

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ, ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХ-
НОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ, САМАРҚАНД ДАВЛАТ
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017. FM./T.34.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

МАТЕРИАЛШУНОСЛИК ИНСТИТУТИ

ОРЛОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ҚУЁШЛИ ҚУРИЛМАЛАРНИ КУЗАТИШ ТИЗИМЛАРИ
ПАРАМЕТРЛАРИНИ АСОСЛАШ ВА ИШЛАБ ЧИҚИШ**

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

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

Тошкент – 2018 йил

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

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

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

Орлов Сергей Александрович

Куёшли курилмаларни кузатиш тизимлари параметрларини асослаш ва
ишлаб чиқиш..... 3

Орлов Сергей Александрович

Обоснование параметров и разработка систем слежения солнечных
установок..... 23

Orlov Sergey Aleksandrovich

Development and justification of the parameters of tracking systems for
concentrators of solar installations..... 45

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 49

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ, ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХ-
НОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ, САМАРҚАНД ДАВЛАТ
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017. FM./T.34.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

МАТЕРИАЛШУНОСЛИК ИНСТИТУТИ

ОРЛОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ҚУЁШЛИ ҚУРИЛМАЛАРНИ КУЗАТИШ ТИЗИМЛАРИ
ПАРАМЕТРЛАРИНИ АСОСЛАШ ВА ИШЛАБ ЧИҚИШ**

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

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

Тошкент – 2018 йил

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.3.PhD/Т415 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Материалшунослик институтида бажарилган.

Диссертация автореферати икки тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (fti.uz) ва «ZiyoNet» ахборот-таълим порталида (www.ziyo.net) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Кличев Шавкат Исакович
техника фанлари доктори

Расмий оппонентлар:

Искандаров Зафар Самандарович
техника фанлари доктори, профессор

Эргашев Сирожиддин Фаёзович
техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Қарши давлат университети

Диссертация ҳимояси Физика-техника институти, Ион-плазма ва лазер технологиялари институти, Самарқанд давлат университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017. FM./T.34.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил «__» _____ соат ____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Бодомзор йўли кўчаси, 2б-уй. Тел./факс: (99871) 235-42-91; e-mail: info.fti@uzsci.net), Физика-техника институти мажлислар зали).

Диссертация билан Физика-техника институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (7 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Бодомзор йўли кўчаси, 2б-уй. Физика-техника институти. Тел./факс: (99871) 235-30-41.

Диссертация автореферати 2018 йил «__» _____ да тарқатилди.
(2018 йил «__» _____ даги 7 рақамли реестр баённомаси).

Н.Р. Авезова
Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш раиси,
т.ф.д. катта илмий ходим

А.В. Каримов
Илмий даражалар берувчи Илмий
кенгаш илмий котиби, ф.-м.ф.д., профессор

И.Г. Атабаев
Илмий даражалар берувчи Илмий
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,
ф.-м.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳон амалиётида Қуёш энергиясидан фойдаланиш соҳасида нурни йиғувчи концентраторлардан фойдаланиш самарадорлигини ошириш истикболли йўналишдан бўлиб, концентраторларни оптимал режимда ишлашини таъминлаш муҳим вазифалардан ҳисобланади. Бу жихатдан концентраторларда йиғилаётган нурлар ҳаракатини мунтазам кузатиш тизимларини ишлаб чиқиш, уларнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларини, биринчи навбатда концентраторларда кузатиш тизимини такомиллаштириш асосий вазифалардан бири ҳисобланади.

Ҳозирги кунда дунёда энергия тежовчи қуёший қурилмаларнинг самарадорлигини ошириш мақсадида уларнинг кузатиш тизимларига катта эътибор қаратилмоқда. Бу борада қуйидаги йўналишлардаги мақсадли илмий тадқиқотларни, жумладан, концентраторларнинг энергетик ва жамлаш характеристикаларининг оптик ва дастурий кузатиш тизимини ишлаб чиқиш, концентратор ва гелиостатлар кузатиш хатоликларини бартараф қилиш усулларини ишлаб чиқиш, оптик кузатув датчикларини ва кузатиш жараёнларини тадқиқ қилиш, қуёш нурланиши концентраторларининг оптик ва дастурий кузатув тизимлари хатолигини аниқлаш усулларини ишлаб чиқиш, гелиостатларни дастурий бошқариш тизимларини ишлаб чиқишга оид илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясига кўра, принципиал жихатдан янги маҳсулот ва технология турларини ўзлаштириш, шу асосда ички ва ташқи бозорларда миллий товарларнинг рақобатбардошлигини таъминлаш масалаларига алоҳида эътибор қаратилмоқда. Фаол тадбиркорлик, инновацион ғоялар ва технологияларни қўллаб-қувватлаш йилида олинган илмий натижаларни ҳозирги замон талабларига жавоб берадиган даражага олиб чиқиш алоҳида эътиборга сазовор. Бу жихатдан, концентраторларни нурга йўналтиришга мўлжалланган қурилмаларнинг янги турларини ва конструкцияларини оптималлаштириш долзарб масалалардан бири бўлиб, қуёш электростанцияларининг ажралмас қисми ҳисобланади. Жумладан, фойдаланиладиган концентраторларда кузатиш тизимлари аниқлигига қўйиладиган талабларни асослаш, оптик датчикларни ишлаб чиқиш ҳамда концентраторларда кузатиш тизимининг дастурларини ишлаб чиқиш бўйича юқори натижаларга эришилган. Шунга кўра, фойдаланиладиган концентраторларда кузатиш тизимлари аниқлигига қўйиладиган талабларни асослаш, оптик датчиклар ишлаб чиқиш ҳамда концентраторларда кузатиш тизими дастурининг алгоритминини ишлаб чиқиш муҳим аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2017 йил 13 февралдаги ПҚ-2772 -сон «2017–2021 йилларда электротехника саноатини ривожлантиришнинг устувор йўналишлари тўғрисида»ги ва 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-

2789-сон «Фанлар академияси фаолияти, илмий тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чоратадбирлари тўғрисидаги»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланиши устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II «Энергетика, энергоресурс тежамкорлиги», ҳамда IV «Қайта тикланувчи энергия манбаларини ишлатиш усулларини ривожлантириш, бошқа илғор технологиялар ва фотоника, нанотехнологиялар асосидаги қурилмалар ва технологияларни яратиш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Бугунги кунда қаралаётган энергетик тизимларда қуёш ҳаракатини кузатиш тизимларини ўрганиш, қуёшдан келаётган максимал энергияни ушлаб қолиш ва энг яхши йўналишини аниқлаш борасида етакчи илмий тадқиқот муассасалари томонидан катта эътибор қаратилмоқда. Жумладан, Шимолий Каролина давлат университетининг олими М.Хан (АҚШ), Малайзия университетидан Надя Аль – Роусан (Малайзия), Фуцзиан қишлоқ ва ўрмон хўжалиги университети олими Вальтер Нсенгиюмба (Хитой Халқ Республикаси), Монастир университети олими Тапир Маалтааллах (Тунис) лар томонидан оптималлашган параметрларга эга юқори аниқликдаги замонавий кузатиш тизимларини ишлаб чиқиш бўйича жадал ишлар олиб борилмоқда. Бундан ташқари, DLR Немис маркази (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Германия) ва Қайта тикланувчи энергия миллий лабораториясида (АҚШ) юқори самандорликка эга кузатув тизимлари ва иқтисодий жиҳатдан самарадор конструкцияларни ишлаб чиқиш борасидаги ўхшаш тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Россияда кузатиш тизимларини ишлаб чиқиш муаммолари билан Россия Фанлар академияси А.Ф. Иоффе номидаги Физика-техника институти олими В.М. Андреев, Астрофизика ИИЧБ олими Н.П. Икрянников, ҳамда Бутунроссия қишлоқ хўжалиги электрлаштириш илмий-тадқиқот институти олими В.В. Харченколар шуғулланмоқда. Таклиф этилаётган кузатиш тизимлари олис ҳудудларда қайта тикланадиган энергия манбалари асосидаги микро тармоқ таркибида ишловчи қуёший электростанцияларда фойдаланиш учун истиқболли аҳамият касб этади.

Академик Р.А.Захидов, Д.И. Тепляков, Ш.И. Клычев ва И.М. Рубановичларнинг илмий ишларида прожектор синфига мансуб концентраторлари ўқининг қуёш марказидан оғиши (дефокусировка бурчаги)ни унинг энергетик характеристикаларига таъсирини ҳамда номуаносиблик бурчаги билан датчикнинг чиқиш сигнали орасидаги боғлиқликни аниқлаш бўйича ҳисобий ва тажрибавий тадқиқотлар олиб борилган. Ушбу тадқиқотларда концентраторларнинг қўлланилиш мақсади ва бошқарув усуллариغا боғлиқ ҳолда зарурий кузатиш аниқлигини асослаш

нуқтаи назаридан Қуёшни кузатиш аниқлигини ошириш масалалари деярли ўрганилмай қолган.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Материалшунослик институти илмий-тадқиқот ишлари режасининг ФА-А13-Ф026-сон «Оптимал технологик режимларни амалга ошириш ва қуёш энергиясини қайта ўзгартириш учун Катта Қуёш Печининг функционал имкониятларини кенгайтириш» (2009-2011), А4-ФА-0-11780-сон «3÷20 кВт қувватли электр ва иссиқлик энергияси ишлаб чиқарувчи юқори самарадор, иқтисодий тежамкор кўзгули-мужассамлаштирувчи тизим асосида қуёш автоном юқори ҳароратли энергетик қурилмасини ишлаб чиқиш» (2012-2014) мавзусидаги лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади оптик кузатиш тизимлари датчигини ишлаб чиқиш ва турли мақсадли концентраторларнинг оптик ва дастурий кузатув системалари аниқлигига қўйиладиган талабларни асослашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

концентратор энергетик ва мужассамлаш характеристикаларининг оптик ва дастурий кузатиш тизими хатоликларига боғлиқлигини экспериментал ва ҳисоблаш усуллари орқали тадқиқ қилиш ва концентратор ва гелиостатлар кузатиш хатоликларига қўйиладиган талабларни асослаш;

узлуксиз оптик кузатув датчикларини ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш;

қуёш нурланиши концентраторлари оптик ва дастурий кузатув тизимлари хатолигини аниқлаш методикасини ишлаб чиқиш;

Катта Қуёш Сандони (КҚС) гелиостатларини дастурий бошқариш тизими алго-ритмининг Ер ўқи нутацияси ва азимутал ўқ айланишининг новертикаллигини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти қуёш нурланиши концентратори ва гелиостатларидан иборат.

Тадқиқотнинг предмети концентратор ва гелиостатларни дастурий бошқариш алгоритми ва оптик кузатув тизимларидаги жараёнлардан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Мазкур ишда геометрик оптика соҳасида, фотометрия, қуёш нурланиши концентратцияси майдонида сонли моделлаш ва замонавий ахборот технолгиялари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгиллиги қуйидагилардан иборат:

нуқтали ва чизиқли қуёш нурланиши концентраторларининг энергетик ва концентрациялаш характеристикаларига кузатиш аниқлигининг таъсири асосланган ва аниқланган, қуёш ўчоғи концентраторлари учун ҳам кузатишнинг аниқлигининг оқим ва концентрацияга таъсири бурчаги икки дақиқадан ошиқ бўлганда намоён бўла бошлаши кўрсатилган;

60 градусгача кузатиш майдонига эга ва фарқланиш бурчаги бир хил бўлгандаги сигналлар фарқини максимал таъминловчи оптик датчикнинг оптимал параметрлари аниқланган;

гелиостат ва концентраторларнинг азимутал ўқи вертикал бўлмаслигини аниқлаш учун қурилма ва услуб ишлаб чиқилган;

гелиостат ва концентраторларнинг қуёшни кузатиш динамикасини аниқлаш усули ишлаб чиқилган;

Ер шари ўқи нутацияси ва импульс моменти ҳамда азимутал ўқи вертикал бўлмаслигини ҳисобга олувчи гелиостат ва концентраторларни бошқариш дастурининг алгоритми ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

аниқ ва чизикли қуёш нурланиши концентраторлари кузатув хатоликларига қўйиладиган талаблар аниқланган;

концентратор ва гелиостатлар азимутал айланиш ўқи новертикаллигини аниқлаш учун қурилма ва услуб ишлаб чиқилган;

ўзининг юқори сезувчанлиги ва соддалиги билан фарқланадиган оптик датчикнинг намунаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги ўтказилган экспериментал тадқиқотлар таҳлили, тадқиқоти ва синтези учун стандарт дастурий таъминот қўллангани билан тасдиқланади. Натижаларнинг тўғрилиги бошқа муаллифларнинг натижалари билан қиёсий таҳлил қилиш, мавжуд физик методологиялар доирасида изоҳлаш, шарҳлаш ва яратилган қурилмаларни эксплуатация қилиш тажрибаси билан тасдиқланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Олинган натижаларнинг илмий аҳамияти шундаки, азимутал ўқининг новертикаллигини аниқлаш усуллари тўғрисидаги тушунчаларни кенгайтиради.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундаки, ишлаб чиқилган оптикавий кузатиш датчиклари ва дастурий кузатиш тизимлари гелиостат ва Қуёш концентраторларини юқори даражада аниқлик билан бошқариш имконини беради.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Турли мақсадларда фойдаланиладиган концентратор кузатиш аниқлигига қўйиладиган талабларни асослаш ва ишлаб чиқиш, оптик ва дастурий кузатиш тизими хатоликларини баҳолашнинг экспериментал ва ҳисоблаш методикаларини тадқиқ қилиш асосида:

қуёш нурланиши концентраторларини бошқариш учун мўлжалланган азимутал айланма ўқи новертикаллигини аниқлаш бўйича «Азимутал айланма ўқи новертикаллигини аниқлаш усули»га Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк Агентлигининг ихтирога патенти олинган (№ IAP 04953, 2014 йил 30 сентябрь). Ишлаб чиқилган усулни қўллаш Қуёшнинг азимут бўйлаб кўринма ҳаракатини аниқ кузатиш имконини берган;

гелиостатлар азимутал ўқининг новертикаллигини аниқлаш қурилмаси Материалшунослик институти Катта Қуёш Сандони гелиостатлари ҳаракатини бошқариш бўйича алгоритмлар ва дастурларни ишлаб чиқишда фойдаланилган (Ўзбекистон Фанлар академиясининг 2018 йил 21 февралдаги № 2/1255-473 сонли маълумотномаси). Ишланмадан фойдаланиш гелиостатлар ҳаракатларини дастурли бошқариш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижа-

лари 3 та халқаро илмий-амалий конференцияларда маъруза кўринишида баён этилган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 9 та илмий иш чоп этилган бўлиб, улардан Ўзбекистон Республикаси ОАКнинг диссертация ишларини асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 4 та илмий мақола нашр этилган, халқаро ва республика конференциялари материалларида 4 та маъруза эълон қилинган, битта ихтиро учун патент олинган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловадан иборат. Диссертациянинг ҳажми 130 бетни ташкил этади.

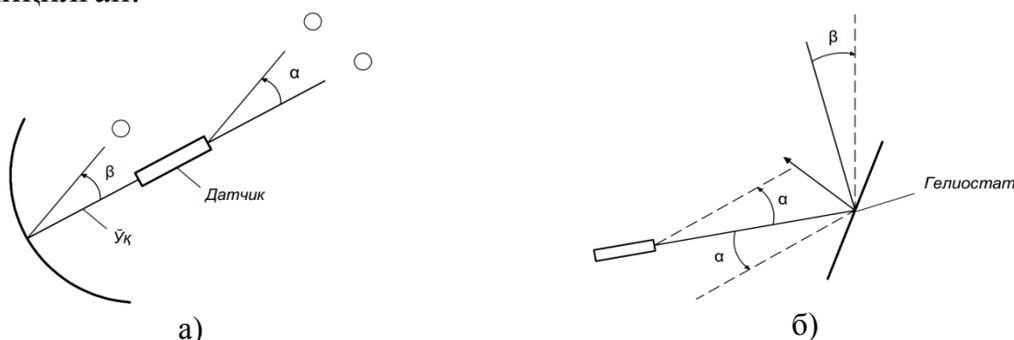
ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

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

Диссертациянинг «**Қуёш нурланиши концентраторларида кузатув тизими**» деб номланган биринчи бобида оптик ва дастурий кузатиш масалаларида тадқиқот ҳолати қуёш нурланиши концентраторларидаги кузатув тизими умумий функциялардан келиб чиққан ҳолда таҳлил қилинган. Мавжуд назарий ва экспериментал маълумотлар таҳлили асосида масаланинг кўйилиши шакллантирилган.

Диссертациянинг «**Қуёш нурланиши концентраторларининг энергетик тавсифларига кузатув аниқлигининг таъсири**» деб номланган иккинчи бобида қуёш нурланиши концентрациясига кузатув аниқлигининг таъсири ҳисоб-тадқиқот натижалари келтирилган.

Биринчи қисмда дефокусировка бурчаги β билан кузатиш ноаниқлиги (датчик ўқи ва қуёш нурланишининг мослаштирилмаган бурчаги) орасидаги боғлиқлик ва унинг концентраторни энергетик тавсифларига таъсири кўриб чиқилган.



1-расм. Концентратор (а) ва гелиостат (б) дефокусировка бурчаклари

Умумий ҳолда кузатиш ноаниқлиги ёки мослаштирилмаган бурчак α концентратор ўқи ва Қуёш нурлари ўқи орасида дефокусировка бурчаги β пайдо бўлганда ҳосил бўлади (1-расм). 1-расмдан кўришиб турибдики концентратор кузатиш режимида дефокусировка бурчаги β ва кузатиш ноаниқлиги бурчаги α ҳар доим тенг, ёки

$$\alpha = \beta \quad (1)$$

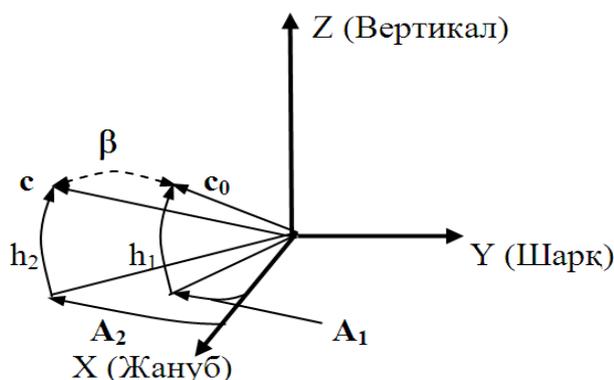
Концентратор гелиостат режимида ишлаганда қайтарилган қуёш нури берилган йўналиши бўйича йўналтирилади, ҳамда α ва β орасидаги боғлиқлик қуёш нурунинг гелиостатдан қайтиши орқали содир бўлади. 1 (б) - расмдаги схемадан кўринадик, бу ҳолда дефокусировка бурчаги β датчикнинг оптик ўқи бўйлаб қуёшнинг ҳақиқий ҳолатдаги ва қайтгандан кейинги йўналишлари орасидаги бурчакни ҳосил қилади ва бу ерда ҳам (1) шарт бажарилади.

Шундай қилиб, концентратор ва гелиостат режимлари ҳар хил бўлишига қарамай иккала ҳолда ҳам (1) тенглик бажарилади. Бирок, концентратор ва гелиостат бурилиш бурчаклари ўзгариши характери турличадир. Агар концентратор режимида β ни йўқотиш учун концентраторни фазода β бурчакка бурилиши зарур бўлса, гелиостат режимида гелиостатни фақат фазода $\beta/2$ бурчакка бурилиши керак.

Бундан келиб чиқадики, (1) тенглик бир кўзгули ва кўп кўзгули мужассамлаштирувчи оптик тизимлар учун умумий характерга эга эканлиги кўрилади. Таъкидлаш жоизки, α ва β бурчаклари фазовий бўлиб, уларни концентратор (гелиостат) ва датчиклар учун турли бўлган текисликдаги проекция бурчаклари (одатта азимут ва зенит текисликларида) ёрдамида назорат қилинади ва амалга оширилади.

Демак дефокусировка бурчаги унинг азимут ва зенит проекциялари орқали аниқланади ва бунда унинг бу проекция бурчаклари дефокусировка бурчагидан катта бўлиши мумкин.

Масалан қуёшнинг аниқ ҳолати учун (c_0) азимут A_c ва баландлик h_c бурчаклари $A_c = A_1$ и $h_c = h_1$ га тенг. $\beta(c)$ мавжудлигида эса A_2 ва h_2 га тенг бўлади (2-расм) Бунда β нинг проекцияси горизонтал (азимут) текисликда $\beta_A = A_2 - A_1$ ва вертикал (зенит) текисликда $\beta_h = h_2 - h_1$ га тенг бўлади.



2-расм. Дефокусировка бурчагининг азимутал ва зенитал проекцияларини аниқлаш схемаси

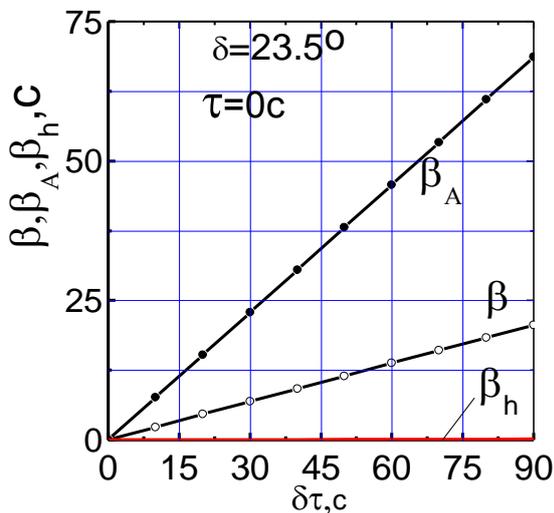
Дефокусировка бурчаги β нинг ва унинг проекциялари β_A ва β_h нинг вақт ва ёзги мавсум ($\delta=23.5^\circ$) бўйича ўзгариши учун куннинг икки хил вақтида 1.5 минут вақт оралиғида ўзгариши 3-расмда келтирилган.

Кўришиб турибдики, куёш дефокусировка бурчаги β ўзгариши йилнинг вақтига боғлиқ ёки куёш оғиш бурчаги δ ва унинг вақт бўйича максимал ўзгариши $\delta = 0^\circ$ бўлганда содир бўлади, бундай ҳол олдин кўрилмаган. Таҳлиллар кўрсатдики, β бурчаги яъни куёшнинг турли ҳолатдаги ва кўринадиган траекториясида β бурчакни қуйидаги кўринишда аниқлаш мумкин:

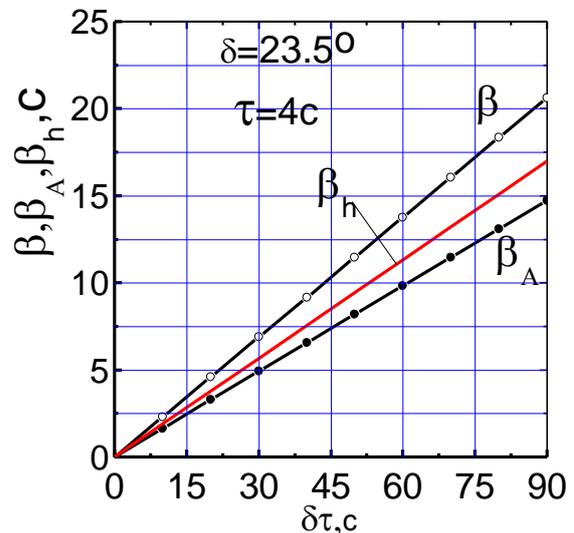
$$\beta = \omega_3 * \tau * \cos \delta \quad (2)$$

бу ерда ω_3 - Ернинг уз ўқи атрофида айланиш бурчак тезлиги, τ - кун вақти. β бурчакнинг тезлиги β' , қачонки δ кун давомида узгармас деб қабул қилинганда

$$\beta' = \partial\beta/\partial\tau = \omega_3 * \cos \delta \quad (3)$$



а) туш пайтида



б) кундузги соат 16-00 да

3-расм. Куёш дефокусировка бурчаги β нинг ва унинг проекциялари β_A ва β_h нинг вақт бўйича ўзгариши, $\varphi = 41^\circ$.

Демак, β ва β' ўзгариш характери концентратор жойлашган φ кенгликка боғлиқ эмас. Яна бир ҳолат, яъни куннинг ярмида, β_A ҳар доим дефокусировка бурчаги β дан катта, соат $\pm 4-00$ дан эса β ўз проекцияларидан доим катта бўлади. Шундай қилиб, β нинг проекциясидан фойдаланиш α га мослаштирилмаган бурчак проекциясини баҳолаш учун мақсадга мувофиқ эмас.

α бурчак проекцияси кузатув текислиги ва датчик ўқи (одатта горизонтал ва вертикал текисликда) орқали боғланган координаталар тизимида, яъни α ва унинг проекциялари α_A ва α_h нинг ҳақиқий қийматлари аниқланиши зарур. (1) дан келиб чиқадики,

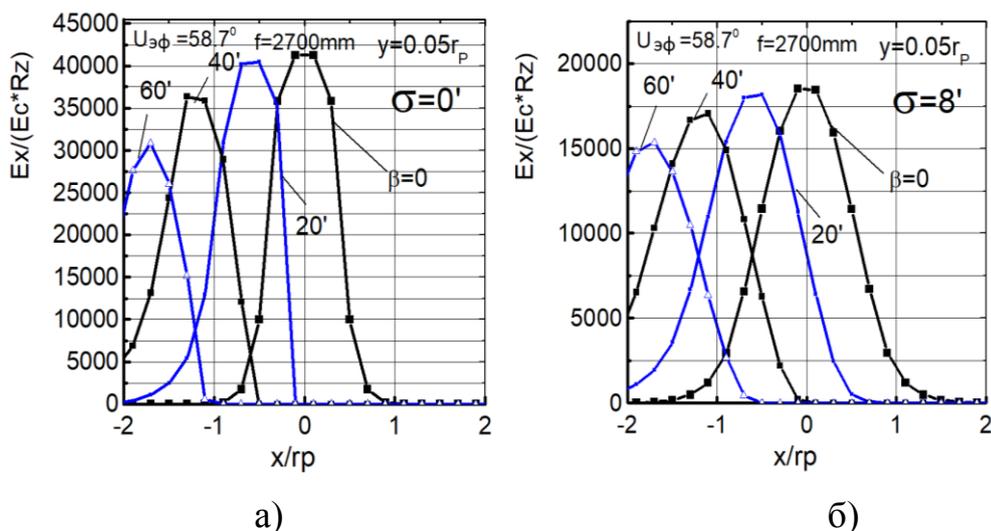
$$\alpha_A = \beta * \cos \varepsilon; \quad \alpha_h = \beta * \sin \varepsilon, \quad (4)$$

бу ерда ε - куёш траекторияси проекциясининг оғиш бурчаги (ёки датчик ўқиға перпендикуляр текисликдаги кайтган нур проекцияси). Шундай қилиб, кузатув ноаниқлигининг энергетик характеристикаларга таъсирини дефокусировка бурчаги β нинг α га ўтиши учун ва унинг таъсирини аниқлашда (1) ва (4) боғлиқликлари ҳисобга олиниши зарур. Дефокусировка бурчаги β нинг концентраторларда мужассамлаштирувчи характеристикаларига боғлиқлигини фокусда ва қабул қилгич ўртасида кўриб чиқамиз. Ўлчамлар масштаби сифатида ва натижаларни умумлаштириш мақсадида аниқ концентраторнинг куёш доғи r_p радиусидан фойдаланамиз:

$$r_p = p * \varphi_0 / [(1 + \cos U_0) * \cos U_0] \quad (5)$$

Дефокусировка бурчаги β нинг аниқ ($\sigma = 0'$) параболоид концентраторнинг фокал текислигидаги нурланганлик тақсимотиға боғлиқлиги 4-расмда келтирилган. Такқослаш учун $\beta = 0'$ учун ва $\sigma = 8'$ (' - бурчак минут) ва $r_p = 31$ мм концентрация тақсимоти келтирилган.

Кўриниб турибдики, концентраторни очилиш бурчаги $U_0 = 58,7^\circ$ учун қуйидаги характердаги фокал доғи радиус ўлчамларини ажратиш мумкин: I – фокусда, $r/r_p = 0,05$, бу ерда $C = 42324$ ($\sigma = 0$) ва $C = 18800$ ($\sigma = 8$), II-юқори ўртача концентрация соҳаси, $r/r_p = 0,25$, бу ерда $C = 40440$ ($\sigma = 0$) ва $C = 18100$ ($\sigma = 8$), III – нурланганлик эгрилигининг бирданиға тушиб кетиши $r/r_p = 0,35$, бу ерда $C = 38600$ ($\sigma = 0$) ва $C = 12200$ ($\sigma = 8$), IV- аниқ концентратор радиуси $r/r_p = 0,65$, бу ерда $C = 20500$ ($\sigma = 0$) ва $C = 8000$ ($\sigma = 8$). Ноаниқ параболоид концентраторларда ҳам фокал доғдаги ўртача концентрация юқори бўлиб, бу амалий жихатдан муҳим, масалан $r/r_p = 1$ майдонида аниқ концентратор учун ва ноаниқ концентратор учун фокал доғида нурлар оқимининг асосий қисми жойлашади.

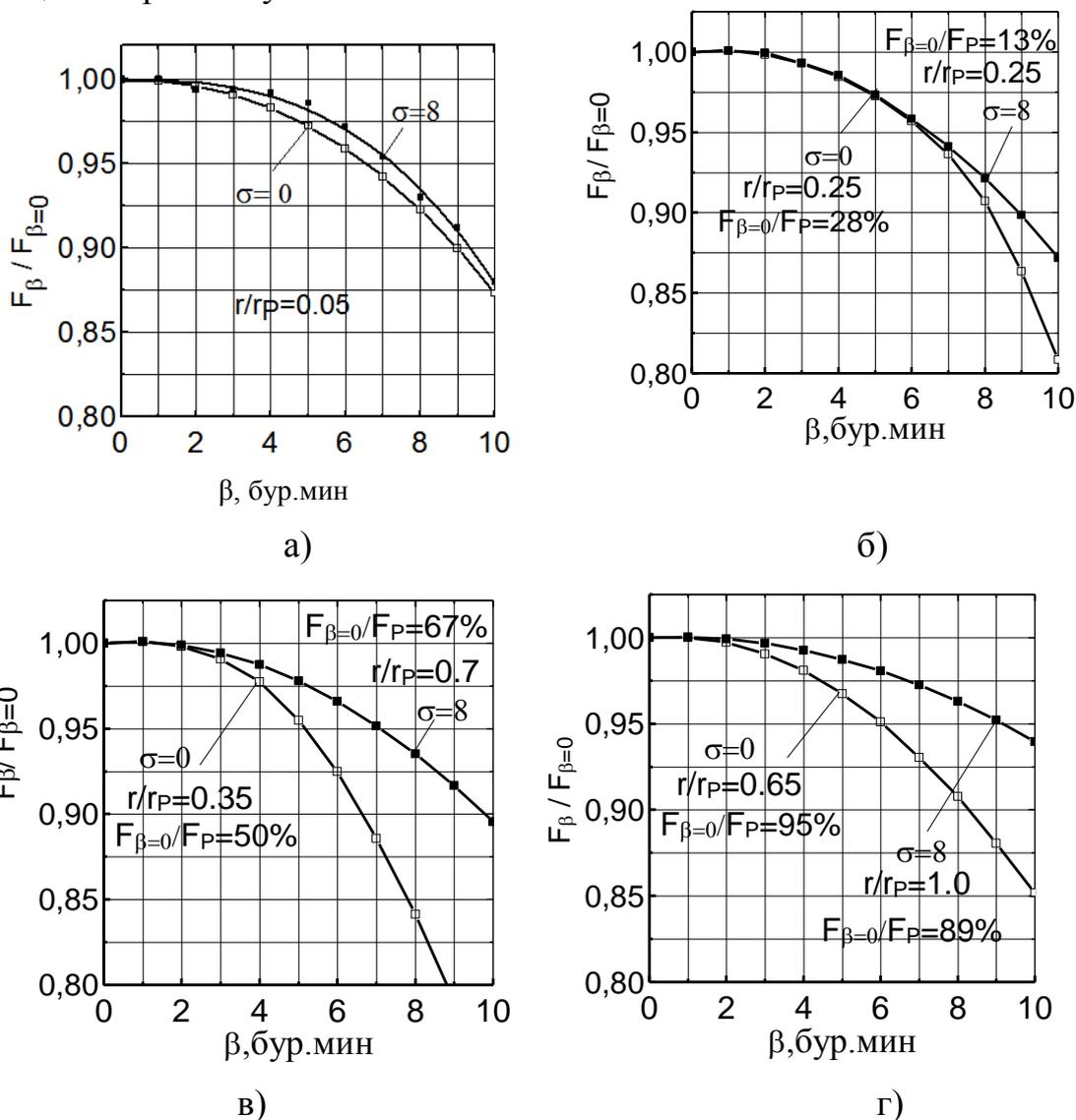


4-расм. Аниқ ($\sigma = 0$) ва ноаниқ ($\sigma = 8'$) параболоид концентраторлар фокал текислигида концентрация тақсимотининг дефокусировка бурчаги β га боғлиқлиги

5-расмда аниқ ($\sigma = 0$) ва ноаниқ ($\sigma = 8'$) концентраторлар учун оқим ўзгариши дефокусировка бурчаги β га боғлиқлиги келтирилган. F_β оқимларни умумлаштириш учун $\beta = 0$ бўлганда юзага тушаётган $F_{\beta=0}$ оқими $\beta \neq 0$ бўлмаган оқимига база қилиб олинган ва $F_{\beta=0}$ нинг киймати концентратордан қайтган умумий оқим F_P қисмида берилган.

Р.А.Захидов ва И.М. Рубанович томонидан олинган натижаларда оқим дефокусировка бурчагига боғлиқлигидан кўринадик, агар оқим 10% га камайса β га қўйиладиган талаб 16' тенг, бу вақтда кузатув аниқлиги 10'дан кам бўлмаслиги учун концентратор ноаниқлиги билан боғлаш керак.

Умуман олганда 5 бурчак минутгача дефокусировка бурчаги қабул қилгичдаги оқим зичлигига деярли таъсир қилмайди. Бу эса фокал текисликдаги мужассамлашган оқим зичлигининг дефокусировка бурчагига боғлиқлиги кузатув аниқлигига қўйиладиган талабларни (1) тенгламани инобатга олиб аниқлаб бериши мумкин.



5-расм. Фокал текисликдаги турли хил радиус майдончаларда оқимининг дефокусировка бурчаги β га боғлиқлиги

Бирок, (4) дан кўриниб турибдики, датчик текислигида кузатув ноаниқлиги фокусировка бурчагидан кичик бўлиши ва баъзи ҳоллар учун улар $\beta/\sqrt{2}$ дан ошмаслиги зарур.

Бу ерда дефокусировка бурчаги билан кузатиш ноаниқлиги орасидаги фарқ аниқ кўринади. Чунки кузатув тизими бурчаги датчик текислигида қўйидаги катталикни ташкил қилиши мумкин:

$$\alpha_a = \alpha_h = 0,7\alpha. \quad (6)$$

Кузатув аниқлиги текисликлардан бирининг бурчак оғиши билан аниқланиб, $0,7\beta$ ни ташкил қилади. Таъкидлаш жоизки, концентратор (аниқ, ноаниқ) учун олинган боғлиқлик ясси ёки фокусловчи гелиостатлар учун ҳам қўлланилиши мумкин.

Мужассамлашган оқим зичлиги тақсимоти характеридан келиб чиққан ҳолда, бу боғлиқликни текис бўлмаган қабул қилгичларда ҳам қўллаш мумкин. Чизикли концентраторларда кузатув аниқлигига қўйиладиган талаблар тадқиқотлар кўрсатишича, реал ноаниқ чизикли концентратор учун дефокусировка бурчагига боғлиқлиги айнан ўхшаш бўлади, ёки $\alpha_h = \alpha$. Ўтказилган тадқиқотлар асосида 1-жадвалда концентраторлар кузатув тизимларига қўйиладиган кузатув аниқлиги талабларининг умумлашган боғлиқлиги келтирилган.

1-жадвал

Ноаниқ концентратор ($\sigma=8'$) учун кузатув аниқлигига қўйилган талаблар ва мосланмаган бурчак α туфайли оқим зичлиги камайиши

$\alpha_c = \beta$, бурч.мин.	$\alpha_a = \alpha_h$, бурч.мин.	Юза радиуси r/r_p			
		0.05	0.25	0.7	1.0
		$\Delta F / F_{\beta=0} = (1 - F_{\beta} / F_{\beta=0}) * 100\%$			
0	0	0	0	0	0
1	0.7	0	-0,1	-0,1	-0,03
2	1.4	0,6	0,1	0,1	0,08
3	2.1	0,6	0,7	0,6	0,3
4	2.8	0,8	1,5	1,2	0,8
5	3.5	1,4	2,7	2,2	1,3
6	4.2	2,8	4,2	3,4	1,9
7	4.9	4,6	5,9	4,8	2,8
8	5.6	7	8,0	6,5	3,7
9	6.3	8,8	10,0	8,3	4,8
10	7	12	13	10,4	6,0

Умуман, концентраторларда кузатув ноаниқлиги 3÷5 бурчак минут (') атрофида бўлиб, бу катталиклар Куёш концентраторлари оптик ва дастурий кузатув тизимлари аниқлигига қўйиладиган талабларни аниқлаб беради. Яъни, ҳозирги вақтда куёш печи концентраторларининг кузатиш аниқлигига қўйилган талаблар 1' атрофида ва уни камайтириш нотўғри деб ҳисоблаш мумкин, ҳақиқатда эса, биз асослагандек кузатиш аниқлигига 2' ёки 3'

атрофида бўлиши мумкин.

Диссертациянинг «**Оптик ва дастурий кузатув аниқлигини ҳисоб-тажрибавий тадқиқот қилиш**» деб номланган учинчи бобда, дастурий бошқаришда азимутал айланиш ўқи новертикаллиги ва оптик датчик сезгирлиги кузатув аниқлигига таъсир қилувчи факторлар тадқиқ қилинган.

Кузатув оптик датчиклар конструкция ва схемаси тахлили шуни кўрсатдики, оқимларни мослаштириш принципига асосланган бурчак датчиклар схемаси истиқболли деб ҳисобланади (6-расм).

Бу датчик мослаштирув сигнали ΔI биринчи ва иккинчи қабул қилгич сигналлари фарқига тенг.

$$\Delta I = I_1 - I_2 = k * (\Phi_1 - \Phi_2) \quad (7)$$

бу ерда Φ_1 ва Φ_2 – биринчи ва иккинчи қабул қилгичларга тушаётган оқим, k - қабул қилгич оқимини электр сигналига ўзгартириш коэффиценти.

6-расмдан келиб чиқадики, (7) да масаланинг асосий параметрлари - қабул қилгичлар орасидаги бурчак γ ва мослаштирилган бурчак α орқали ифодалаш мумкин.

$$\Delta I = 2 * k * (1 - r) * S * \sin \gamma * \sin \alpha \quad (8)$$

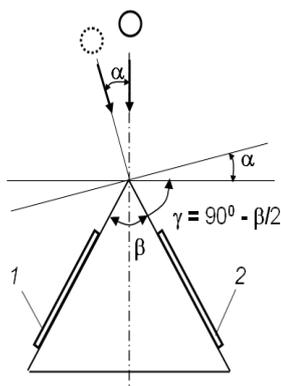
Ушбу датчик сигнални пайдо бўлиши схемасидан кўринадик, яна бир параметр яъни қабул қилгич майдони пайдо бўлиб, сигналлар фарқини ошириш имконини беради ва сезгирликнинг узгартиришига имкон беради, ҳамда сигналларни кучайтириш хатоликларига боғлиқлигини камайтиришига бериши мумкин (бошқа типдаги датчикларда бу параметр аниқ кўрсатилмаган). Демак қабул қилгичлар ўртасидаги оптимал оғиш бурчаги γ ёки пирамида чўққиси β бурчагининг оптимал кийматларини топиш масаласи амалий аҳамиятга эга. Бу масалани ечиш учун қуйидаги тенгламадан фойдаланиш мумкин.

$$\partial(\Delta I) / \partial \gamma = 0 \quad (9)$$

бу ерда икки хил ҳолат бўлиши мумкин: 1 - фотоқабулқилгичларнинг нур қайтариш коэффиценти r нур тушиш бурчагига боғлиқ эмас; 2- r нур тушиш бурчаги α га боғлиқ. Биринчи ҳолат учун (9) дан $\gamma=90^\circ$, ёки $\beta=0$ оптимал кийматига тенг. Фотоэлементларда қайтариш коэффиценти нур тушиш бурчагига боғлиқ бўлганда Френел формуласи ёрдамида аниқлашимиз мумкин. Иккинчи ҳол учун (9) мураккаб кўриниш олади ва сонли ечим орқали топилиши мумкин. Натижаларни умумлаштириш учун (7-расм) сигналлар орасидаги фарқ боғлиқлиги қуйидаги кўринишда берилган: $\Delta I / (2 * k * S)$.

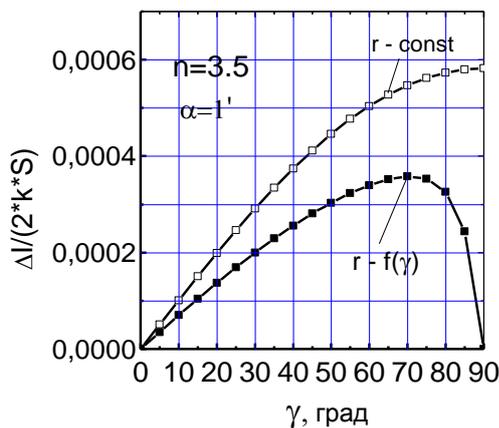
7-расмдан кўришиб турибдики, иккинчи ҳол учун оптимал γ нинг киймати 70° га яқин, ёки пирамиданинг оптимал бурчаги $\beta=40^\circ$. Максимум атрофида сигнал ўзгариши анча секин, яъни амалда пирамида бурчагини танлашда бир қанча бурчак диапазониغا эга бўламиз.

Масалан сигнални 5% га максималдан камайтирилганда γ нинг киймати 61° дан 77° гача ташкил қилиши мумкин, ёки пирамиданинг оптимал



1, 2 - фотоқабулқилгичлар

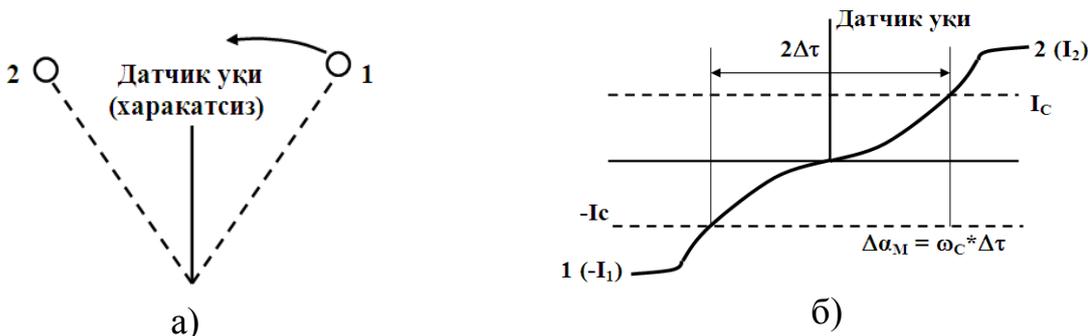
6-расм. Оқимни мослаштириш бурчак датчиги схемаси



7-расм. $\alpha = 1'$ ва ($r = \text{const}$) ва ($r = f(\gamma)$) учун қабул қилгичдаги сигналлар оғиш бурчагига боғлиқлиги

бурчак диапазоли β 58° дан 26° гача ўзгариши мумкин. Олинган натижалар қуёш оптик кузатиш тизимлари аниқлигини ошириш ва сезгир бурчак датчикларини лойиҳалашда қўллаш мумкин.

Датчиклар ишлаб чиқишда асосий амалий масала бу датчик чиқиш сигнали ва мослаштириш бурчаги орасидаги боғлиқликни аниқлашдир. Ушбу масалани ечиш йўлларида бири Р.А.Захидов ва Д.И.Тепляков томонидан таклиф қилинган усул - қўзғалмас концентратор асосида ўтказишдин. 8-расмда кузатиш датчиги учун ушбу усулнинг қўлланилиш схемаси келтирилган. Ишлаб чиқилган усул ёрдамида кузатув тизими ва унинг аниқлик характеристикаларини, айниқса ҳозиргача аниқланмаган «ўлик зона» нинг бурчак катталигини аниқлаш мумкин. Бу усулни кузатув датчигининг аниқлигини топиш учун қўллашнинг маъноси шундаки, датчикнинг оптик ўқи Қуёшнинг ҳолатига нисбатан илгарилловчи қилиб қўйилади (8(a)-расм), натижада чиқиш сигналнинг минимал қийматига эга бўламиз.



8-расм. Кузатув чиқиш сигнали ва датчикларни мослаштирилмаган бурчаги билан боғлиқлигини аниқлаш схемаси (а) ва сигналнинг мумкин бўлган чизиғи (б)

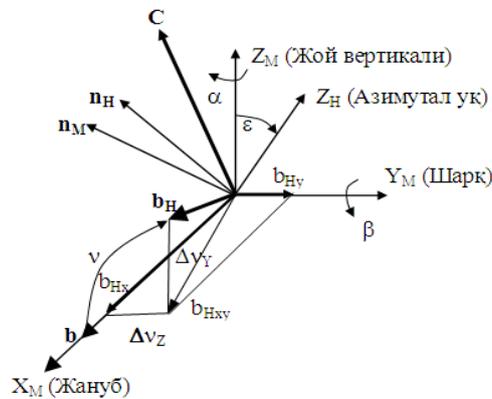
Агар бизда келтириш бўсағаси берилган бўлса, 8 (б)-расмдаги эгри чизиқ орқали кузатув тизими «ўлик» зонасини ва уни бурчак катталигини аниқлаш мумкин. Бу усул ва қурилмадан юқори сезгир бурчак датчиклари

билан дастурий бошқаришнинг аниқлигини ҳам аниқлаш учун фойдаланиш мумкин.

Вақт бўйича сигнал ўзгариши эгрилигини аниқлаш учун 0,01 с дан 1с гача қадам билан ўзгарадиган дискрет ва аналогли кириш қурилмаси ишлаб чиқилган (9-расм).

Дастурий бошқаришда аниқликни аниқлаб беришда асосий факторлардан бири бу концентратор (гелиостат) азимутал айланиш ўқини новертикаллиги ҳисобланади. Новертикаллик ва асосий координаталар системаси масалаларига боғлиқлик схемаси 10-расмда келтирилган, бу ерда СКм – маҳаллий координаталар системаси OZ ўқи жой вертикали билан ва СКн – гелиостат айланиш ўқи билан боғланган координат системаси.

Гелиостат азимутал айланиш ўқи вертикалга нисбатан ε бурчакка бурилган булсин. Гелиостатни азимут ўқи бўйича A_{Γ} бурчакка бурганимизда, у қандайдир кичик бурчакка b нур оғиши b_H содир қилади.



9-расм. Дастурий кузатиш аниқлигининг азимутал ўқ новертикаллигига боғлиқлигини аниқлаш схемаси

Фазовий бурчак Δv иккита текис бурчак ψ (меридиан текислиги) ва θ (кенглик текислиги) орқали аниқлаш мумкин, ёки $\varepsilon = (\psi^2 + \theta^2)^{0.5}$.

Бирлик нурлар Δv орасидаги b_H бурчакни вектор кўпайтириш орқали топиш мумкин.

$$\Delta v = \arcsin (|b \times b_H|) \quad (10)$$

Δv бурчакни текис бурчаклар орқали ҳам аниқлаш мумкин, b_H (v_{HZ} - b_{HXY} ва b_{HX} лар орасидаги бурчак, v_{HY} - b_H ва b_{HXY} , орасидаги бурчак, 9-расм). Векторнинг текис бурчаклари фарқини кўрсатувчи ва b (b OX_M ўқида ётганлиги учун $v_Z = 0$, $v_Y = 0$), бурчак векторига ўхшаш ёки нурнинг йўналишини ўзгариши қуйидагига тенг бўлади:

$$\Delta v = (\Delta v_Z^2 + \Delta v_Y^2)^{0.5} \quad (11)$$

бу ерда

$$\Delta v_Z = v_{HZ} - v_Z = \arcsin (b_{HY}/b_{HXY}) - \arcsin (b_Y/b_{XY}) \quad (12)$$

$$b_{HXY} = (b_{HX}^2 + b_{HY}^2)^{0.5}, \quad b_{XY} = (b_X^2 + b_Y^2)^{0.5} \quad (13)$$

$$\Delta v_Y = v_{HY} - v_Y = \arcsin(b_{HZ}) - \arcsin(b_Z) \quad (14)$$

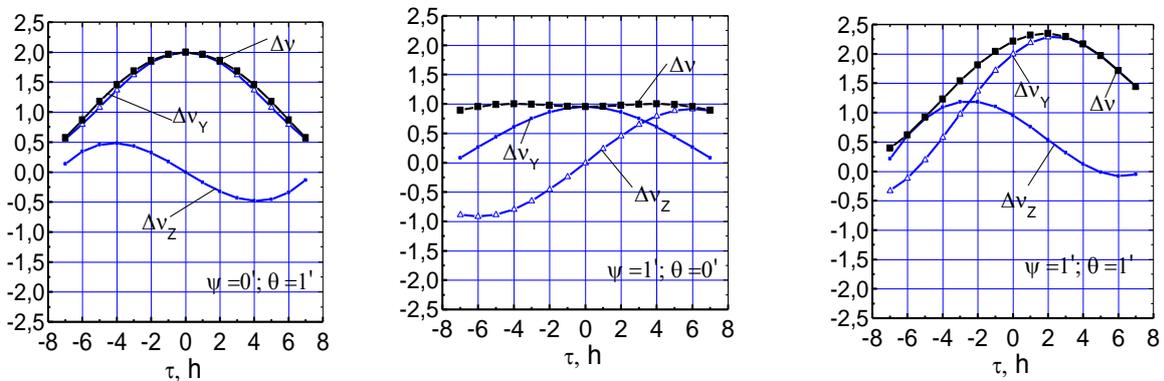
Таъкидлаш лозимки, юқорида кўрсатилган векторлар координаталар системасининг бирида ифодаланиши зарур. Умумий ҳолда масалани ечиш схемаси қуйидагича:

1. Қуёш вектори c ва қайтган нур b ни СКМ да аниқлаймиз.
 2. Берилган вақт учун Қуёш вектори c ҳолатини ва гелиостат нормали вектори n_H СКМ да аниқлаймиз.
 3. n_H ни СКМ га ўтказиб, b_H , қайтарилган нурнинг ҳақиқий йўналишини аниқлаймиз, қайсики шундай қилиб СКМ да бўлади.
- Қуёш ўқи вектори йуналиши учун таркибий вектор b_H СКМ да қуйидагича бўлади:

$$\begin{aligned} b_{HX} &= 2*(n_H*c)*n_{HX} - c_X \\ b_{HY} &= 2*(n_H*c)*n_{HY} - c_Y \\ b_{HZ} &= 2*(n_H*c)*n_{HZ} - c_Z \end{aligned} \quad (15)$$

бу ерда $n_H*c = n_{HX}*c_X + n_{HY}*c_Y + n_{HZ}*c_Z$.

Сўнг (10)-(15) бўйича b проекциясини аниқлаймиз ва унинг текис бурчаклари v_Z ва v_Y (гелиостат режимда b йуналиши берилади). Кейинчалик, b Ox_M ($v_Z = 0$, $v_Y = 0$) ўқи бўйича йуналган деб қабул қиламиз, қайсики Паркент КҚС гелиостатлари иш режимига мос келади.



а) меридионал текисликда

б) кенглик текислигида

в) иккала текисликда оғиш

10-расм. b_H нурни оғиш бурчаги азимутал ўқининг новертикалигига боғликлиги

10-расмда b_H (v_{ZH} , v_{YH} индекслари тушириб қолдирилган) нури оғиш бурчаги азимутал ўқининг вертикалдан оғиши ҳолида учта характерли ҳол учун келтирилган: а) меридионал текисликда; б) кенглик текислигида; в) иккала текисликда оғиш.

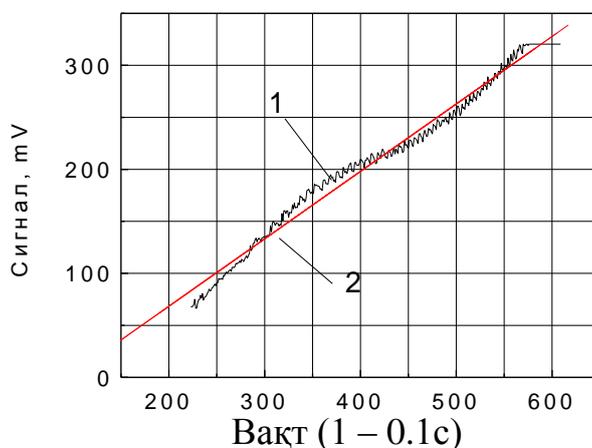
Кўриниб турибдики, азимутал ўқ оғиши меридионал текисликда бўлганда таъсири кўпроқ кузатилади. Кенглик текислигида бўлганда оғиш боғликлиги камроқ, лекин бу ҳолда ε ҳам деярли узгармайди. Яна шуни

таъкидлаш зарурки, кун давомида бурчак оғиши йигилиб қолиш жараёни олдингидек тассаруф қилингандай содир булмайди. ε ортиши билан пропорционал равишда оғиш ҳам ортиб бораверади. Умуман олганда, новертикалликка қўйиладиган талаблар юқори ва $\varepsilon 1' - 3'$, дан ошиб кетмаслиги зарур, айниқса меридионал текисликида.

Диссертациянинг «КҚСда оптик ва дастурий кузатувни ишлаб чиқиш ва жорий қилиш» деб номланган тўртинчи бобида ишлаб чиқилган қурилма ва методикалар жорий қилиш натижалари келтирилган.

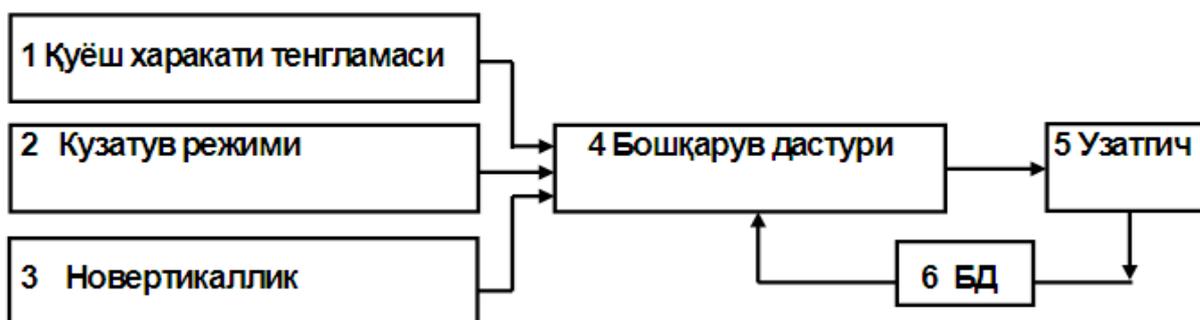
11-расмда 1- КҚСда фойдаланилаётган датчикнинг чиқиш сигнали ва 2- ишлаб чиқилган датчик сигнали келтирилган.

Кўриниб турибдики, КҚС датчиги характеристикаси юқори, сигнал оғиши +10% бўлганда носёзгирлик зонаси +0,5 бурчак минутдан ошмайди.



11-расм. Датчик сезгир элементи чиқиш сигналининг мослашган (вақт бўйича) бурчагига боғлиқлиги

12-расмда концентратор (гелиостат)нинг дастурий бошқариш блок-схемаси келтирилган.

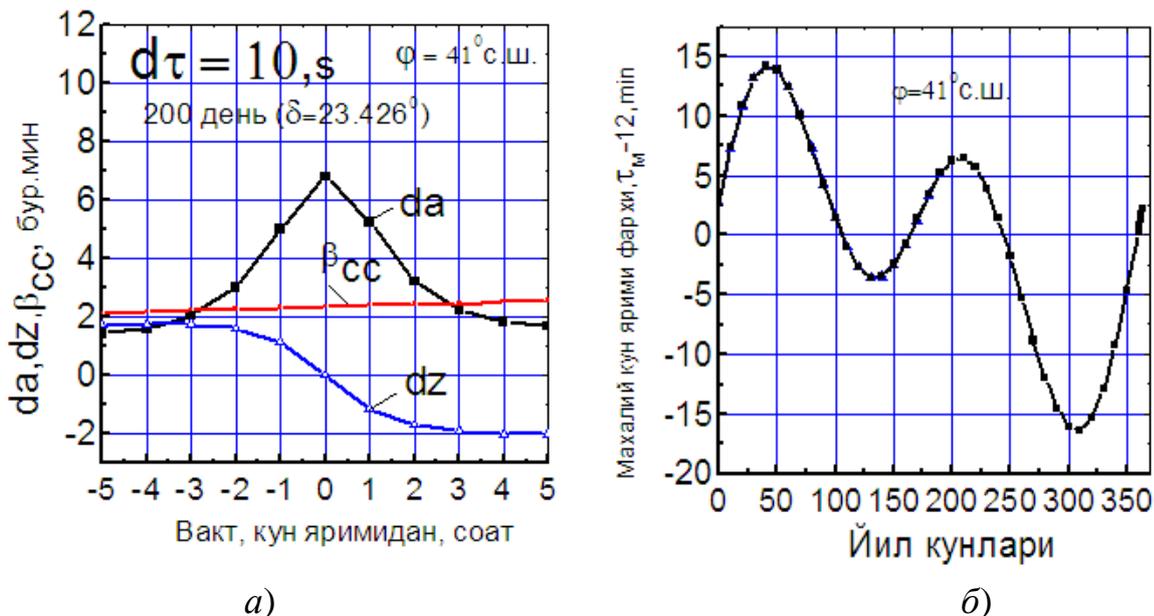


12-расм. Дастурий кузатишнинг блок-схемаси

Дастурий бошқаришни татбиқ қилиш учун биринчи навбатда (10-расм) қуёш кўриниш бурчаги ва азимутал ўқи новертикаллигини билиш зарур. Қуёш кун ярмидаги ҳолати маҳаллий кун ярмидаги ҳолатга тўғри келмаслиги туфайли қуйидаги масалалар юзага келади: дастурий бошқаришда хатолик диапазонини (допускларни) аниқлаш; айланиш ўқидаги бурчак тезликларни

аниқлаш учун қуёш ҳаракати алгоритмининг соддалашган имкониятларидан фойдаланиш мумкинлиги.

Қуёш ҳаракатининг соддалашган алгоритмдан фойдаланган ҳолда маҳаллий кун ярми учун Joseph J. Michalsky алгоритмини сонли ечиш орқали ифодалаш мумкин. 13-расмда қуёш баландлиги (dz) ва азимути ҳақиқий бурчаги (da) билан соддалашган тенглама бўйича маҳаллий ярим кун қуёшнинг ярим кунда ҳақиқий жойлашуви бурчаклари (β_{CC}) орасидаги фарқ келтирилган. Бундан кўриниб турибдики, бурчаклар орасидаги фарқ жудаям кам ва улар Joseph J. Michalsky алгоритмидаги хатоликлар чегарасида ётади.



13-расм. Қуёш баландлиги (dz) ва азимути ҳақиқий бурчаги (da) билан соддалашган тенглама бўйича маҳаллий ярим кун қуёшнинг ярим кунда ҳақиқий жойлашуви бурчаклари (β_{CC}) орасидаги фарқи ва қуёшнинг ҳақиқий ярим куннинг (τ_M), 2012 й. 41° шимолий кенгликдаги маҳаллий ярим кундан оғиши

Бунга боғлиқ равишда қуёшнинг ярим кунда ва маҳаллий ярим кунини мослаштириш аниқлигига талаблар кўриб чиқилди. Тадқиқотлар шуни кўрсатдики, $\Delta\tau = 5c$ да қуёш баландлиги ва азимутини аниқлашдаги хатолик азимут бўйича $3'$ ва зенит бўйича $\pm 1'$ гача, $\Delta\tau = 10c$ азимутдан максимал оғиш $7'$ атрофида, зенит бўйича $\pm 2'$ гача.

Бунда β_{CC} бурчак фазода қуёшнинг ҳақиқий жойлашуви ва соддалашган формула ёрдамида топилган қуёш жойлашиши орасидаги фарқ жудаям кам ва 1.2 ва 4.5 бурчак минутларини ташкил этади, ҳамда кун давомида унчалик узгармайди. Демак, қуёш ва маҳаллий ярим кунни мослашишнинг вақт бўйича ноаниқлиги 10 сек ни ташкил этиши мумкин.

Бундан келиб чиқадики, қуёш ҳаракатининг соддалашган тенграмасидан фойдаланиб кузатувни кун давомида амалга ошириш мумкин. Дастурий кузатув алгоритмида демак, қуёш оғишини, азимутал ўқнинг новертикалли-

гини ҳисобга олганда кун давомида дастурий кузатишда қуёш ҳаракатининг соддалашган формуласини қўллаш мумкин.

ХУЛОСА

Турли мақсадларда фойдаланиладиган концентратор кузатиш аниқлигига қўйиладиган талабларни асослаш ва ишлаб чиқиш, оптик ва дастурий кузатиш тизими хатоликларини баҳолашнинг экспериментал ва ҳисоблаш методикаларини тадқиқ қилиш натижасида қуйидаги хулосалар қилинди:

1. Оптик кузатув тизими датчиклари классификацияси ўтказилган ва бир хил бурчак мослаштирилмаган ҳолда ва кузатув бурчаги 60° гача сигналларнинг максималлигини таъминлаб берувчи янги датчик конструкцияси ишлаб чиқилган.

2. Нуқтавий ва чизиқли концентраторнинг энергетик характеристикаларига кузатиш аниқлигининг таъсирини ҳисоблаш усули билан аниқлаш имконини берувчи модель ва алгоритм ишлаб чиқилиб, қуёш печлари концентраторлари учун кузатиш тизимидаги ноаниқликлар таъсири икки бурчак минутидан юқори бўлганда ҳосил бўлиши кўрсатилган.

3. Азимутал-зенитал йиғилган гелиостат ва концентраторлар ай-ланиш ўқи азимутининг новертикаллигини аниқлаш ва назорат қилиш учун янги услуб ва қурилма ишлаб чиқилган бўлиб, ушбу қурилма фазода азимут ўқи ҳолатини $0,5$ бурчак минут аниқлик билан ўлчаш имконияти яратилган.

4. Оптик кузатув тизимлари датчиги аниқлигини баҳолаш методикаси ва қурилмаси ишлаб чиқилган ҳамда кузатув датчиклари аниқлигини баҳолаш Катта Қуёш Сандонида ўтказилган.

5. Гелиостат, жумладан концентраторларнинг ҳаракатини характерловчи сигнал динамикаси, олдин тасаввур қилингандан бир қанча фарқланиб, айнан датчикнинг ишлаши сезгирлик чегарасида унинг аниқлигига боғлиқ бўлмаган ҳолда амалга ошиши кўрсатилган.

6. Илк бор қуёш ортидан гелиостат ва концентраторларнинг кузатув дастурий алгоритми Ер ўқи айланиш нутацияси ва прецессия, азимутал ўқ новертикаллиги асосий дастурий кузатиш параметрлари ҳисобга олинган ҳолда ишлаб чиқилган.

7. Кундузги кузатув дастури учун вақт бўйича 10 сек. аниқликда азимутал ўқининг новертикаллигини маҳаллий туш пайти билан қуёшнинг ярим кунлигини ҳисобга олган ҳолда қуёшнинг кўринадиган ҳаракатининг содда тенгламаси ишлатилиши мумкинлиги кўрсатилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSC.27.06.2017.FM./Т.34.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ,
ИНСТИТУТЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
САМАРКАНДСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

ИНСТИТУТ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

ОРЛОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМ СЛЕЖЕ-
НИЯ СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК**

05.05.06 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

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

Ташкент – 2018

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2017.3. PhD/T415

Диссертация выполнена в институте Материаловедения АН РУз.

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

Научный руководитель: **Клычев Шавкат Исакович**
доктор технических наук

Официальные оппоненты: **Искандаров Зафар Самандарович**
доктор технических наук, профессор

Эргашев Сирожиддин Фаёзович
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация: **Каршинский государственный университет**

Защита диссертации состоится «__» _____ 2018 года в ____ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.FM./T.34.01 при Физико-техническом институте, Институте ионно-плазменных и лазерных технологий, Самаркандском государственном университете. Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Бодомзор йўли, дом 2б. Административное здание Физико-технического института, зал конференций. Тел./факс: (99871) 235-42-91, e-mail: info.fti@uzsci.net.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Физико-технического института (зарегистрирована за №7). Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Бодомзор йўли, дом 2б. Физико-технический институт. Тел./Факс: (99871) 235-30-41.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2018 г.
(протокол рассылки № 7 от «__» _____ 2018 г.)

Н.Р. Авезова

Председатель научного совета по
присуждению ученых степеней,
д.т.н., с.н.с.

А.В. Каримов

Ученый секретарь научного совета по
присуждению ученых степеней,
д.ф.-м.н., профессор

И.Г. Атабаев

Председатель научного семинара при научном
совете по присуждению ученых степеней,
д.ф.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мировой практике в области использования Солнечной энергии вопросы повышения эффективности солнечных установок, повышение их технико-экономических показателей и коэффициента полезного действия, обеспечение оптимального рабочего режима считается важной задачей. В этом аспекте разработка систем слежения за видимым движением Солнца для повышения эффективности их использования является одним из основных задач.

На сегодня в мире большое внимание уделяется одной из важных проблем энерго- и ресурсосбережения, разработке систем слежения для Солнечных энергетических устройств, которое дает значительное повышение общей выработке рассматриваемых систем. В связи с этим перспективным является проведение целевых исследований в ниже приведенных направлениях: разработка алгоритмов программного обеспечения для систем слежения, усовершенствование энергетических и оптических характеристик концентрирующих систем, разработка методов повышения точности программных и оптических систем слежения концентраторов и гелиостатов, разработка эффективных оптических датчиков слежения, разработка методов определения погрешностей оптического и программного управления концентраторов солнечного излучения.

В соответствии со Стратегией действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан, необходимо обратить особое внимание на разработку эффективных механизмов внедрения достижений научных исследований, обеспечению конкурентоспособности производимых изделий на внутреннем и внешнем рынке. В «Год поддержки активного предпринимательства, инновационных идей и технологий» особого внимания заслуживает получение научных результатов, отвечающих современным требованиям научно-инновационного развития страны. В этом аспекте практическая реализация задач разработки систем слежения за Солнцем, обеспечивающих максимальную точность и обладающие высокими технологическими и эксплуатационными характеристиками является актуальными, которые являются неотъемлемой частью Солнечных электростанций (СЭС). В связи с этим, выработка требований к точности используемых систем наблюдения за концентраторами, разработка высокоточных оптических датчиков, а также увеличение продолжительности времени функционирования систем на их основе в течение светового дня является одной из важнейших задач.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач предусмотренных в Постановлении Президента Республики Узбекистан ПП–1442 «О приоритетных направлениях развития индустрии Республики Узбекистан на 2011-2015 гг.» от 15 декабря 2015 года, № УП-4947 «О мерах по дальнейшей реализации Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах» от 7 февраля 2017 года и №ПП-2789 «О мерах по дальнейшему со-

вершенствованию деятельности Академии наук, организаций, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертация выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан II «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение», а также IV «Развитие методов использования возобновляемых источников энергии, создание технологий и устройств на основе нанотехнологий, фотоники и других передовых технологий».

Степень изученности проблемы. В настоящее время проблемам изучения систем солнечного слежения, для определения наилучшей ориентации и захвата максимальной энергии Солнца, в рассматриваемых энергосистемах уделяется огромное внимание в ведущих научно-исследовательских институтах. В частности, учеными М. Хан из Государственного Университета Северной Каролины (США), Надя Аль – Роусан Малайзийского университета, Вальтер Нсенгиумба из Китая (Fujian Китай), Тахиром Маалтааллахом (University of Monastir) ведутся интенсивные исследования по разработке самых современных высокоточных систем слежения с оптимизированными параметрами. Кроме того, аналогичные исследования по разработке экономически эффективных конструкций и систем слежения с повышенной эффективностью проводятся в Национальной лаборатории по возобновляемой энергии (США) и Немецким центром DLR (Deutsches Zentrum (Германия)).

В России проблемами разработки систем слежения занимаются ученые ФТИ РАН им. А.Ф. Иоффе В.М. Андреев, НПО Астрофизика Н.П. Икрянников, а в ВИЭСХ В.В. Харченко. Предложенные системы слежения представляется перспективной для практического использования на СЭС, работающих в составе микросетей на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на удаленных территориях.

В работах академика Р.А. Захидова, Д.И. Тяплякова, Ш.И.Клычева и И.М Рубановича проведены экспериментальные и расчетные исследования по определению зависимости между выходным сигналом с датчика и углом рассогласования, отклонения оси концентратора прожекторного класса от центра Солнца (угол дефокусировки) на её энергетические характеристики. В этих исследованиях практически нерешенными остались задачи повышения точности слежения за Солнцем, с точки зрения обоснование необходимой точности слежения в зависимости от назначения концентратора и методах управления.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертационная работа. Работа выполнена в институте Материаловедения АН РУз и непосредственно связана с тематическими планами научных исследований прикладных проблем АН РУз «Расширение функцио-

нальной возможности БСП» 2005-2008 гг., и «Разработка и создание высоко-температурных солнечно энергетических установок с мощностью 3÷5 кВт для получения электрической, тепловой энергии и водорода одновременно» 2009-2011 гг.

Целью исследования является разработка датчиков оптических систем слежения и обоснование требований к точности слежения концентраторов различного назначения, разработка расчетных и экспериментальных методик оценки точности оптических и программ систем слежения.

В соответствии с поставленной целью решались следующие **задачи исследования**:

расчетно-экспериментальное исследование влияния точности оптического и программного слежения на концентрирующие и энергетические характеристики концентраторов, и обоснование требований к точности слежения концентраторов и гелиостатов;

разработка и исследование оптических датчиков слежения в непрерывном режиме;

разработка методики определения точности для оптических и программных систем слежения концентраторов солнечного излучения;

разработка алгоритма программного слежения гелиостатов Большой Солнечной Печи, учитывающей прецессию и нутацию земной оси и неперпендикулярность азимутальной оси вращения.

Объектами исследования являются концентраторы и гелиостаты солнечного излучения.

Предметом исследования являются датчики оптических систем слежения и алгоритмы программного слежения концентраторов и гелиостатов.

Методы исследования основаны на современных общепризнанных методах в области геометрической оптики, фотометрии, численного моделирования поля концентрации солнечного излучения и современных информационных технологий.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

определено и обосновано влияние точности слежения на энергетические и концентрирующие характеристики точечных и линейных концентраторов солнечного излучения, показано, что даже для концентраторов солнечных печей влияние точности слежения на концентрацию и потоки начинает проявляться при углах более двух угловых минут;

определены оптимальные параметры оптического датчика слежения, обеспечивающие максимальные разностные сигналы при одинаковых углах рассогласования и имеющего поле обзора до 60° ;

разработан способ и устройство для определения неперпендикулярности азимутальной оси вращения концентраторов и гелиостатов;

разработана методика экспериментального определения хода движения концентраторов и гелиостатов за Солнцем;

разработан алгоритм программного управления концентраторов и гелиостатов, учитывающий невертикальность азимутальной оси прецессию и нутацию оси земной сферы.

Практические результаты исследования:

разработанные методики и устройства, позволяют экспериментально определять точности оптических датчиков и движения концентратора и гелиостата при оптическом и программ слежения;

разработан и изготовлен опытный образец оптического датчика, отличающийся высокой чувствительностью, простотой конструкции и широким полем обзора до 60° ;

на основе исследования уравнений движения концентраторов (гелиостатов) солнечного излучения с учетом невертикальности азимутальной оси вращения разработан новый более точный алгоритм программного слежения концентраторов и гелиостатов.

Достоверность результатов исследований обусловлена применением основных законов геометрической оптики и фотометрии при разработке численных моделей концентрации, и подтверждается количественным и качественным согласием численных расчетов с экспериментальными данными, а также использованием независимых и взаимодополняющих методов измерения и обработки данных.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в расширении представлений о способах определения невертикальности азимутальной оси вращения концентраторов и гелиостатов.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты позволят контролировать положение азимутальных осей вращения, создавать более простые конструкции оптических датчиков, с оптимальными параметрами отличающиеся с высокой чувствительностью экономической эффективностью.

Внедрение результатов исследования. В результате проведенных исследований по разработке датчиков оптических систем слежения и обоснование требований к точности слежения концентраторов различного назначения, разработка расчетных и экспериментальных методик оценки точности оптических и программных систем слежения:

на способ определения невертикальности азимутальной оси вращения концентраторов получен патент на изобретение агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан «Способ определения невертикальности азимутальной оси вращения» (№ IAP 04953, 2014 год 30 сентября). Использование предложенного способа позволило обеспечить точное наблюдение за движением видимой части азимута Солнца;

устройство определения невертикальности азимутальной оси вращения гелиостатов использовано при управлении гелиостатами Большой Солнечной Печи Института Материаловедения (Справка № 2/1255-473 АН РУз. от

21.02.2018 г.). Использование устройства позволило обеспечить программное управление за движением гелиостатов

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертации доложены на 3 международных научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 9 научных трудах, из них 4 в международном журнале Applid Solar Energy, в 4 трудах международных конференций, получен 1 патент на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы и приложений, изложена на 130 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность темы диссертации и выбор объекта исследования и её связь с приоритетными направлениями развития науки и техники в Республике и мире, раскрыта степень изученности проблемы, сформулированы цели и задачи, выявлены объекты и методы исследования, изложена научная новизна исследования, приведены краткие сведения о внедрении результатов и апробации работы, а также об объеме и структуре диссертации.

В первой главе «Системы слежения концентраторов солнечного излучения – состояние вопроса» исходя из общих функций, выполняемых системой слежения концентраторов солнечного излучения проведен анализ состояния исследовательских работ по вопросам оптического и программного слежения, сформулированы задачи исследования.

Во второй главе «Исследование влияния точности солнечных система слежения на энергетические характеристики концентрирующих систем» приведены результаты расчетного исследования влияния точности слежения на концентрацию солнечного излучения.

В первой части рассматриваются связь между углом дефокусировки β и углом рассогласования α солнечных лучей с осью датчика и точностью слежения.

В общем случае точность слежения, или угол рассогласования α проявляется в том, что между осью концентратора и осевым лучом Солнца образуется некоторый угол дефокусировки β (рис. 1). Из рис. 1 (а) видно, что в концентраторном режиме слежения, угол дефокусировки β и неточности слежения α всегда равны, или

$$\alpha = \beta \quad (1)$$

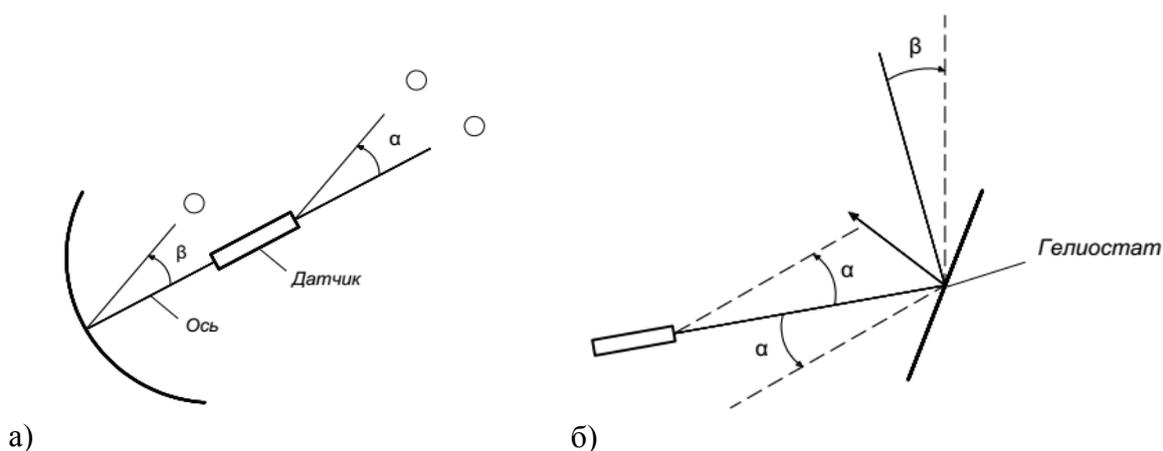


Рис. 1. Углы дефокусировки концентратора (а) и гелиостата (б)

В гелиостатном режиме ось датчика направлена по заданному направлению отражения и связь между углами α и β происходит через отраженный от гелиостата осевой луч Солнца. Из схемы на рис.1(б) видно, что и в этом

случае, когда угол дефокусировки β представляет угол, образуемый лучом, который идет вдоль оптической оси датчика и его направлением после отражения и действительным положением Солнца, при этом также имеет место условие (1).

Отсюда следует, что разделение неточностей слежения для концентраторного и гелиостатного режимов не имеет места и в обоих случаях выполняется условие (1). Однако, характер изменения этого угла при вращении концентратора и гелиостата различен. Так, если в концентраторном режиме для выборки β концентратор в пространстве надо повернуть на тот же угол β , то в гелиостатном режиме гелиостат надо повернуть на угол $\beta/2$.

Таким образом, условие (1) имеет общий характер, как для однозеркальных так и многозеркальных концентрирующих систем. Отметим, что углы α и β пространственные, а их выборка осуществляется и контролируется плоскими углами, различными для датчика и концентратора (гелиостата).

Так углы поворота концентратора по азимуту и высоте (в настоящее время в основном применяется азимутально-зенитальная монтировка) показывают насколько надо повернуть концентратор (гелиостат) для отработки угла дефокусировки (рассогласования), причем, эти проекции могут превышать сам угол дефокусировки. При этом проекции угла дефокусировки на плоскости датчика, являются плоскими проекциями угла рассогласования и, как следует из (1) не будут превышать углы дефокусировки.

Пусть для точного положения Солнца (c_0) углы азимута A_c и высоты h_c равны $A_c = A_1$ и $h_c = h_1$, а при наличии β (c) они будут равны A_2 и h_2 (рис. 2). При этом проекции β будут равны на горизонтальной плоскости $\beta_A = A_2 - A_1$, а на вертикальной $\beta_h = h_2 - h_1$.

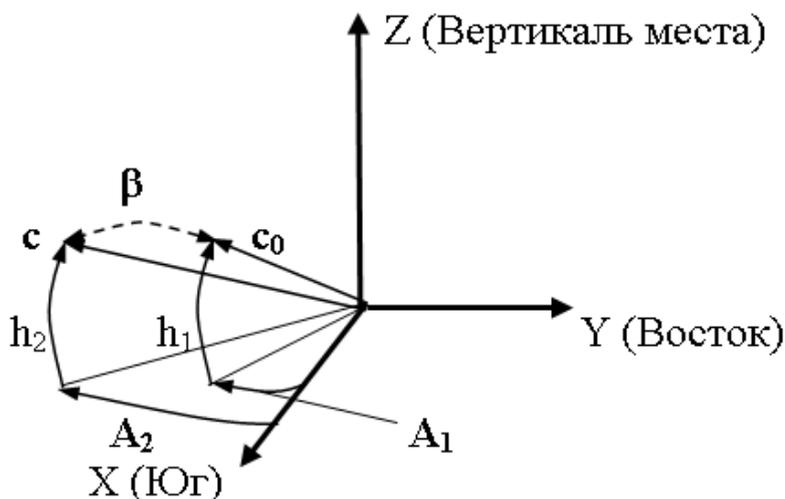


Рис. 2. К определению азимутальных и зенитальных проекций угла дефокусировки

Изменение угла дефокусировки β и его проекций β_A и β_h во времени для ($\delta = 23.5^\circ$) в течение малых промежутков времени для двух характерных времен дня приведены на рис. 3.

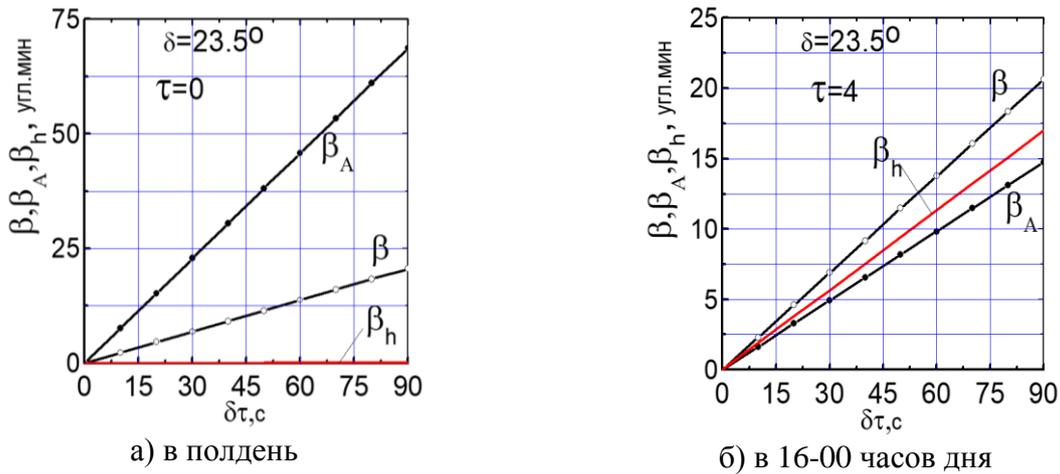


Рис. 3. Изменение во времени угла дефокусировки β Солнца и его проекций β_A и β_h во времени для $\varphi = 41^\circ$

Изменение угла дефокусировки Солнца β во времени зависит от времени года или склонения Солнца (δ). Её максимальное изменение будет происходить при $\delta = 0^\circ$, что ранее не отмечалось. Анализ показывает, что угол β , представляющий угол между различными положениями Солнца на её видимой траектории можно определять в виде.

$$\beta = \omega_3 * \tau * \cos \delta \quad (2)$$

где ω_3 – угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси, τ - время дня, а угловая скорость β , или её изменение во времени дня, когда δ можно принять постоянным будет равно

$$\beta' = \partial \beta / \partial \tau = \omega_3 * \cos \delta \quad (3)$$

Причем такой характер β и β' будет иметь место независимо от широты расположения концентратора. Также видно, что в полуденные часы β_A практически всегда больше самого угла дефокусировки β , а в ± 4 ч дня β всегда больше своих проекций.

Таким образом, использование проекций β для оценки проекций угла рассогласования α нецелесообразно.

Проекция угла α должны определяться в системе координат (СК), связанной с осью датчика и плоскостями слежения (обычно плоскости горизонта и вертикали), в которой имеем истинные значения α и её проекций α_A и α_h . Причем из (1) следует, что

$$\alpha_A = \beta * \cos \varepsilon; \quad \alpha_h = \beta * \sin \varepsilon, \quad (4)$$

где ε - угол наклона проекции траектории Солнца (или отраженного луча в плоскости, перпендикулярной оси датчика).

Итак, мы получили, что о влиянии точности слежения на энергетические характеристики можно судить по влиянию угла дефокусировки, однако, для перехода от β к α и её проекциям надо учитывать зависимости (1) и (4). Рассмотрим влияние угла дефокусировки β на концентрирующие характеристики концентратора, в фокусе и среднего по приемнику. В качестве масшта-

ба размеров и обобщения результатов исследования используем радиус солнечного пятна r_p , который для точного параболоида, равен

$$r_p = p^* \varphi_0 / [(1 + \cos U_0) * \cos U_0] \quad (5)$$

Влияние угла дефокусировки β на распределение облученности в фокальной плоскости точного параболоидного концентратора ($\sigma = 0$) приведено на рис. 4, для сравнения, для случая $\beta = 0$ дана также кривая облученности неточного концентратора с $\sigma = 8$ угл.мин. при $r_p = 31$ мм.

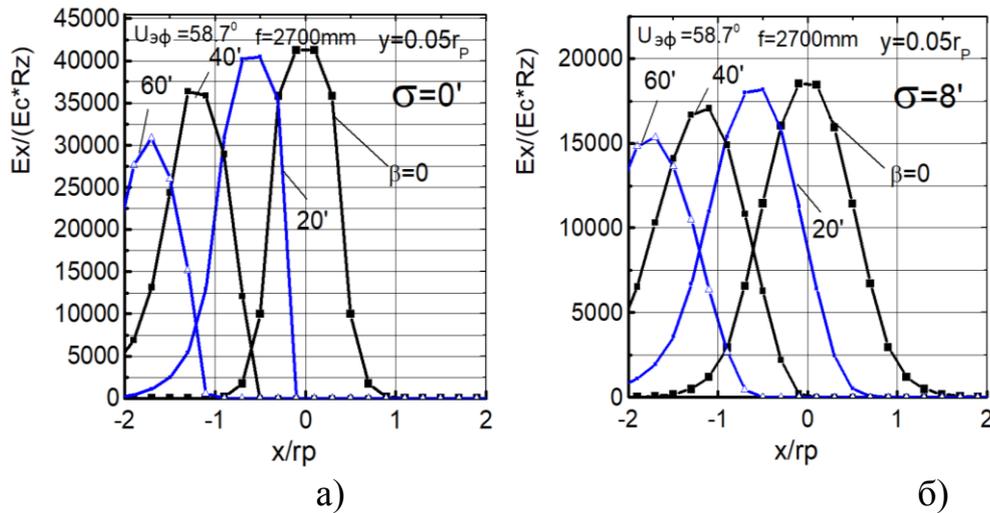


Рис. 4. Влияние угла дефокусировки β на распределение облученности в фокальной плоскости точного (а) и неточного (б) параболоидного концентратора

Как видно, для концентратора с $U_0 = 58.7^\circ$ можно выделить следующие характерные размеры радиусов пятна:

I - фокусная, до $r/r_p \approx 0.05$, где $C \approx 42324$ (при $\sigma = 0$) и $C \approx 18800$ (при $\sigma = 8$);

II - область высокой средней концентрации, до $r/r_p \approx 0.25$, где $C \approx 40440$ ($\sigma = 0$) и $C \approx 18100$ ($\sigma = 8$);

III - граница резкого спада кривой облученности, до $r/r_p \approx 0.35$ где $C \approx 38600$ при $\sigma = 0$ и для неточного до $r/r_p \approx 0.7$ где $C \approx 12200$ ($\sigma = 8$);

IV - граница пологой части кривой облученности, радиус которой для точного концентратора равен $r/r_p \approx 0.65$ и где $C \approx 20500$ ($\sigma = 0$), а для неточного $r/r_p \approx 1$ где $C \approx 8000$ ($\sigma = 8$). Т.е. и для случая неточного параболоидного концентратора средние концентрации в пятне достаточно высоки, причем, что важно практически и для неточного концентратора основной поток заключается в области пятна точного концентратора, т.е. в области $r/r_p \approx 1$.

На рис. 5 приведены зависимости изменения потоков на этих характерных площадках от β для точного ($\sigma = 0$) и неточного ($\sigma = 8'$) концентраторов. Для обобщения, потоки F_β на приемнике представлены в долях от потока $F_{\beta=0}$, падающего на эту площадку при $\beta=0$. Там же приведены значения $F_{\beta=0}$ от общего потока отраженного от концентратора F_p .

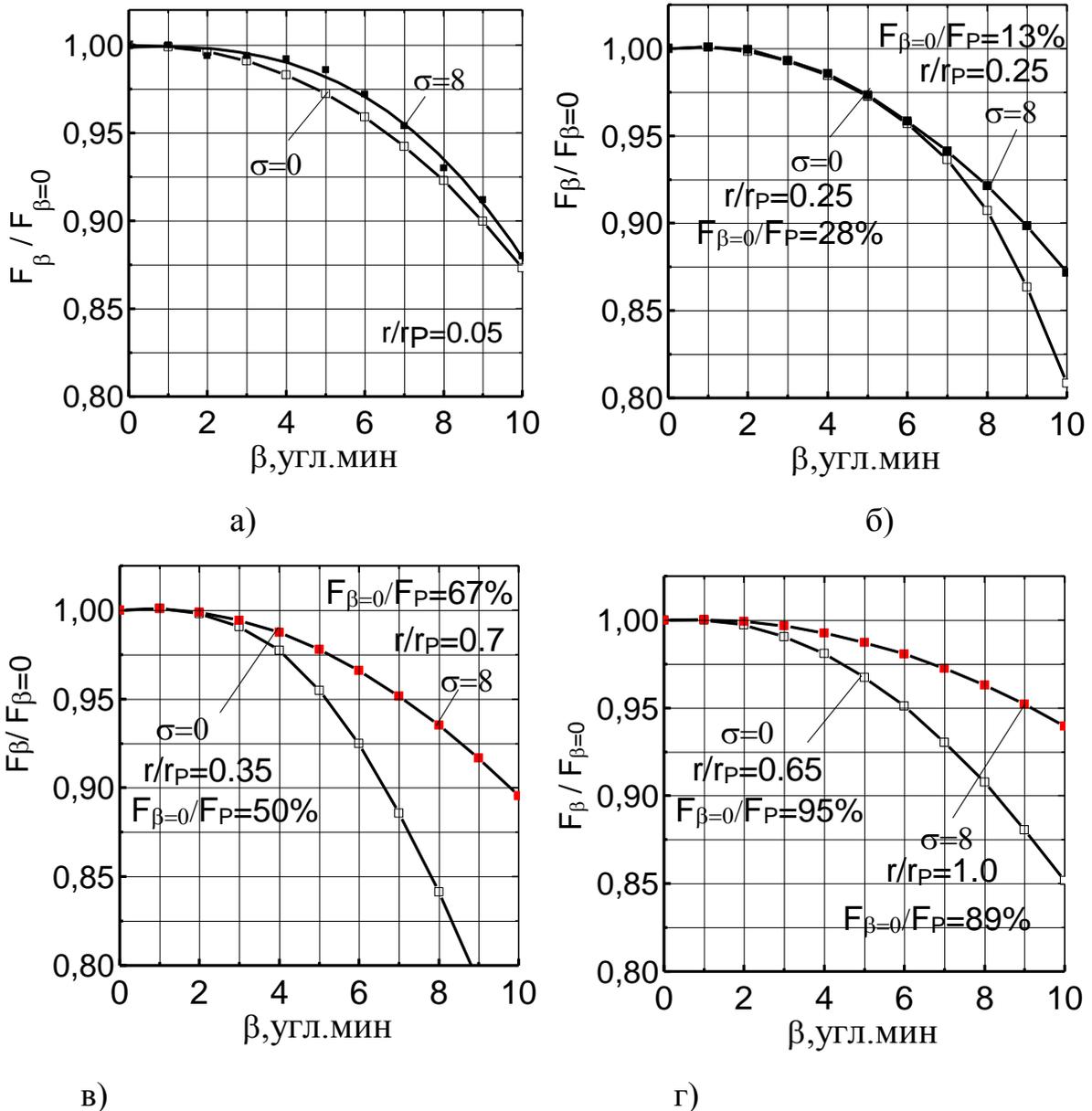


Рис. 5. Потоки $F_{\beta}/F_{\beta=0}$ на площадках различных радиусов r/r_P в фокальной плоскости параболического концентратора в зависимости от угла дефокусировки β

Отметим, что зависимость потока от β , полученная Захидовым Р.А. и Рубановичем И.М. в целом имеет тот же характер, однако при 10% уменьшения потока допуски по β составляют 16', откуда следует, что точность слежения должна быть не более 10' и зависит от неточности концентратора.

В целом, как видно углы дефокусировки до 5 угл. мин. практически не влияют на величину потока на приемнике. Эти зависимости потока концентрированного излучения в фокальной плоскости от угла дефокусировки фактически определяют требования и к точности слежения (1). Однако, как видно из (4) на самом деле неточности слежения в плоскостях датчика должны быть меньше углов дефокусировки и должны быть порядка $\beta/\sqrt{2}$.

Здесь явно видно различие между углом дефокусировки и точностью слежения, или углом рассогласования. Т.е. углы срабатывания системы сле-

жения α_a и α_h в плоскостях датчика должны составлять величины порядка

$$\alpha_a = \alpha_h = 0,7\alpha. \quad (6)$$

Т.е. точность слежения определяется углом срабатывания в одной из плоскостей и практически должна составлять порядка 0.7β . Причем можно отметить, что полученные зависимости для концентратора (точного и неточного) полностью применимы и к гелиостатам, как плоским, так и фокусирующим. Исходя из анализа распределения концентрированного потока в фокальной области концентратора, можно считать, что эти требования к точности слежения применимы и для случая неплоских приемников. Исследования по оценке требований к точности слежения линейных концентраторов показывают, что для реальных неточных линейных концентраторов требования к точности слежения могут быть ослаблены, или $\alpha_h = \alpha$. На основе проведенных исследований в табл. 1 представлены обобщенные требования к точности слежения концентраторов и гелиостатов.

Таблица 1.

Уменьшение потока от угла рассогласования α и требования к точности слежения при $\alpha_a = \alpha_h$ для неточного концентратора ($\sigma = 8'$)

$\alpha_c = \beta$, угл.мин.	$\alpha_a = \alpha_h$, угл.мин.	радиус площадки r/r_p			
		0.05	0.25	0.7	1.0
		$\Delta F / F_{\beta=0} = (1 - F_{\beta} / F_{\beta=0}) * 100\%$			
0	0	0	0	0	0
1	0.7	0	-0,1	-0,1	-0,03
2	1.4	0,6	0,1	0,1	0,08
3	2.1	0,6	0,7	0,6	0,3
4	2.8	0,8	1,5	1,2	0,8
5	3.5	1,4	2,7	2,2	1,3
6	4.2	2,8	4,2	3,4	1,9
7	4.9	4,6	5,9	4,8	2,8
8	5.6	7	8,0	6,5	3,7
9	6.3	8,8	10,0	8,3	4,8
10	7	12	13	10,4	6,0

В целом, как видно, точности слежения концентраторов могут находиться на уровне $3 \div 5$ угл. мин. по каждой плоскости датчика, а, следовательно, эти величины и определяют требования к точности оптических и программных систем слежения концентраторов солнечного излучения. Т.е. существующие в настоящее время требования к точности слежения концентраторов солнечных печей порядка 1 угл. мин. можно считать завышенными, в действительности, как следует из проведенных исследований они могут находиться на уровне $2'$ или $3'$.

В третьей главе «Расчетно-экспериментальное исследование точности оптического и программного слежения» приводятся результаты исследования факторов, влияющих на точности слежения – чувствительность оп-

тического датчика и невертикальность азимутальной оси вращения при программном слежении.

Анализ различных типов оптических датчиков слежения показал, что наиболее перспективной является схема датчика угла, основанная на принципе рассогласования потока на двух наклонных плоскостях (рис. 6).

Сигнал рассогласования ΔI этого датчика будет очевидно равен разности сигналов с первого (1) и второго (2) приемника по рис.6., или

$$\Delta I = I_1 - I_2 = k * (\Phi_1 - \Phi_2) \quad (7)$$

где Φ_1 и Φ_2 – потоки, падающие на приемники, k – коэффициент преобразования потока приемником.

Из рис. 6 следует, что (7) можно представить в зависимости от основных параметров задачи – угла между приемниками γ и угла рассогласования α , или

$$\Delta I = 2 * k * (1 - r) * S * \sin \gamma * \sin \alpha \quad (8)$$

Как видно, в данной схеме датчика угла явно появляется коэффициент отражения и площадь приемника, которая позволяет увеличивать разностный сигнал, что практически важно для повышения чувствительности и уменьшения влияния погрешностей усиления сигнала (в других типах датчиков угла этот параметр явно не представлен). Представляет практический интерес вопрос об оптимальном угле наклона приемников γ или оптимальном значении угла при вершине пирамиды β . Для определения оптимального γ необходимо решить уравнение

$$\partial(\Delta I) / \partial \gamma = 0 \quad (9)$$

При этом возможны два основных случая: 1 - коэффициент отражения фотоприемника r не зависит от угла падения лучей; 2 - r зависит от угла падения лучей α . Для первого случая из (9) получаем оптимальное значение $\gamma = 90^\circ$, или $\beta = 0$. Для второго случая, когда r зависит от угла падения лучей и определяется формулами отражения Френеля решение (9) имеет более сложный вид и решалось численно. Для обобщения результатов (рис. 7) зависимость разностного сигнала была представлена в виде $\Delta I / (2 * k * S)$.

Как видно из рис. 7 для второго случая оптимальное значение γ составляет около 70° , или оптимальный угол пирамиды $\beta = 40^\circ$. Также видно, что изменение сигнала в области максимума достаточно плавное. Отсюда следует, что на практике при выборе угла пирамиды имеем некоторый диапазон углов. Например, при допустимом уменьшении сигнала на 5% от максимального значения, диапазон допустимых γ составит от 61° до 77° или диапазон изменения оптимальных углов пирамиды β составит от 58° до 26° . Полученные результаты могут быть использованы при проектировании чувствительного элемента датчика угла и повысить точность оптического слежения за Солнцем.

Важный практический вопрос при разработке датчиков это определение зависимости между выходным сигналом с датчика и углом рассогласова-

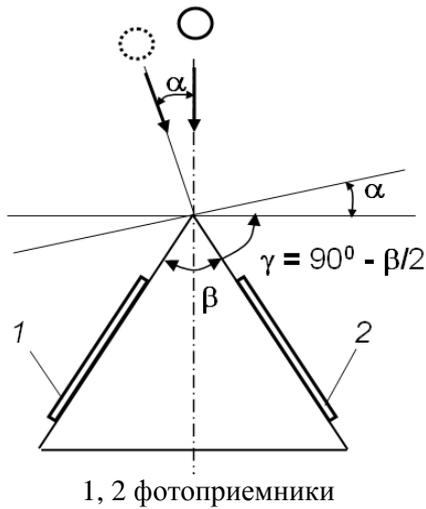


Рис. 6. Схема датчика угла на принципе рассогласования потока

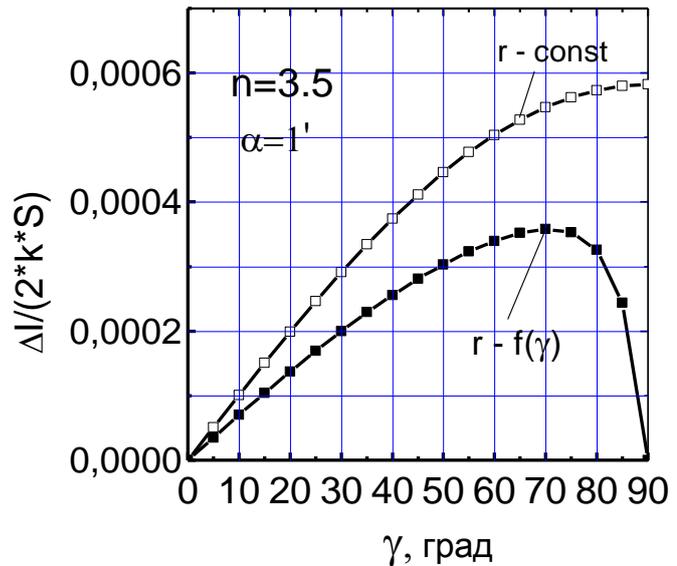


Рис. 7. Зависимость разностного сигнала от угла наклона приемников γ при $\alpha = 1'$ для случаев ($r = \text{const}$) и ($r = f(\gamma)$)

ния. По методике, предложенной Захидовым Р.А. и Тепляковым Д.И. один из путей решения этой задачи, это натурные эксперименты по методу неподвижного концентратора. Схема применения этого метода для датчика слежения приведена на рис. 8.

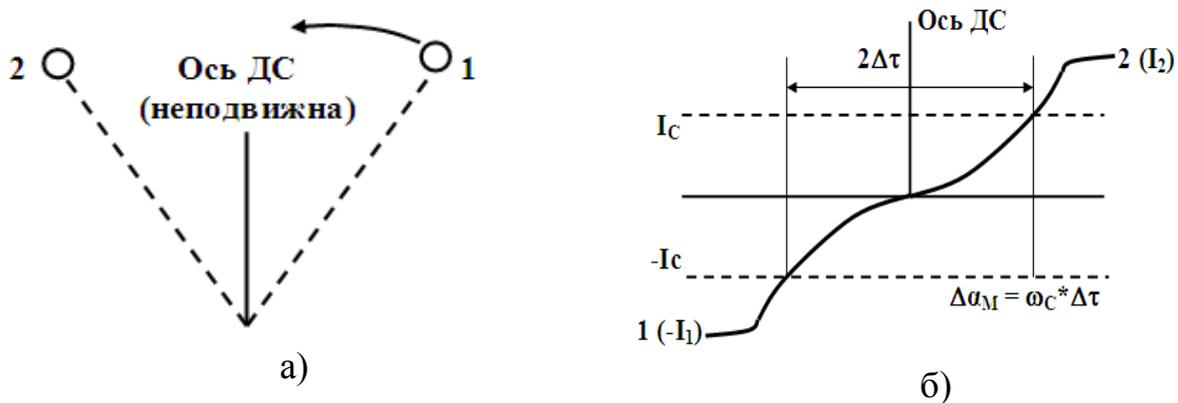


Рис. 8. Схема определения зависимости между углом рассогласования и выходным сигналом слежения (а) и возможный вид кривой сигнала (б)

С помощью разработанного способа можно определять не только угловые характеристики системы слежения, но и угловую величину «мертвой зоны». Суть применения этого метода для определения точностных характеристик ДС заключается в том, что оптическую ось датчика выставляем в опережающее относительно Солнца положение (рис. 8(а)), в результате имеем минимальное значение выходного сигнала. Если нам дан приведенный во времени угол $\Delta\alpha_M$ на рис. 8(б) то из кривой динамики её изменения можно определить величину угла «мертвой» зоны системы слежения. Этот метод и устройство на основе высокочувствительного теодолита можно использовать также для определения точности программированного слежения.

Для снятия кривой изменения сигнала во времени, нами было разработано устройство типа АЦП с аналоговым входом и дискретностью шага измерения от $0.01c$ до $1c$ (рис.9).

Один из основных факторов, влияющих на точность программного слежения это неперпендикулярность азимутальной оси вращения концентратора (гелиостата).

Схема определения влияния неперпендикулярности на точность программного слежения и основные системы координат задачи приведены на рис. 9, где $СКМ$ - местная система координат с осью OZ по вертикали места и $СКН$, связанная с осями вращения гелиостата.

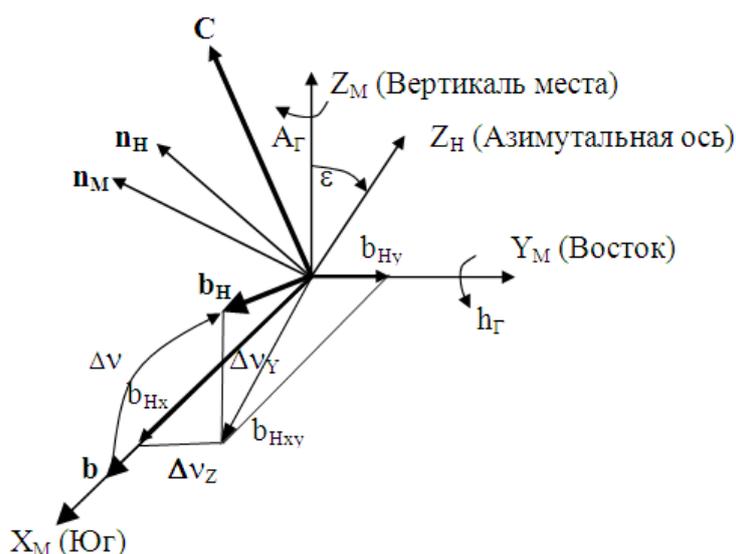


Рис. 9. Схема определения влияния неперпендикулярности азимутальной оси на точность программного слежения

Пусть азимутальная ось вращения гелиостата, отклонена от вертикали на угол ϵ . При повороте гелиостата вокруг азимутальной оси на расчетный угол A_G , будет происходить отклонение луча b_H от расчетного направления b , на некоторый малый угол Δv . Пространственный угол ϵ определим через два плоских угла ψ (в плоскости меридиана) и θ (в широтной плоскости), или $\epsilon = (\psi^2 + \theta^2)^{0.5}$.

Угол Δv между единичными векторами лучей b и b_H , ввиду его малости удобнее определять через векторное произведение векторов этих лучей.

$$\Delta v = \arcsin (|b \times b_H|) \quad (10)$$

Угол Δv также можно определить и через плоские углы, представляющие разность плоских углов вектора b_H (v_{HZ} - угол между b_{Hxy} и b_{Hx} и v_{Hy} - угол между b_H и b_{Hxy} , рис. 10) и аналогичных углов вектора b (т.к. b лежит на оси OX_M то $v_Z = 0$, $v_Y = 0$), или отклонение луча будет равно

$$\Delta v = (\Delta v_Z^2 + \Delta v_Y^2)^{0.5} \quad (11)$$

где

$$\Delta v_Z = v_{HZ} - v_Z = \arcsin(b_{HY}/b_{HXY}) - \arcsin(b_Y/b_{XY}) \quad (12)$$

$$b_{HXY} = (b_{HX}^2 + b_{HY}^2)^{0.5}, b_{XY} = (b_X^2 + b_Y^2)^{0.5} \quad (13)$$

$$\Delta v_Y = v_{HY} - v_Y = \arcsin(b_{HZ}) - \arcsin(b_Z) \quad (14)$$

Отметим, что все указанные вектора предварительно должны быть выражены на одной из систем координат. Схема решения задачи в общем случае имеет вид:

1. Вектор Солнца c и отраженного луча b задаем в $СК_M$.
2. Для заданного времени определяем положение вектора Солнца c и положение вектора нормали гелиостата n_H в $СК_H$.
3. Переводим n_H в $СК_M$ и определяем реальное направление отраженного луча b_H , который таким образом также будет в $СК_M$.

Для принятого направления вектора осевого луча Солнца c , составляющие вектора b_H в $СК_M$ будут равны

$$\begin{aligned} b_{HX} &= 2*(n_H*c)*n_{HX} - c_X \\ b_{HY} &= 2*(n_H*c)*n_{HY} - c_Y \\ b_{HZ} &= 2*(n_H*c)*n_{HZ} - c_Z \end{aligned} \quad (15)$$

где $n_H*c = n_{HX}*c_X + n_{HY}*c_Y + n_{HZ}*c_Z$.

Далее по (10)-(15) определяем проекции b и её плоские углы v_Z и v_Y (в гелиостатном режиме направление b задается). Далее, не нарушая общности задачи, принимаем, что b направлено по оси OX_M (т.е. $v_Z = 0$, $v_Y = 0$), это соответствует режиму работы гелиостатов БСП в Паркенте.

На рис. 10 приведены плоские углы отклонения луча b_H - v_{ZH} , v_{YH} , (индексы на рис. 10 опущены) от расчетного положения во времени (в угл. мин.) для трех характерных случаев отклонения азимутальной оси от вертикали: (а) - в меридиональной плоскости; (б) - в широтной плоскости; (в) - отклонение в двух плоскостях.



Рис. 10. Плоские углы отклонения луча b_H от расчетного положения во времени (в угл. мин.) для трех характерных случаев отклонения азимутальной оси от вертикали

Как видно, наибольшее влияние имеем для случая, когда отклонение азимутальной оси происходит в меридиональной плоскости. Наименьшее влияние имеем при отклонении оси в широтной плоскости. Однако и в этом случае оно практически того же порядка, что и ε . Можно также отметить, что процесса накопления угла отклонения в течение дня, как было получено ранее не происходит. С увеличением ε отклонения увеличиваются пропорционально. В целом, как видно, требования к неvertикальности достаточно высоки, и ε не должен превышать $1' - 3'$, особенно в меридиональной плоскости.

В четвертой главе «Разработка и внедрение оптического и программного слежения на БСП» приведены результаты реализации разработанных методик и устройств. При создании датчика, кроме оптимизации наклона фотоприемников учитывались вопросы упрощения конструкции и её технологичности в изготовлении.

На рис. 11 приведены кривые выходного сигнала датчиков, эксплуатируемого на БСП - 1 и разработанного - 2. Как видно, характеристики датчика БСП достаточно высоки и при $\pm 10\%$ отклонении сигнала зона нечувствительности не превышает $\pm 0,5$ угл.мин.

На рис. 12 приведена блок - схема программного слежения концентратора (гелиостата). Для реализации программного слежения необходимо в первую очередь (рис. 14) знать уравнения видимого движения Солнца и неvertикальность азимутальной оси.

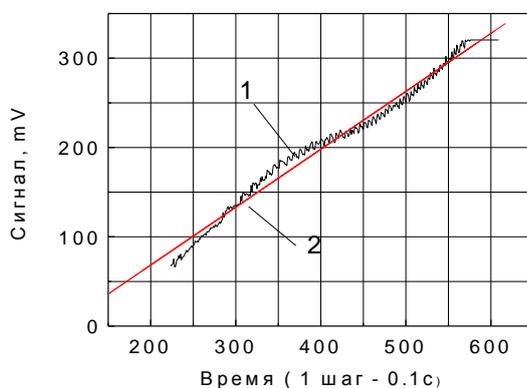


Рис. 11. Зависимости выходного сигнала ЧЭ датчика от угла рассогласования (времени)

И т.к. солнечный полдень может не совпадать с местным полднем возникают следующие задачи: определение допусков на момент включения программного слежения; определение возможности использования упрощенного алгоритма движения Солнца для определения угловых скоростей в реальных осях вращения.

Алгоритм определения времени полуденного положения Солнца в местной системе координат, позволяющий определять момент включения ПСС представляет численное решение алгоритма Joseph J. Michalsky для местного

полудня (или другого в принципе момента времени) и связана с задачей определения возможности использования упрощенного алгоритма движения



Рис. 12. Блок-схема программного слежения

Солнца.

На рис. 13 приведены разности между истинными углами азимута (da) и высоты Солнца (dz) и углами (β_{CC}), получаемыми по упрощенным уравнениям при совмещении местного и действительным полудня Солнца (a) и в целом годовые отклонения полудня Солнца от местного полудня по Мосальски (b).

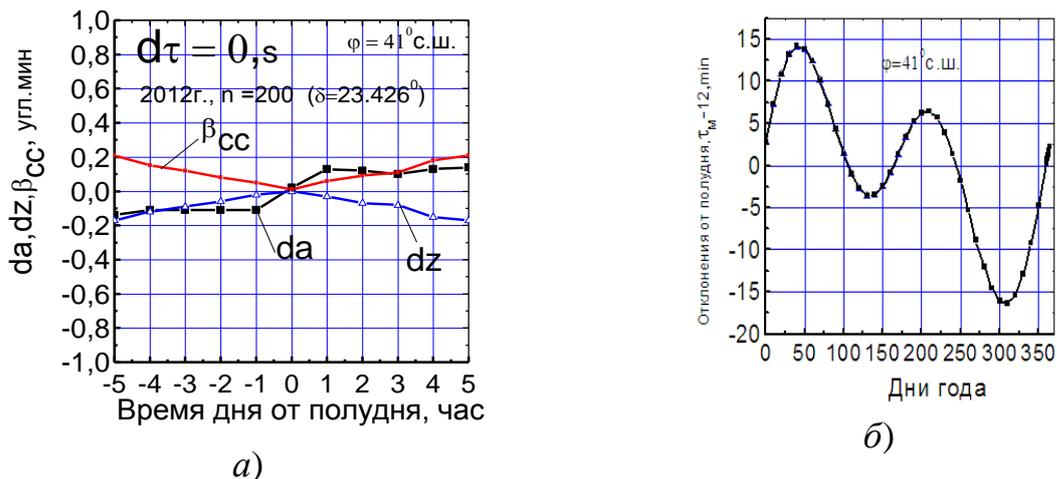


Рис. 13. Различие в углах азимута (da), зенита (dz) между точными и упрощенными формулами и углом между точным и приближенным положением Солнца (β_{CC}) (a) и время отклонения действительного полуденного положения Солнца τ_m от местного полудня в 2012г. для северной широты 41° (b)

Как видно, при точном совмещении полудней, различия между углами достаточно малы и лежат в пределах алгоритма Joseph J. Michalsky.

В связи с этим были рассмотрены допуски на точность совмещения местного и солнечного полудня. Исследования показали, что при $\Delta\tau = 5\text{с}$ погрешности определения азимута и высоты Солнца по упрощенным уравнениям в течении дня находятся на уровне до $3'$ по азимуту и до $\pm 1'$ по зениту, а при $\Delta\tau = 10\text{с}$ максимальные отклонения по азимуту составляют около $7'$, а по зениту до $\pm 2'$. Причем угол β_{CC} между действительным положением Солнца в пространстве и его положением, определяемым по упрощенным формулам

значительно меньше и составляет соответственно 1,2 и 4,5 угл. мин, причем она незначительно изменяется в течение дня.

Т.е. в принципе временные неточности совмещения солнечного и местного полудней могут составлять до 10 с.

Отсюда следует, что в принципе, непрерывное слежение осуществляется до захода Солнца, а далее концентратор (гелиостат) переводится в утреннее положение, то как видно возможно применение упрощенных уравнений движения Солнца. Т.е. в первом приближении в алгоритме программного слежения достаточно учета склонения Солнца, невертикальности азимутальной оси и использование упрощенных уравнений движения Солнца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе исследований по разработке датчиков оптических систем слежения, обоснование требований к точности слежения концентраторов различного назначения, по разработке расчетных и экспериментальных методик оценки точности оптических и программных систем слежения сделаны следующие выводы:

1. Проведена классификация датчиков оптических систем слежения концентраторов за Солнцем и разработана новая конструкция оптического датчика, обеспечивающая максимальные сигналы рассогласования и угол обзора до 60° .

2. Разработана модель и алгоритм, который позволяет расчетным способом определить влияния точности слежения на энергетические характеристики точечных и линейных концентраторов. Показано, что и для концентраторов солнечных печей влияние точности слежения начинает проявляться при углах более двух угловых минут;

3. Разработан новый способ и устройство для определения и контроля невертикальности азимутальной оси вращения концентраторов и гелиостатов с азимутально - зенитальной монтировкой, позволяющий определять положение азимутальной оси в пространстве за одно измерение с точностью до 0.5 угл. мин.

4. Разработана методика и устройство для оценки точности датчиков оптических систем слежения и программного слежения, и проведены оценки точности датчиков слежения на БСП.

5. Показано, что динамика сигнала, характеризующая движение гелиостата, в том числе концентраторов существенно отличается от ранее имевшихся представлений, а именно работа датчика происходит на границе чувствительности, причем независимо от её точности.

6. Впервые разработан алгоритм программного слежения концентраторов и гелиостатов за Солнцем, учитывающий невертикальность азимутальной оси, а также прецессию и нутацию оси вращения Земли.

7. Показано, что для дневного программного слежения могут быть использованы упрощенные уравнения видимого движения Солнца с учетом невертикальности азимутальной оси при совмещении местного полудня с по-

луднем Солнца с точностью включения программного слежения по времени до 10с.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING OF THE SCIENTIFIC DEGREES
DSc.27.06.2017.FM/T.34.01 AT PHYSICO-TECHNICAL INSTITUTE, IN-
STITUTE OF ION-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES,
SAMARKAND STATE UNIVERSITY**

INSTITUTE OF MATERIAL SCIENCES

ORLOV SERGEY ALEKSANDROVICH

**JUSTIFICATION OF PARAMETERS AND DEVELOPMENT OF TRACK-
ING SYSTEMS OF SOLAR INSTALLATIONS**

**05.05.06 – Power installations on the base of renewable
energy sources**

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

TASHKENT – 2018

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.3.PhD/T415

Dissertation has been prepared at Institute of Material Sciences.

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

Scientific supervisor:

Klichev Shavkat Isakovich
doctor of technical sciences

Official opponents:

Iskandarov Zafar Samandarovich
doctor of technical sciences, professor

Ergashev Sirojiddin Fayozovich
doctor of technical sciences, professor

Leading organization:

Qarshi state university

Defense will take place « ____ » _____ 2018 at _____ at the meeting of Scientific council number DSc.27.06.2017.FM/T.34.01 at Physico-technical Institute, Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Samarkand State University (Address: 100084, Uzbekistan, Tashkent city, 2b, Bodomzor yoli str., Phone: (99871) 235-42-91, e-mail: info.fti@uzsci.net, Meeting Room of Physico-technical Institute).

Doctoral dissertation is possible to review in Information-resource centre at Physico-technical Institute (is registered № 7) Address: 100084, Uzbekistan, Tashkent city, 2b, Bodomzor yoli str., Phone: (99871) 235-30-41.

Abstract of dissertation sent out on « ____ » _____ 2018.

(Mailing report № 7 on « ____ » _____ 2018).

N.R. Avezova

Chairman of scientific council
on award of scientific degrees,
doctor of sciences in technical sciences

A.V. Karimov

Scientific secretary of scientific council
on award of scientific degrees,
doctor of sciences in physics and mathematics, professor

I.G. Atabaev

Chairman of scientific Seminar under Scientific
council on award of scientific degrees,
doctor of sciences in physics and mathematics, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of research work is to develop sensors for optical tracking systems and to justify the requirements for tracking accuracy of concentrators for various purposes, development of computational and experimental methods for estimating the accuracy of optical and tracking programs.

The object of the research work are concentrators and heliostats of solar radiation.

Scientific novelty of the research work consists of the following:

the influence of the tracking accuracy on the energy and concentrating characteristics of point and linear solar radiation concentrators is determined and justified, it is shown that even for concentrators of solar furnaces, the effect of tracking accuracy on concentration and fluxes begin to appear at angles of more than two angular minutes;

optimal parameters of the optical tracking sensor that provide maximum difference signals at identical angles of error and have a field of view up to 600 are determined;

a method and device for determining the non-verticality of the azimuth axis of rotation of concentrators and heliostats are developed;

a technique has been developed for the experimental determination of the motion of concentrators and heliostats at the Sun;

developed an algorithm for program control of concentrators and heliostats, taking into account the non-vertical nature of the azimuth axis precession and nutation of the Earth's axis.

Implementation of the research results. As a result of studies on the development of sensors for optical tracking systems and the requirements for tracking accuracy of concentrators for various purposes, development of computational and experimental methods for assessing the accuracy of optical and software tracking systems;

a method for determining the non-verticality of the azimuth axis of rotation of concentrators, a patent was obtained for the invention of an intellectual property of the Republic of Uzbekistan "Method for determining the non-verticality of the azimuth axis of rotation" (No. IAP 04953, 2014 September 30). The use of the proposed method made it possible to provide an accurate observation of the motion of the visible part of the azimuth of the sun;

the device for determining the non-verticality of the azimuth axis of rotation of heliostats was used in the control of heliostats of the Large Solar Furnace of the Institute of Materials Science (Reference No. 2 / 1255-473 of the Uzbek Academy of Sciences of February 21, 2018).

Structure and scope of the thesis. The thesis consists of an introduction, 4 chapters, conclusion, a list of references and applications, outlined in 130 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙЎХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (1 часть; part 1)

1. Патент РУз №IAP 04953 Расмий ахборотнома. – 2014. Б № 8 / Способ определения невертикальности азимутальной оси вращения. / Бахрамов С.А., Клычев Ш.И., Абдурахманов А.А., Орлов С.А., Сарибоев А.С. Бюлл. №9 от 30.09.2014.
2. A.A. Abdurakhmanov, S.A. Orlov, A.S. Saribaev, Kh.K. Fazilov. The Influence of the Nonverticality of the Azimuthal Rotation Axis of the Concentrator (Helio-stat) on Program Tracking Accuracy. //APPLIED SOLAR ENERGY –USA, 2010. Vol 46, № 4, -P. 313-315. [05.00.00; №4].
3. A.A. Abdurakhmanov, S.A. Orlov, S.A. Bahramov, A.V. Burbo, Sh. I. Klychev, Kh.K. Fazilov. On Sun Tracking Accuracy of Concentrators // APPLIED SOLAR ENERGY USA, 2010. Vol 46, № 4, -P.316-318. [05.00.00; №4].
4. Sh. I. Klychev, A.K. Fazylov, S.A. Orlov, A.V. Burbo. Design Factors of Sensors for the Optical Tracking Systems of Solar Concentrators. // APPLIED SOLAR ENERGY USA, 2011. Vol 47, № 4, -P. 321-322. [05.00.00; №4].
5. Орлов С.А. Алгоритм учета невертикальности азимутальной оси концентратора при программном слежении. // Гелиотехника-Ташкент, 2017. -№1.- С. 44-47. [05.00.00; №1].

II бўлим (2 часть; part 2)

6. Орлов С.А., Клычев Ш.И. Особенности программного слежения концентраторов (гелиостатов) за Солнцем. 4-я Международная конференция «Актуальные проблемы развития мировой науки». Киев. 2018. С. 80-86.
7. Орлов С.А., Клычев Ш.И. Влияние невертикальности азимутальной оси гелиостата. 4-я Международная конференция «Актуальные проблемы развития мировой науки». Киев. 2018. С. 86-90.
8. Орлов С.А., Клычев Ш.И. Алгоритм компенсации погрешностей осей вращения гелиостатов при программном слежении за Солнцем. Труды международной конференции "Фундаментальные и прикладные вопросы физики", секция III., Ташкент, 13-14 июня 2017. С 186-190.
9. Клычев Ш.И., Бахрамов С.А, Абдурахманов А.А., Сарибоев А.С., Орлов С.А. Алгоритм программного управления концентраторов (гелиостатов) Солнечного излучения. Труды международной практической конференции Инновация 2010. Ташкент, 2010. С 229-230.

Автореферат «Til va adabiyot ta'limi» журналі тахририятида тахрирдан ўтказилиб, ўзбек рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди.
(05.12.2017)