-30- май 2022г. С.443-444.

19. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Экспериментальное исследование фотоэлектрической тепловой батареи на основе тонкопленочной структуры в естественных условиях. // Новые горизонты низкоуглеродного развития в мире и Узбекистане. Аннотации международной научно-технической конференции, прошедшей в Национальном научно-исследовательском институте возобновляемых источников энергии, г.Ташкент, 23-24 сентября 2022 г., С.90-91.

20. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Экспериментальное изучение фотоэлектрической тепловой батареи на основе тонкопленочной структуры в натуральных условиях. // “Energiya Va Resurs Tejamkor Innovatsion Texnologiyalarni Rivojlantirishning Dolzarb Muammolari” Respublika Ilmiy-Amaliy Anjumani Materiallar To‘plami, Карши МИИ, 23-24-Сентябр 2022-Йил, С.462-468.

21. Аюпов К.С., Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Шогучкаров С.К., Жураева З.И.. Результаты исследований разработанных конструкций фотоэлектрических тепловых батарей на основе тонкопленочной технологии. // Наноструктурные полупроводниковые материалы в фотоэнергетике. Сборник докладов III-международной научной конференции, г.Ташкент, 24-25 ноября 2022г., С.61-67.

22. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Экспериментальное изучение характеристик фотоэлектрических модулей в натуральных условиях. // “Энерго- и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и инновационные подходы”, международная конференция, , г.Карши, 24-25-сентября 2021г, С.295-305.

23. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Влияние солнечной радиации на нагрев поверхностей фотоэлектрических модулей. // Наноструктурные полупроводниковые материалы в фотоэнергетике. Сборник научных трудов, II- Международная научная конференция, г.Ташкент, 19-20 ноября 2021 г. С.548-556.