

ҚҰТТЫБАЙ НҰРЖІГІТ БАҚЫТҰЛЫ

Күнге оңтайлы бағытталатын және сымсыз байланыс негізінде бақыланатын автоматтандырылған фотоэлектрлік жүйелерді жасау

6D071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар

Философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесшілер:
Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ
PhD, профессор м.а.
Саймбетов Ахмет Куанышбаевич

Professor of Department of Electrical
Engineering, Faculty of Engineering,
University of Malaya
Dr. Saad Mekhilef

МАЗМҰНЫ

АНЫҚТАМАЛАР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР	4
КІРІСПЕ.....	5
1 КҮНГЕ БАҒЫТТАЛУШЫ ФОТОЭЛЕКТРЛІК ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ЗАМАНАУИ ЖАЙ КҮЙІ МЕН МӘСЕЛЕЛЕРІ.....	12
1.1 Күнге бағытталушы фотоэлектрлік жүйелердің түрлері және бақылау әдістері.....	12
1.1.1 Температуралық сенсорларға негізделген пассивті күнді бақылау әдісі.....	20
1.1.2 Оптикалық сенсорларға негізделген активті күнді бақылау әдісі.....	22
1.1.3 Күннің қозғалыс траекториясы кестесіне негізделген күнді бақылау әдістері.....	29
1.2 Күнге оңтайлы бағытталушы фотоэлектрлік жүйелердің жұмыс жасауының математикалық моделі.....	33
1.3 Максималды қуат нүктесін анықтау әдісін фотоэлектрлік жүйелерге қолдану арқылы тиімділігін арттыру.....	40
1.4 Фотоэлектрлік жүйелерді қашықтықтан бақылау және басқару.....	52
2 ТИІМДІ ЖҰМЫС ЖАСАЙТЫН БІР ОСЬТІ ЖӘНЕ ЕКІ ОСЬТІ КҮНГЕ ОҢТАЙЛЫ БАҒЫТТАЛУШЫ ФОТОЭЛЕКТРЛІК ЖҮЙЕЛЕР.....	61
2.1 Жүйелердің құрылымдық ерекшеліктері.....	61
2.2 Жүйелерді басқарушы электронды блогының құрылымы.....	65
2.3 Басқару алгоритмдерінің ерекшеліктері.....	68
2.4 Тәжірибе нәтижелері. Бір осьті және екі осьті күнге бағытталушы жүйелердің жұмыс жасау тиімділігін есептеу.....	74
2.5 Бағдарламалық есептеулер жүргізу арқылы жүйелерді модельдеу.....	85
3 ЖҮЙЕНІҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ЖӘНЕ СЫМСЫЗ МОНИТОРИНГТІК БАСҚАРУ.....	95
3.1 Фотоэлектрлік жүйелерден өндірілген энергияны тиімді түрлендіруді жүзеге асыру.....	95
3.1.1 Фотоэлектрлік модульдің моделін құрастыру және сипаттамаларын қарастыру.....	95
3.1.2 Максималды қуат нүктесін бақылау жүйесінің жасалу ерекшелігі және құрылымдық сұлбасы.....	99
3.1.3 Ауытқу және қадағалау әдісіне негізделген МКНБ жүйесінің жұмыс жасау алгоритмі және оның моделі.....	101
3.1.4 Тәжірибе нәтижесі және талқылаулар.....	103
3.2 Фотоэлектрлік жүйелерді қашықтықтан сымсыз бақылауды және басқаруды тиімді жүзеге асыру.....	107
3.2.1 Жүйенің жасалу құрылымы және атқаратын қызметі.....	107
3.2.2 Мониторинг жүйесінің интерфейстік бағдарламасын құрастыру.....	110
3.2.3 Сымсыз қашықтықтан бақылау және басқару жүйесі жұмысының тәжірибе нәтижесі.....	114

ҚОРЫТЫНДЫ.....	116
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	118

АНЫҚТАМАЛАР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

LDR	- Light-dependent resistor, фоторезистор
CNC	- Computer numerical control, сандық бағдарламалық басқару
GPS	- Global Positioning System, жаһандық позициялау жүйесі
BeiDou	- Қытайдың жаһандық спутниктік навигация жүйесі
GSM	- Global System for Mobile Communications, Ұялы байланыстың ғаламдық жүйесі
OPAL-RT	- Электроника мен энергетикалық жүйелердің қосымшаларында қолдануға арналған модельдеу бағдарлама
SD card	- Secure Digital Memory Card, сандық ақпаратты сақтау үшін пайдаланылатын ықшамдалған электронды құрылғы
МҚНБ	- Максималды қуат нүктесін бақылау
ЕИМ	- Ендің-импульстік модуляция

КІРІСПЕ

Жұмыстың жалпы сипаттамасы

Диссертациялық жұмыста сымсыз байланыс негізінде бақыланатын және басқарылатын, күнге оңтайлы бағыттталатын автоматтандырылған бір осьті және екі осьті фотоэлектрлік жүйелерді зерттеу нәтижелері келтірілген.

Жұмыстың өзектілігі

Пайдалы қазбалардың сарқылуы және экологияның қауіпті деңгейге дейін нашарлауы салдарынан қазіргі таңда дамыған әлем елдерінде басты мәселелердің бірі таза және сарқылмайтын энергия көздеріне көшу болып табылады. Нәтижесінде жел энергиясы, су энергиясы, күн энергиясы, геотермалдық энергия және т.б. қайта қалпына келетін энергия көздерін пайдаланудың бірнеше әдістері жүзеге асырылуда. Аталған баламалы энергия көздерінен пайдалану мен техникалық қызмет көрсетудің қарапайымдылығына байланысты, бүгінгі таңда күн батареялары жиі қолданылады. Фотоэлектрлік модульдер арқылы өндірілетін электр қуаты олардың бетіне түсетін күн энергиясының мөлшеріне тікелей байланысты. Алайда, өнеркәсіпте жасалатын күн батареяларының өнімділігі төмен болғандықтан, ғалымдар тиімділігі жоғары жаңа материалдарды ойлап табуда. Бірақ, олардың өндірісте жасалу технологиясы күрделеніп, құны арта түседі. Сонымен қатар, күн сәулесі, бұлт, тұман, температура және шаң-тозаң сияқты әртүрлі қоршаған орта жағдайларының тұрқсыз өзгерісі фотоэлектрлік қондырғылардың түрлендіретін энергиясына бірден әсер етеді.

Күн батареясының кеңістікте орнатылған бағыты оның энергия түрлендіруіндегі жұмысына айтарлықтай маңызды әсер етеді. Күн электр станциясын жасауда, географиялық ендікке байланысты орнаталатын күн батареясын көкжиекке оңтайлы бұрышпен орнатқан кезде келесідей мәселелер туындайды: күннің шығу уақытында және күннің батысы кезінде көп мөлшерде энергия жоғалтуы, жыл бойына жүйені көкжиекке оңтайлы орнату бұрышының өзгерісі күн батареясының тиімділігін төмендетеді.

Жер бетіне түсетін күн сәулесін спектрлік сипаттамаларына байланысты 3 негізгі топқа жіктеуге болады: инфрақызыл, көрінетін жарық және ультракүлгін. Ауа-райы ашық, күн шуақты кезінде көрінетін спектр аумағындағы жарық сәулелері жер бетіне тікелей, еш кедергісіз түседі. Керісінше, ауа-райы бұлтты болған кезде жарық сәулелері бұлттан ішінара жұтылып, жартылай шағылысады.

Жоғарыда келтірілген барлық мәселелерді тиімді шешу үшін тікелей және жанама әдістерді қолдана отырып жаңа технологиялар әзірленуде. Олардың ішінде ең көп таралған әдістердің бірі – күнді бақылаушы фотоэлектрлік жүйесі (күн трекері).

Күн трекерлері әртүрлі жазықтықта бұрылуды басқаратын жүйелерді қажет етеді. Сондықтан басты назар күнге оңтайлы бағытталуға, бұрылу механизмдерін оңтайландыруға және басқару алгоритміне аударылады. Күн трекерлері жасалу құрылымына және бұрылу осьтеріне байланысты екі негізгі

топқа жіктеледі: бір осьті трекерлер (бір ось бойымен бұрылады) және екі осьті трекерлер (екі ось бойымен бұрыла алады). Кейбір ғылыми зерттеулерде әлдеқайда күрделі механизмі бар трекерлердің түрлері жасалғанымен, олар бір және екі осьті трекерлер сияқты танымал емес. Анықталғандай, трекерлер басқару алгоритмдеріне, жыл мезгіліне, тәулік уақытына және орналасқан жеріне байланысты стационарлық фотоэлектрлік жүйелермен салыстырғанда үлкен тиімділікті көрсетеді.

Осы кезеңге дейін жасалған трекерлердің көпшілігі фотосенсорларға немесе жазық жүйедегі күн қозғалысының астрономиялық есептеулеріне негізделген әдістерді қолданады. Бірінші әдіс үшін фоторезисторлар, фотодиодтар, жарық қарқындылығын өлшейтін сенсорлар, катадиопртиялық камералар және т. б. пайдаланылады. Алайда, фотосенсорларды тек ашық ауа-райында қолдануға болады. Өйткені, ауа-райы бұлтты кезде қоршаған орта альбедосы бұлтты аспан альбедосы деңгейінен төмен болады және көрінетін спектр аумағындағы сәуленің 90% – ы шашырап, фотосенсорлар күннің орналасқан жерін нақты анықтай алмайды. Трекерлерді басқарудың екінші әдісі күн қозғалысы траекториясының теңдеулерінің әртүрлі алгоритмдері мен математикалық есептеулеріне негізделген. Мұнда басқару сенсорлары ретінде ғаламдық позициялау жүйесі (GPS), магнитометр, сандық компас, уақыт бойынша трекердің бұрылу бұрыштарының кестесі сақталған сыртқы ақпарат жады (SD картасы) және т. б. қолданылады. Әртүрлі кездейсоқ факторлар (мысалы, электромагниттік толқындар) кейде GPS қабылдағыштарының сигналының жоғалуына, магниттік компастың ауытқуларына әкелуі мүмкін. Осындай алгоритмдермен басқарылатын күн трекерлері бұлтты ауа-райында ауытқуларсыз жұмыс жасайды. Бұл жағдайда басқарушы контроллерде жергілікті уақыт және трекердің орналасқан жерінің географиялық орны туралы мәліметтер сақталуы керек. Басқару жүйесінде немесе сенсорларда қателер болған жағдайда, уақыт өте келе жүйенің жұмысына теріс әсер ететін кумулятивті қателер пайда болады.

Фотоэлектрлік модульді күнге оңтайлы бағыттаумен қатар, аккумуляторларды зарядтау үшін оның шығысындағы электр қуатын тиімді түрлендіру мәселесі де бар. Дәстүрлі түрде фотоэлектрлік жүйелерде аккумулятор зарядын қамтамасыз ету үшін ендік-импульстік модуляция (ЕИМ) негізінде жұмыс жасайтын контроллерлер қолданылады. Алайда, тәулік ішінде күн батареясының кернеуінің өзгерісі оның максималды қуат нүктесінің (МҚН) ығысуына әкеледі, нәтижесінде ЕИМ контроллерінің энергия түрлендіру тиімділігі төмендейді. Максималды қуат нүктесін бақылау (МҚНБ) мәселесін арнайы жасалған, максималды қуат нүктесін анықтаушы контроллерлер шешеді. МҚНБ контроллері күн батареясы шығысында максималды қуат шамасын ұстап тұрады. Мұндай жүйелерді құру кезінде туындайтын мәселелерге: МҚН анықтау алгоритмдерінің дәлдігінің төмендігі, МҚНБ жылдамдығының төмендігі, электр энергиясын түрлендірудегі шығындар, ток пен кернеуді өлшейтін сенсорлардың дәлдігінің төмендігі жатады.

Фотоэлектрлік жүйелердің тиімділігі олардың жұмысын үздіксіз бақылауға және әртүрлі ақауларды уақытылы анықтауға тікелей байланысты. Мониторинг жүйесін ұйымдастыруда бірқатар мәселелер туындауы мүмкін. Мониторинг жүйелерінің көпшілігі ақаулардың салдарын анықтағанымен, олардың себебін анықтауда қиындықтарға жолығады. Сонымен қатар, ауқымды фотоэлектр станцияларында күн батареялары мен қашықтықтан басқару орталығы арасында ақпаратты жеткізу кезінде сымды байланыс желісін пайдалану тиімсіз болып табылады. Фотоэлектрлік жүйенің максималды тиімділігі үшін күнді, жергілікті нақты уақытты және трекердің бұрылу осьтері бұрышын синхрондау қажет.

Әр түрлі ауа-райында күнді бақылаушы заманауи фотоэлектрлік жүйелерін және бұлтты ауа-райында бір осьті күн трекерлері үшін қолданылатын бақылау әдістерінің әсерін зерттеу қазіргі таңда **өзекті** мәселе болып отыр. Сондай-ақ, бұлтты ауа-райында, күн сәулесінің қатты шашырауы кезінде екі осьті күн трекерлері үшін күн батареяларының әртүрлі орнатылу қалпын, қашықтықтан сымсыз мониторинг жүргізу және басқару жүйесін қолдана отырып, нақты жағдайларда екі осьті күн трекерінің жұмысына МҚНБ контроллерінің әсерін зерттеу қажет.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты

Бір және екі бұрылу осі бар, күнге оңтайлы бағытталатын және МҚНБ контроллері негізінде әртүрлі ауа-райында тиімді жұмыс жасайтын, сымсыз байланыс арқылы басқарылатын және бақыланатын автоматтандырылған фотоэлектрлік жүйелерді жасау.

Осы мақсатқа жету үшін келесідей **міндеттерді** орындау қажет:

1 Оңтайлы бұрылу механизмі бар құрылымнан тұратын автономды бір осьті және екі осьті күнді бақылау жүйелерін жасау;

2 Күнді бақылау жүйесін әртүрлі ауа-райы жағдайларында күнге оңтайлы бағытталуды қамтамасыз етуші басқару алгоритмімен жабдықтау және шынайы жағдайларда тәжірибелік зерттеулер жүргізу;

3 Екі осьті күнді бақылау жүйесі үшін МҚНБ контроллерін жасау және тәжірибе жүзінде тиімділігін зерттеу;

4 Фотоэлектрлік жүйенің жалпылама жұмысының барысын қашықтықтан бақылауға және нақты уақыт режимінде кері байланысты орнату арқылы жүйеде болатын қателерді автоматты түрде түзетуге мүмкіндік беретін сымсыз байланыс негізінде оңтайлы бақылау жүйесін әзірлеу және тиімділігін зерттеу.

Зерттеу нысаны

Сымсыз бақылау және басқару жүйесімен жабдықталған, МҚНБ контроллері бар автоматтандырылған бір осьті және екі осьті фотоэлектрлік жүйелер.

Зерттеу пәні болып табылады

Әр түрлі ауа-райында пайдалану үшін жүйенің алгоритмі мен құрылымын оңтайландыру арқылы бір осьті және екі осьті күн трекерлерінің тиімділігін арттыру; МҚНБ контроллері арқылы электр энергиясын тиімді түрлендіру;

сымсыз бақылау және басқару жүйесін қолдану арқылы кері байланыс орнатып, күн трекерлері жұмысының сенімділігін арттыру.

Зерттеу әдістері мен тәсілдері

Зерттеу жұмысының мақсатына жету үшін келесідей әдістер қолданылды:

- Autodesk Inventor үш өлшемді пішімдерді әзірлеу ортасында трекердің бұрылу механизмінің құрылымын модельдеу;
- Matlab, Simulink әзірлеу ортасында МҚНБ контроллерін модельдеу;
- әртүрлі ауа-райы жағдайларында бір осьті және екі осьті күн трекерлері мен МҚНБ контроллерінің түрлендіретін шығысындағы қуатын тәжірибе жүзінде зерттеу;
- кері байланыстың орнатылуын қамтамасыз ету үшін сымсыз бақылау және басқару жүйесінің жұмысын тәжірибе жүзінде зерттеу.

Диссертациялық зерттеу нәтижелерінің ғылыми жаңалығы

Жұмыстың жаңалығы мен өзіндік ерекшеліктері келесідей:

- күн сәулесі шашыранды таралған кезінде көлденең жазықтықта бұрылу бұрышын анықтау үшін энкодерді және әзірленген бағдарламалық жасақтаманы қолдану нәтижесінде бір осьті күн трекерінің тиімділігі артатыны анықталды;
- күн сәулесінің қатты шашырауы кезінде басқарушы трекердің көмегімен екі осьті күн трекерінің оңтайлы орналасуын анықтаушы жүйе жасалды;
- әртүрлі ауа-райы жағдайында екі осьті күн трекері мен ауытқу және қадағалау алгоритмі негізіндегі максималды қуат нүктесін бақылау контроллерінің біріктірілген жүйесі зерттелді;
- жүйе жұмысының сенімділігін арттыру үшін қашықтықтан сымсыз бақыланатын және кері байланыс орнату арқылы басқарылатын автоматтандырылған жүйе жасалды.

Жұмыстың ғылыми және практикалық маңыздылығы

Диссертациялық жұмыста жасалған ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелері күнді бақылау жүйесін жобалау кезінде маңызды ғылыми және практикалық мәнге ие. Күн трекерлерін орнату кезінде жергілікті жердің географиялық орналасуы мен климаттық жағдайларын ескеру қажет. Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер бойынша, зерттелген бір осьті және екі осьті күнді бақылау жүйелерін көшпелі бұлтты климаттық жағдайы бар аумақта қолдану кезінде пайдалы болуы мүмкін.

Қолданыстағы күн трекерлерін МҚНБ контроллерлерімен біріктіру арқылы тиімділігін айтарлықтай арттыруға болады. Зерттеу жұмысында алынған нәтижелер бір және екі бұрылу осі бар күнді бақылаушы фотоэлектрлік жүйелердің тиімділігін арттыру үшін пайдалы болуы мүмкін.

Күн батареялары мен басқару блогы бір-бірінен алыс қашықтықта орналастырылған ірі фотоэлектрлік жүйелердің жұмысын оңтайландырып, сенімділігін арттыру үшін зерттеу жұмысында сымсыз байланыс негізінде бақылау мен кері байланыс арқылы басқаруды қолдану ұсынылды.

Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер

1 Қатты бұлтты және жаңбырлы ауа-райында күн қозғалысының астрономиялық есептеулеріне және энкодерлі алгоритм негізінде басқарылатын бір осьті трекердің тиімділігі, басқа құрылымы жағынан ұқсас фотосенсормен басқарылатын бір осьті трекерге қарағанда 4,2% - ға және көшпелі бұлтты ауа-райында 1,15% - ға жоғары, ал қозғалыс механизмінің энергия тұтынуы 60% - ға төмен;

2 Күн сәулесінің қатты шашырауы кезінде, күн батареясын кеңістікте оңтайлы орналастыру бағытын анықтаушы алгоритмі бар екі осьті күн трекерін дәстүрлі екі осьті күн трекерінің өнімділігімен салыстырғанда 41% тиімділікті көрсетеді;

3 Жасалған максималды қуат нүктесін бақылау контроллерін екі осьті күн трекерімен біріктіру арқылы тәжірибе жүргізу барысында, контроллер түрлендіруінің пайдалы әсер коэффициенті орташа 95% құрайды.

4 Күн трекері мен басқарушы жүйе арасындағы кері байланыс негізінде күнге оңтайлы бағыттаудың екі деңгейлі тексерісі бар фотоэлектрлік жүйенің жұмысын сымсыз бақылау және автоматты басқару, трекерлерді бағыттау жүйесінің сенімділігін қамтамасыз етеді.

Диссертациялық жұмыс тақырыбының ғылыми-зерттеу бағдарламаларының жоспарларымен байланысы

Диссертациялық жұмыс 2018-2020 жылдарға арналған, жеке тіркеу нөмірі (ЖТН) AP05132464 «Сымсыз басқарудың интеллектуалды автономды жүйесін және көше жарықтандыру мониторингісін құру» ғылыми-зерттеу жұмысының (ҒЗЖ) жоспарларына сәйкес орындалған.

Автордың жеке үлесі

Автор диссертациялық жұмыстың барлық бөлімін, соның ішінде жұмыстың мақсаты мен міндеттерін айқындауды, гипотезалар қою және тәжірибелік жұмыстар жүргізуді, компьютерлік модельдеу және тәжірибе нәтижелерін сандық бағалауды, ғылыми жарияланымдарды талдау және баспаға дайындауды толығымен орындады.

Жұмыста алынған нәтижелер мен жасалған қорытындылардың сенімділік деңгейі және түсіндірмесі

Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелердің дұрыстығы ҚР БЖҒМ Білім және ғылым саласында сапаны қамтамасыз ету комитеті (БҒССҚЕК) ұсынған басылымдарда, импакт-факторы нөлден жоғары алыс шетелдердің журналдарында және халықаралық конференциялардың еңбектерінде жарияланымдардың болуымен расталады.

Диссертациялық жұмыстың апробациясы

Диссертациялық жұмыстың тақырыбы бойынша 9 ғылыми баспа жұмысы жарияланды, оның ішінде 3 жұмыс халықаралық конференцияларда тезис түрінде, 3 мақала философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін БҒССҚЕК-і ұсынған ғылыми басылымдарда, 3 мақала Web of Science (Clarivate Analytics, АҚШ) және Scopus (Elsevier, Нидерланды) халықаралық ақпараттық ресурстарына кіретін ғылыми басылымдарда жарияланды.

Thomson Reuters және Scopus халықаралық ғылыми деректер базасына кіретін басылымдарда жарияланған мақалалар:

1 **Kuttybay, N.**, Saymbetov, A., Mekhilef, S., Nurgaliyev, M., Tukymbekov, D., Dosymbetova, G., ... & Svanbayev, Y. Optimized single-axis schedule solar tracker in different weather conditions //Energies. – 2020. – Т. 13. – №. 19. – С. 5226.

2 Saymbetov, A., Mekhilef, S., **Kuttybay, N.**, Nurgaliyev, M., Tukymbekov, D., Meiirkhanov, A., ... & Svanbayev, Y. Dual-axis schedule tracker with an adaptive algorithm for a strong scattering of sunbeam //Solar Energy. – 2021. – Т. 224. – С. 285-297.

3 Saymbetov A. K., Nurgaliyev M. K., Tulkibaiuly Ye., Toshmurodov Yo. K., Nalibayev Ye. D., Dosymbetova G. B., **Kuttybay N. B.**, Gylymzhanova M. M. & Svanbayev Ye. A. Method for increasing the efficiency of a biaxial solar tracker with exact solar orientation //Applied Solar Energy. – 2018. – Т. 54. – №. 2. – С. 126-130.

ҚР БҒМ БҒССҚЕК ұсынған басылымдарда жарияланған мақалалар:

1 **Kuttybay, N. B.**, Saymbetov, A. K., Tenizbayeva, Z. S., Smail, L. B., & Yerbolat, R. M. Development of an automated photovoltaic system with wireless monitoring //Известия НАН РК. Серия физико-математических наук. – 2021. – №. 1. – С. 90-96.

2 **Құттыбай Н.Б.**, Нұрғалиев М.К., Саймбетов А.К., Туқымбеков Д.Х., Досымбетова Г.Б., Мейрханов А.Қ. Двухосная система слежения за солнцем с актуаторным механизмом //Вестник КазНУ. – 2020. – №.2 (138). – С. 327-333.

3 **Құттыбай Н.Б.**, Нұрғалиев М.К., Саймбетов А.К., Туқымбеков Д.Х., Мейрханов А.Қ., Шаймерденова М.Е. Разработка двухосной системы слежения за Солнцем для оптимальной ориентации к Солнцу// Вестник КазНУ. – 2019. – №.4(134). – С. 300-306.

Халықаралық конференциялар тезистері жинақтарындағы жарияланымдар:

1 **Kuttybay, N.**, Mekhilef, S., Saymbetov, A., Nurgaliyev, M., Meiirkhanov, A., Dosymbetova, G., & Kopzhan, Z. An automated intelligent solar tracking control system with adaptive algorithm for different weather conditions //2019 IEEE international conference on automatic control and intelligent systems (I2CACIS). – IEEE, 2019. – С. 315-319.

2 **Құттыбай Н.Б.** Система беспроводного мониторинга двухосного солнечного трекера //«ФАРАБИ ӘЛЕМІ» атты студенттер мен жас ғалымдардың Халықаралық ғылыми конференциясы. – Алматы. – 2019. – С. 268.

3 **Құттыбай Н.Б.**, Шаймерденова М.Е., Нұрғалиев М.К., Туқымбеков Д. Разработка электронного блока управления для систем слежения за солнцем // «ФАРАБИ ӘЛЕМІ» атты студенттер мен жас ғалымдардың Халықаралық ғылыми конференциясы. – Алматы. – 2019. – С. 267.

Пайдалы модельге Патент

Ибраимов М.К., Саймбетов А.К., **Құттыбай Н.Б.**, Якубова М.З., Дараев А.М., Асабаева Р.Н., Якубов Д.М., Актаев Э.Т. Автоматты басқару жүйесі бар гелиоэнергетикалық қондырғы // Пайдалы модельге патент, 2021. № 6043.

Авторлық куәлік

Құттыбай Н.Б., Саймбетов А.К., Нұрғалиев М.К., Солнечные трекеры с контроллером отслеживания точки максимальной мощности // Авторлық куәлік, 2022. №25199.

Диссертациялық жұмыстың құрылымы және көлемі

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, үш тараудан, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс көлемі 126 беттен, соның ішінде 93 сурет, 23 кесте және 112 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады.

Бірінші бөлімде осы уақытқа дейін жасалған күнді бақылау жүйелерінің құрылымы, жіктелуі, басқару әдістері, математикалық модельдері туралы қол жетімді әдебиеттерге шолу жасалды. Сонымен қатар, бұл бөлімде түрлендіргіш құрылғылардың түрлеріне, басқару алгоритмдеріне және қазіргі таңға дейін әзірленген фотоэлектрлік жүйелердің энергия тиімділігін арттыратын бақылау жүйелеріне әдеби шолу жасалды.

Екінші бөлімде энкодер және фотосенсорлар негізінде жұмыс жасайтын бір осьті күнді бақылау жүйелері сипатталған және нақты ауа-райы жағдайында жүйелердің шығысындағы қуат мөлшерін анықтау бойынша тәжірибе нәтижелерінің салыстырмалы талдауы көрсетілген. Сондай-ақ, күн сәулесінің қатты шашырауы кезінде оңтайлы бағытта орнығатын екі осьті күн трекері сипатталған. Әзірленген жүйенің нақты ауа-райы жағдайындағы тәжірибелік нәтижелері көрсетілген.

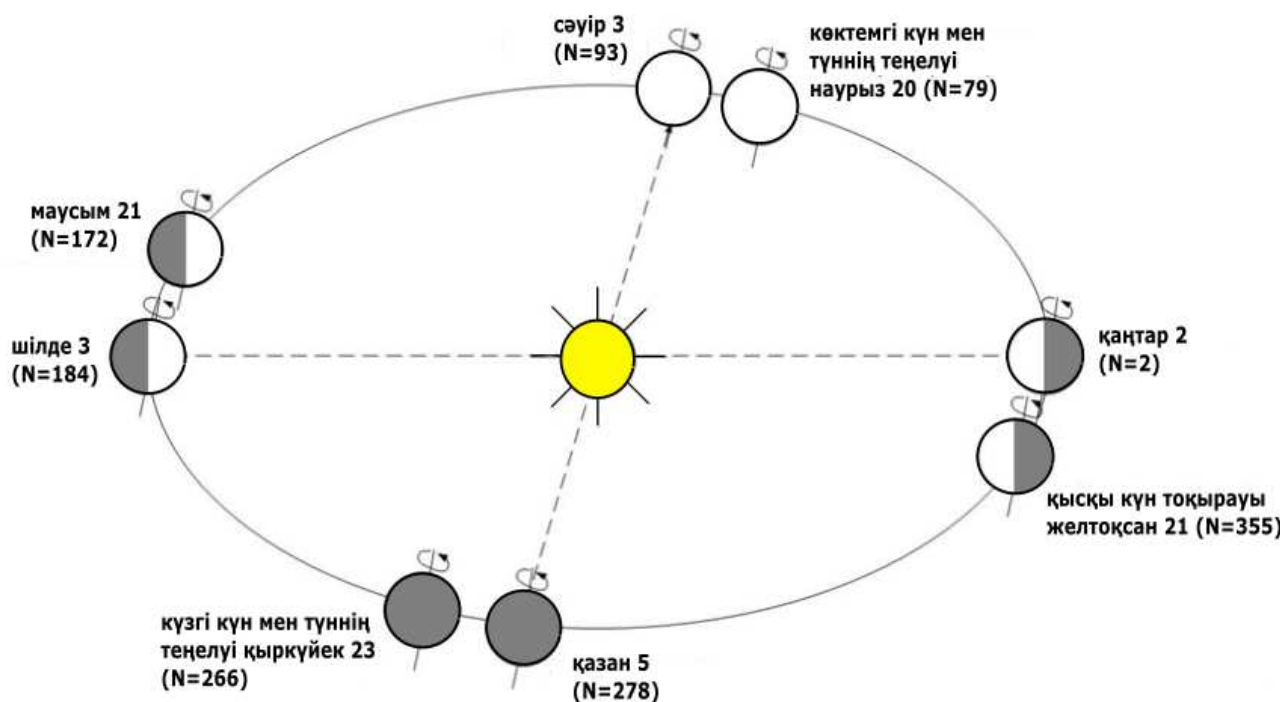
Үшінші бөлімде фотоэлектрлік модульдің жұмысы максималды қуат нүктесінде жүруін қамтамасыз етуші тұрақты ток түрлендіргіш моделі жасалды. МҚНБ контроллері әзірленді және ондағы электрондық құраушыларының есептеулері жүргізілді, бұдан басқа МҚНБ контроллері мен ЕИМ контроллерінің жұмысына салыстырмалы талдауы жасалды. Сонымен қатар, фотоэлектрлік жүйелерді бақылау мен басқарудың автоматтандырылған сымсыз жүйесі жасалды.

1 КҮНГЕ БАҒЫТТАЛУШЫ ФОТОЭЛЕКТРЛІК ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ЗАМАНАУИ ЖАЙ КҮЙІ МЕН МӘСЕЛЕЛЕРІ

1.1 Күнге бағытталушы фотоэлектрлік жүйелердің түрлері және бақылау әдістері

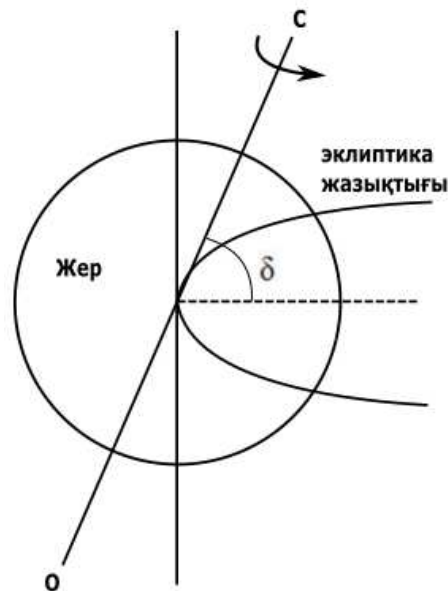
Фотоэлектрлік модульдердің оңтайлы жұмыс жасауы үшін күннен келіп жатқан жарық сәулесі модульдің бетіне перпендикуляр бағытталуы керек. Ол үшін фотоэлектрлік модульдерді қозғалыс механизмі бар басқару жүйелеріне орнатып, бағытын периодты түрде өзгертіп отыру қажет. Тәулік бойы фотоэлектрлік модуль бетіне күн сәулесінің максималды түсуін қамтамасыз ететін жүйе – күнді бақылау жүйесі (күн трекері) деп аталады [1-3].

Күннің тәуліктік немесе жыл бойындағы орын ауыстыру координаталары күнді бақылау жүйесінің кіріс сипаттамаларының бірі болып табылады. Жер күнді бір жыл ішінде эклиптикалық траектория бойынша айналып шығады (сурет 1.1). Бұл қозғалыс жыл мезгілдері мен күндізгі уақыттың өзгерісін туындатады. Жыл бойына аспандағы күн биіктігінің өзгеруі жер осінің прецессиясымен анықталады (сурет 1.2). Тәулік ішінде жер өз осі бойымен толық шеңбер жасай айналады және бұл қозғалыс күннің шығуы мен батуының себебі болып табылады [4].



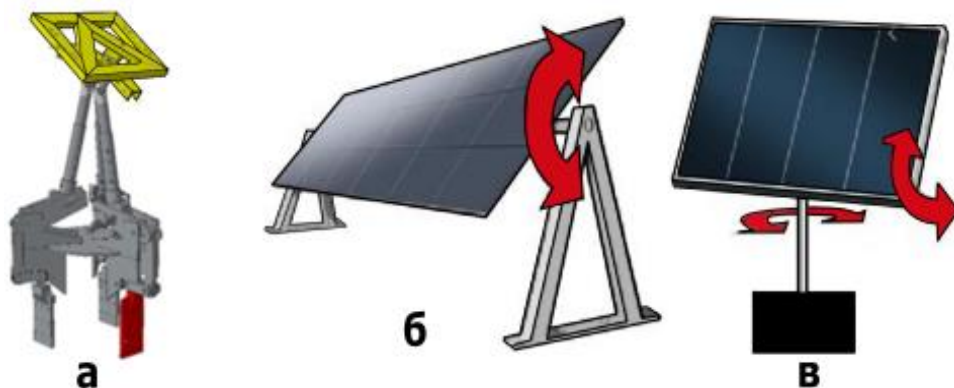
Сурет 1.1 – Жердің күнді айнала қозғалысының жыл бойындағы траекториясы [4]

Бір күнде жер өз осі бойымен 360° бұрыш жасап айналғанымен, фотоэлектрлік модуль күндізгі уақытта ғана электр энергиясын түрлендіреді. Сондай-ақ, фотоэлектрлік модульдердің орнатылатын аймағына байланысты жүйенің жұмыс жасау уақыты өзгеріп отырады [5].



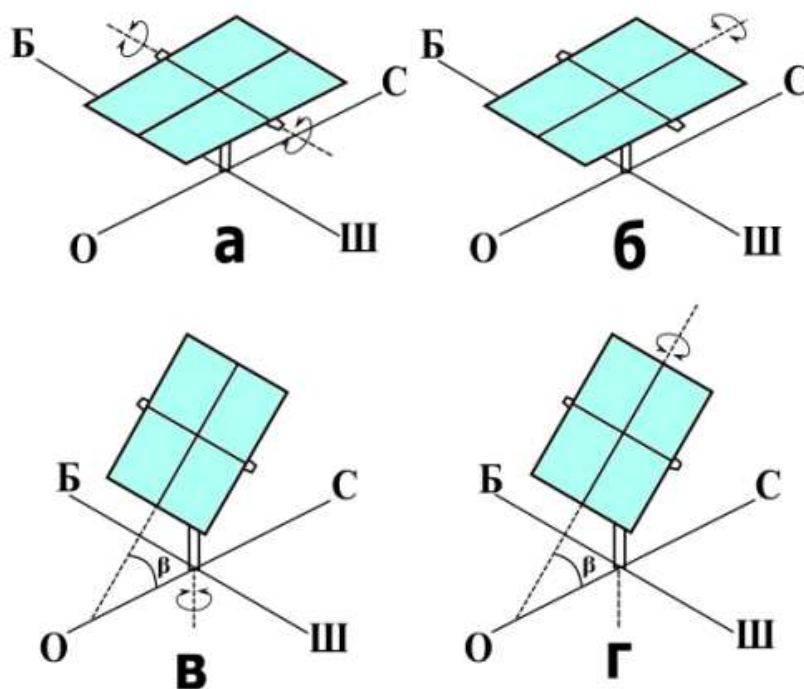
Сурет 1.2 – Жер осі прецессиясының кескіні [4]

Күннің аспан сферасындағы орнын екі бұрышпен сипаттауға болады: азимут және зенит. Азимут – солтүстік бағыт пен күннің жер беті көлденең жазықтығына жасалған проекциясы арасындағы бұрыш. Зениттік бұрыш күн траекториясының биіктігін сипаттайды. Азимут жердің өз осі бойымен айналуына байланысты тәулік ішінде өзгереді (оны сағаттық бұрышы деп те атайды), ал зениттік бұрыш жер осінің прецессиясына байланысты өзгереді. Сондықтан, күнді бақылау жүйесін жобалау кезінде күннің екі айнымалы қозғалысын ескеру қажет: күнделікті қозғалыс (азимут осі бойынша қозғалыс) және жер осінің жыл бойындағы прецессиясы (эклиптика осі бойынша қозғалыс) [6]. Күн қозғалысы координатасын бақылаудың бірнеше әдісі бар: бір ось бойынша, екі ось бойынша және мульти ось бойынша [7-16]. Қозғалыс осьтері күнді бақылау жүйесінің механизмін анықтайды. Сурет 1.3-те бір осьті, екі осьті және мульти осьті күнді бақылау жүйелерінің қозғалыс бағыттары көрсетілген.



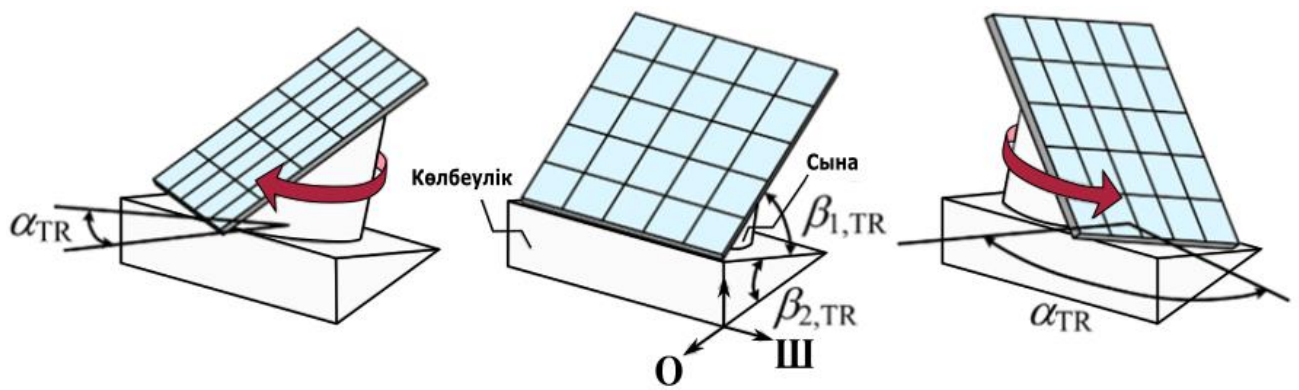
Сурет 1.3 – Күнді бақылау жүйелері: а) мульти осьті, б) бір осьті, в) екі осьті [8]

Бір осьті күнді бақылау жүйелері фотоэлектрлік модульдерді тек бір жазықтықта ғана бұрып отырады. Осылайша, оның келесідей түрлері бар: горизонталды ось бойынша шығыс-батысқа бағытталатын (сурет 1.4 б), горизонталды ось бойынша солтүстік-оңтүстікке бағытталатын (сурет 1.4 а), фотоэлектрлік модуль тұрақты бұрышпен орнатылып, вертикалды ось бойынша бағытталатын (сурет 1.4 в), фотоэлектрлік модуль тұрақты бұрышпен орнатылып, солтүстік-оңтүстікке бағытталатын (сурет 1.4 г) бақылау жүйелері [10, 131 б.].



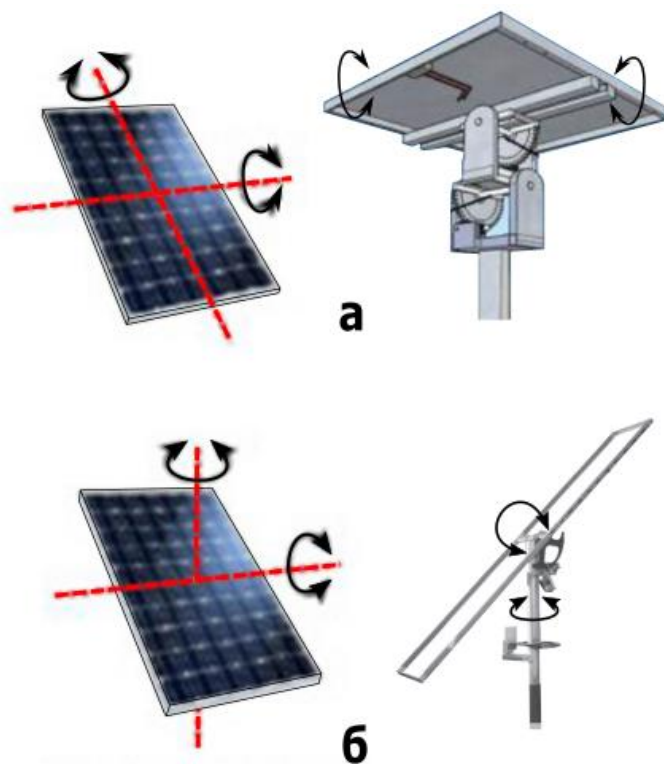
Сурет 1.4 – Бір осьті күнді бақылау жүйелері [10]

Осы төрт әдістерді қолданған зерттеу жұмыстарында бақылау жүйелерінің өнімділігі жақсарғанымен, бақылау жүйелерінің құрылымында ешқандай айырмашылық болмаған. Сондықтан, қазіргі таңда бір осьті күнді бақылау жүйелерінің жетілдірілген жаңа түрлері ойлап табылуда. Соның бірі – көлбеу жазықтықпен бұрылатын бір осьті бақылау жүйесі (сурет 1.5). Жүйенің көлбеу орналасқан айналу осіне фотоэлектрлік модульді белгілі бір бұрышпен орнатып, периодты түрде бұрып отырады. Сурет 1.5-те бақылау жүйесінің негізгі үш құраушы бөлігі көрсетілген: көлбеулік ($\beta_{2,TR}$) – жер бетіне мығым бекітілген, оңтүстікке қарай беттелген және оңтүстіктен солтүстікке қарай еңіс бұрышпен орнатылған, сына ($\beta_{1,TR}$) – еңіс көлбеулік бетіне белгілі бір бұрышпен орнатылған және сынаның жоғары беткейіне бекітілген фотоэлектрлік модуль. Күндізгі уақытта жүйе күнді бақылау үшін сынаны белгілі бұрышқа бұрып отыруы қажет. Дегенмен, жүйенің үлкен кемшілігі бар. Жүйе тек белгілі бір жыл мезгіліне арналып жасалған және қалған мезгілдерде оны қолдануға мүмкін болмайды [17].



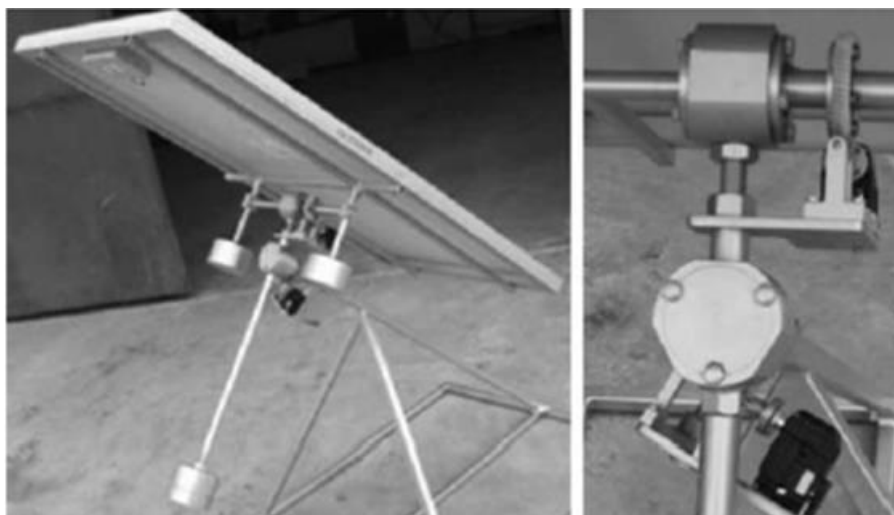
Сурет 1.5 – Бір осьті бақылау жүйесінің құрылымы [17]

Екі осьті бақылау жүйелері екі жазықтық бойынша, тәулік ішінде күннің орын ауыстыруын оңтайлы бақылайды. Жүйе күнді бақылау әдісі бойынша негізгі екі түрге бөлінеді: күннің азимуталды және биіктік бұрыштарына негізделіп бақылау (сурет 1.6 б), екі жақты бұрылу осіне негізделіп бақылау (сурет 1.6 а) [18, 110].



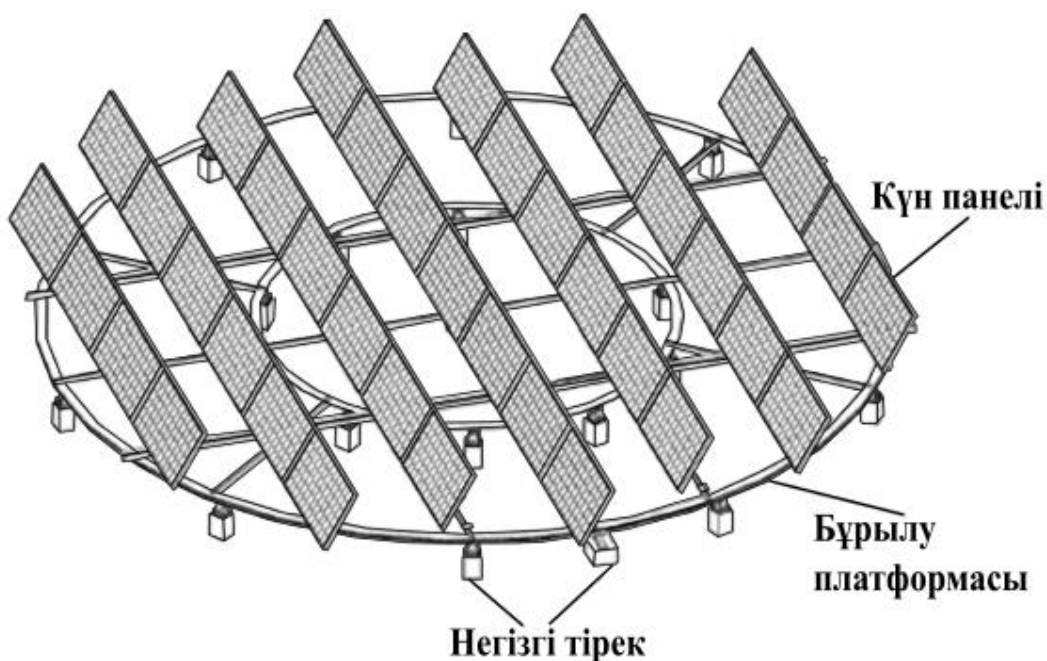
Сурет 1.6 – Екі осьті күнді бақылау жүйелері [18]

Осылардан бөлек, сурет 1.7-де полярлық оське параллель тәуліктік қозғалысы белгіленген екі координаталы полярлы бақылау жүйесі бейнеленген. [19-21]



Сурет 1.7 – Полярлы күнді бақылау жүйесі [19]

Сонымен қатар бірнеше фотоэлектрлік модульдерден құралған екі осьті күнді бақылау жүйелері де бар (сурет 1.8) [20-23].



Сурет 1.8 – Айналымды тұғырнамасы бар күнді бақылау жүйесі [20]

Қолшатыр құрылымына негізделген екі осьті күнді бақылау жүйесі сурет 1.9-да көрсетілген. Фотоэлектрлік модульдер орнатылған екі актуатор қозғалтқышы арқылы күнге бағытталады [24, 109].

Мульти осьті күнді бақылау жүйелеріне кемінде үш ось бойынша бұрыла алатын механизмі бар күнді бақылау жүйелері жатады (сурет 1.10). Көбінесе мұндай жүйелер актуатор қозғалтқыштарын қолданады [25].



Сурет 1.9 – Қолшатыр әдісіне негізделген күнді бақылау жүйесі [24]



Сурет 1.10 – Мульти осьті күнді бақылау жүйесі [25]

Жоғарыда аталған күнді бақылау жүйелерінің артықшылықтары мен кемшіліктері кесте 1.1-де салыстырылып көрсетілген [1, 397 б.].

Күнді бақылау жүйесі басқару құрылымына байланысты екі түрлі әдіске бөлінеді:

- пассивті әдіс;
- активті әдіс.

Пассивті күнді бақылау жүйесі жасалу механизмі негізінде үш түрге бөлінеді:

- термогидравликалық актуаторлық механизм;
- биметалликалық термо актуаторлық механизм;
- пішіндік жады бар құйма термо актуаторлық механизм.

Активті күнді бақылау жүйесінің жұмыс жасауы төменде келтірілген әдістерге негізделген:

- интеллектуалды жүйелермен басқару (нейрондық желілер, анық емес логика, аралас);
- микропроцессор құрылғыларымен басқару;
- оптикалық сенсорлар арқылы басқару;
- оптикалық сенсорлар негізінде микропроцессор құрылғыларымен басқару;
- сымсыз байланыс сенсорларымен басқару;
- электромагниттік сенсорлармен басқару.

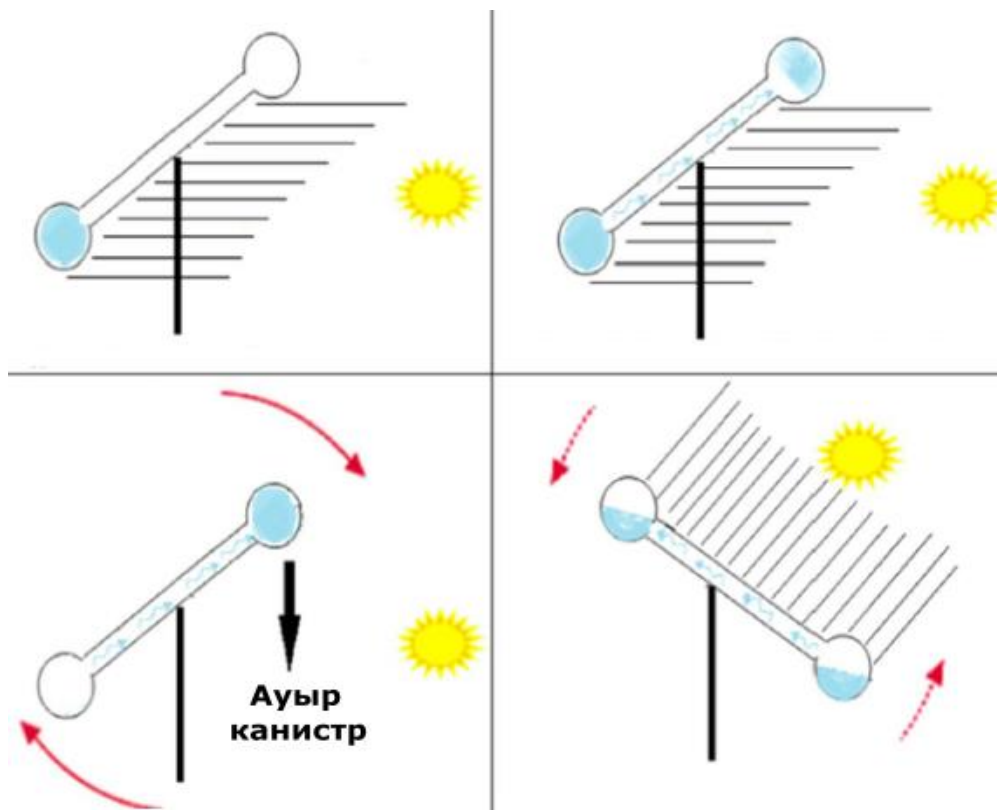
Кесте 1.1 – Күнді бақылау жүйелерін өзара салыстыру

Ерекшеліктері	Бір осьті	Екі осьті	Мулти осьті	Стационарлы
Құрылымы	орташа	күрделі	аса күрделі	қарапайым
Бақылау дәлдігі	орташа	жоғары	жоғары	төмен
Материалдық шығыны	орташа	жоғары	аса жоғары	төмен
Энергетикалық тиімділігі	орташа	жоғары	жоғары	төмен
Басқару	орташа	күрделі	аса күрделі	қарапайым
Әр түрлі ауа райында қолдану тиімділігі	орташа	жоғары	жоғары	төмен

Пассивті күнді бақылау жүйелері заттың (әдетте фреондар) жылулық ұлғаюына немесе пішіндік жады бар құймасына негізделген (сурет 1.11). Бақылау жүйелерінің бұл түрі бір-біріне қарама-қарсы әрекет ететін бірнеше атқарушы механизмдерден тұрады, механизмдерге бірдей жарық сәулесі түскен уақытта олар теңескен күйде болады. Атқарушы механизмдерді дифференциалды жарықтандыру арқылы күш тепе-теңдігі орын алатын бағытта орнықтыру үшін қолданылады. Активті күнді бақылау жүйелерімен салыстырғанда пассивті жүйелер жасалу құрылымы жағынан күрделілігі төмен, бірақ ПӘК-і жағынан активтіге қарағанда аз және төменгі температурада жұмыс жасамайды. Көптеген тәжірибе нәтижелері көрсеткендей пассивті күнді бақылау жүйелері өнімділігі бойынша активті, электромеханикалық жүйелерімен салыстыруға болатындығын көрсетті. Пассивті күнді бақылау жүйелері арзан болғанымен, тұтынушылар арасында мұндай жүйелер кең таралмаған [3, 2553 б.].

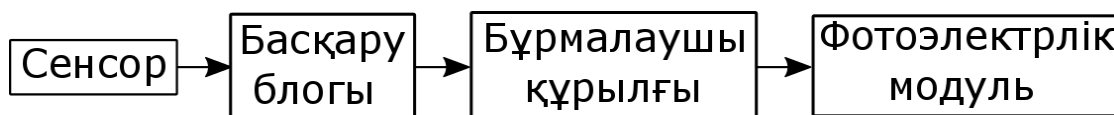
Активті күнді бақылау жүйелері фотоэлектрлік модульдерді күнге перпендикуляр бағыттау үшін электр жетектері мен механикалық тісті қозғалтқыштарды пайдаланады. Мұндай жүйелер күнге тура бағытталу үшін сенсорларды, қозғалтқыштарды және микропроцессорларды қолданады. Пассивті жүйелерге қарағанда активті күнді бақылау жүйелері жұмыс жасауы үшін электр энергиясын қажет етеді және дәлірек, тиімді жұмыс жасайды. Бақылау жүйесінде орнатылған сенсорларға жарық сәулесі түскенде шығысында әртүрлі дифференциалды сигналдар пайда болады. Алынған

сигналдар жүйенің басқару блогында орналасқан компаратор немесе микропроцессорға келіп, тиісті бағытта қозғалыс жасауды анықтауға мүмкіндік жасайды. Нәтижесінде, қозғалтқыштар іске қосылып, жүйе фотоэлектрлік модулдерді күнге тура бағыттайды. Бұл үдеріс сенсорларға түсіп жатқан жарық мөлшері теңескенше қайталанып отырады [26, 31].



Сурет 1.11 – Пассивті күнді бақылау жүйесі [3, 2553 б.]

Бүгінгі таңда активті бақылау жүйелердің құрылымын, олардың жұмыс жасау қағидаларын жүзеге асырудың көптеген әдістері бар. Көбінесе активті жүйелер үш негізгі бөліктен тұрады: сенсор, сенсор сигналын өңдеу блогы және жүйенің қозғалысын басқарушы блок (сурет 1.12).

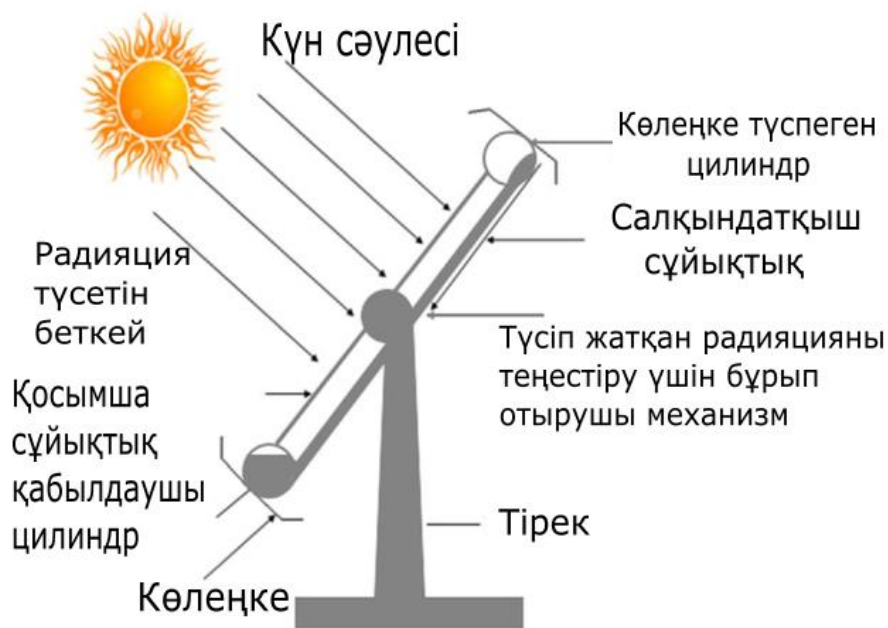


Сурет 1.12 – Фотоэлектрлік модульдің қозғалысын басқарушы активті жүйенің құрылымдық сұлбасы

Активті жүйелердің жұмыс жасау қағидасы келесідей: сенсор күннен келіп жатқан жарық сәулесі күйінің өзгерісіне жауап береді және басқару блогына сигнал жібереді. Басқару блогы орнатылған алгоритмге сәйкес сигналды өңдеп, бұрылу механизміне пәрмендер береді [1, 396 б.; 2, 14 б.].

1.1.1 Температуралық сенсорларға негізделген пассивті күнді бақылау әдісі

Пассивті күн трекерлері фотоэлектрлік модульді күн сәулесіне тура бағыттау үшін ешқандай электр қозғалтқыштарын қолданбайды. Олардың жұмысы өте қарапайым және фотоэлементтерге ұқсас. Сезімтал элементтері ретінде жылу түрлендіргіштер алынады және көпшілігінде ұлғайтқыш газбен толтырылған бірнеше жетектен немесе пішінін сақтаушы құймадан құралады. Кез-келген дифференциалды сәулелендіру жетек механизмдерінің ішінде тең емес күштерді тудырады, сондықтан, бақылау жүйесіндегі (термотрекер) жетек механизмдерінің біркелкі сәулеленуі күштердің тепе-теңдігін қалпына келтіріп тұрақты орында ұстайды. Сурет 1.13-те ұлғайтқыш сұйықтықпен толтырылған екі бірдей цилиндрлік түтіктен тұратын қарапайым пассивті күн трекері көрсетілген. Жүйеде орнатылған жетектердің біріндегі сұйытылған газ қыздырылса (біркелкі емес сәулелену кезінде) ұлғайып, бақылау жүйесінің екінші жағына орналасқан жетекке қарай ағып, тең емес тартылыс күшін тудырады. Нәтижесінде, күн трекері фотоэлектрлік модульді түсіп жатқан күн сәулесі теңесетін жарық нүктесіне жеткенше бұрады [26, 4 б.].



Сурет 1.13 – Пассивті термотрекер құрылымы [26, 4 б.]

Термомеханикалық өздігінен бағытталатын басқару жүйесінде сезімтал элементтері мен бұрылу механизмін – сызықты түрде ұлғаятын, жоғары температуралық коэффициенті бар жылу сезгіш элементтер құрайды. Әрбір жылу сезгіш элемент жазық, қара түсті беткейі бар қатты материалдың жолағынан тұрады.

Сұйытылған газды қолданатын бұндай пассивті күн трекерлерінің артықшылығы – қозғалыс осьтерінде үлкен айналу моментінің болмауында. Сұйытылған газ жүйені қажетті позицияға жылжыту үшін жеткілікті салмақ

айырмашылығын тудырады. Олардың механикалық құрылымы мықтап дәнекерленген, жел соққыларына оңай төтеп береді және жұмсалатын материалдар шығынын азайтады [27].

Осы әдіс негізінде күнді бақылау жүйесіне стирлинг қозғалтқышын температуралық сенсор ретінде қолдануға болады. Стирлинг қозғалтқышы – поршеньдерді қозғалту үшін гелий немесе сутегі секілді ұлғаятын газды қолданатын жылу қозғалтқышы. Егер поршеньге фотоэлектрлік модуль орнатылса, онда Стирлинг қозғалтқышы сенсор қызметі ретінде және басқару жүйесінің қозғалыс механизмі қызметін атқарады. Жұмыс денесі жабық кеңістікте фотоэлектрлік модуль бекітілген поршеньдері бар екі цилиндрде орналастырылған. Жарықпен сәулелендірілген цилиндр аймағының температурасы артып, газдың ұлғаюына және поршеньнің қозғалысына алып келеді. Цилиндрдің көлеңкеде орналасқан аймағының температурасы төмендеп, поршень сығылған күйде болады. Осылайша, фотоэлектрлік модульдің көлбеу бұрышы өзгеріп, оның беті күн сәулесіне қарай бағытталады. Көкжиекте күннің орны ауысқан кезде цилиндрлердің температуралары өзгеріп, салдарынан поршеньдердің қозғалысы және фотоэлектрлік модульдің көлбеулік бұрышы өзгереді. Нәтижесінде, жүйе фотоэлектрлік модульді максималды жарық түсу нүктесіне бағыттап отырады (сурет 1.14) [28].



Сурет 1.14 – Стирлинг қозғалтқышы [28]

Пассивті күн трекерлерін жасау оңай және құрылымы қарапайым болып келеді. Олар қосымша қуат көзін қажет етпейді, өйткені олар тек күн сәулесінің жылуымен жұмыс жасайды. Алайда, активті күнді бақылау жүйелерімен салыстырғанда энергияны азырақ өндіреді.

Пассивті бақылау жүйесінің кемшіліктері: күн шыққан кезде және құбылмалы бұлтты ауа-райы жағдайында жылу сезгіш элементті қыздырудың жылулық инерциясы, фотоэлектрлік модульдің тура бағытталуының дәлдігіне қоршаған орта температурасы, желдің жылдамдығы мен бағыты және температураның тұрақсыздығы, таңертеңгі уақытта жүйені іске қосу және күнге бағыттаудың мәселесі анықталмағандығы, жасалу құрылымының күрделілігі мен бағасының қымбаттылығы, жыл бойына жұмыс жасағанда жоғары дәлдікпен бақылауды қамтамасыз етпеуі, цилиндрлерде орнатылған газдармен жұмыс жасағанда күрделі мәселелердің туындауы, яғни, гелий – жеңіл газ, сондықтан оның көлемі уақыт өте кішірейіп, салдарынан, жүйенің бағдарлануында үлкен қателіктердің пайда болуы [25, 2 б.; 29; 30; 31, 270 б.].

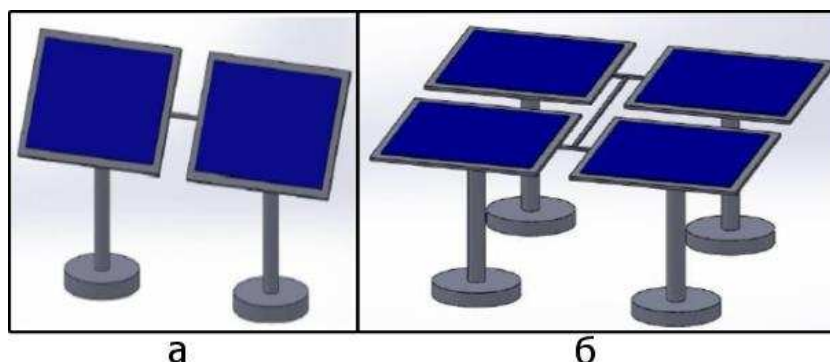
1.1.2 Оптикалық сенсорларға негізделген активті күнді бақылау әдісі

Оптикалық сәулелену энергиясының жұтылған бөлігі жылуға айналып, дене температурасын арттырады. Оптикалық сәулелену энергиясын түрлендірудің тағы бір түрі – фотоэффект (фотоэлектрондық эмиссия), фотолюминесценция, фотохимиялық түрлендірулер және т.б.

Ең қарапайым оптикалық активті күнді бақылау жүйесі болып – қосымша сенсорларды қолданбайтын жүйе болып табылады. Сезімтал элементтер ретінде бірнеше фотоэлектрлік модульдер пайдаланылады және олардың мөлшері бақылау жүйесінің бұрылу осьтерінің санына байланысты болады.

Бір осьті күнді бақылау жүйелерінде екі бірдей фотоэлектрлік модульдер құрылғының келесідей бұрылу осьтерінің бірінде орналасады: азимут осі бойымен жарықтың максималды интенсивтілігін бақылау үшін шығыс-батыс бұрылуымен немесе эклиптика осімен бақылау үшін солтүстік-оңтүстік бұрылуымен. Екі осьті бақылау жүйелерінде екінші осьте орналасқан қосымша фотоэлектрлік модуль болады (сурет 1.15).

Фотоэлектрлік модульдерден алынған сигналдар (ток немесе кернеу мәндері) басқару блогына келеді. Электрлік сигналдар салыстырылып, фотоэлектрлік модульдердің бірінен келген сигнал жоғары мәнді көрсетсе, басқару блогы жүйенің қозғалыс механизміне (құрастырылуына байланысты бірнеше қозғалыс механизмі болуы мүмкін) жоғары мәнді көрсеткен фотоэлектрлік модуль бағытына қарай бұру туралы сигнал жіберіледі.

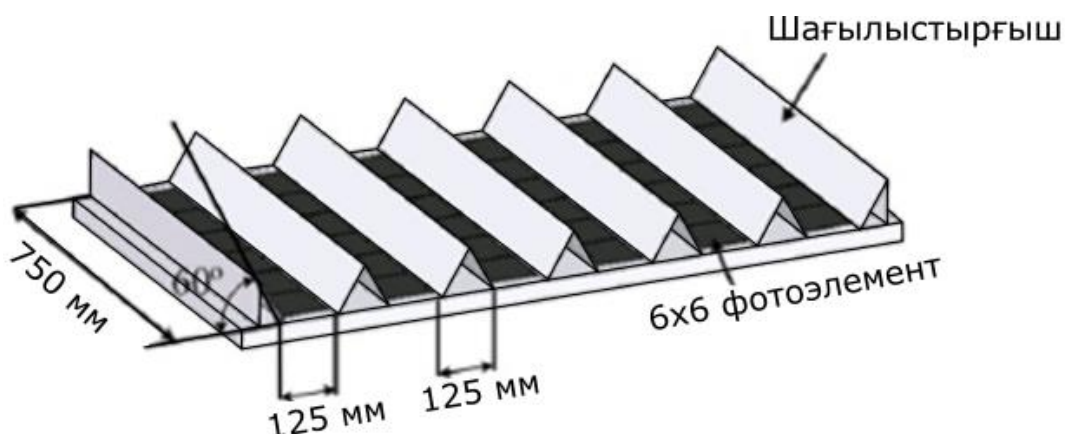


Сурет 1.15 – Активті сенсорсыз бақылау жүйесі: а) бір осьті, б) екі осьті [32]

Берілген жүйенің кемшіліктері: жарық саулесіне сезімталдығы және күнді бақылау дәлдігінің төмен болуы. Бұл сезімтал элементтердің алшақ орналасу салдарынан олардың әртүрлі температурада қызуы нәтижесінде шығыс сигналы өзгеруімен түсіндіріледі. Сонымен қатар, бақылау құрылғысының мұндай әдісі тек екі немесе одан да көп фотоэлектрлік модулі бар жүйелер үшін жарамды [32].

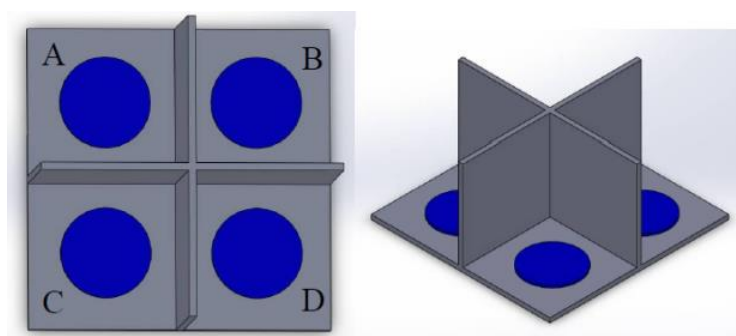
Сонымен қатар оптикалық сенсорлар қолданбай тек фотоэлектрлік модульдің шығыс энергиясы мөлшеріне негізделіп күнді бақылаушы үш бағдарлы бір осьті трекер де бар. Мұнда фотоэлектрлік модульдердің бетіне аз мөлшерде концентрациялаушы шағылыстырғыш элементтер орнатылады. Олар

күн сәулесінен өндірілетін энергия мөлшерін арттыру үшін қолданылады (сурет 1.16) [33].



Сурет 1.16 – Жарық сәулесін шоғырландырушы құрылғы [33]

Активті күнді бақылау жүйелерінде қолданылатын фотосенсорлар әртүрлі пішінде жасалынуы мүмкін. Солардың бірі гелиотрекер деп аталатын сенсор түрі. Гелиотрекер – бұл бекітілген төрт фотосенсорлары (фоторезистор, фотодиодтар немесе т.б.) бар шағын жазық тақта болып табылады. Фотосенсорлар аралық қабырғамен бөлініп орналасады (сурет 1.17). Құрылғы күн сәулесіне тура қаратылғанда, барлық төрт сенсордың беті жарық сәулесін қабылдай алады. Түсіп жатқан күн сәулесі жарығының қарқындылығы уақыт өте өзгеріске ұшырайды, салдарынан гелиотрекер сенсорларының жарықты қабылдауы әртүрлі болады және кейбір сенсорлардың беткі жағы көлеңкеде қалып, басқару блогына сигналдар жібереді.



Сурет 1.17 – Гелиотрекер сенсоры [34]

Екі осьті күнді бақылау жүйесінде орнатылатын гелиотрекер бетіндегі фотоэлементтердің (фотоқабылдағыш сенсор) жарықтандырылуының мүмкін нұсқалары кесте 1.2-де көрсетілген. "1" – элемент бетінің жарықтандырылғанын білдіреді, "0" – элементтің беткі қабаты көлеңкеде орналасқан. Гелиотрекердің орналасуының мүмкін болатын 9 жағдайы

қарастырылған. Контроллер блогына келетін сигналдардың әр комбинациясы жүйенің механизмі үшін сәйкесінше бұрылу командасына тура келеді.

Кесте 1.2 – Екі ось бойымен бұрылатын гелиотрекер үшін мүмкін болатын жарықтандыру нұсқалары

А элементі	1	0	1	0	0
В элементі	0	1	1	0	0
С элементі	0	0	0	0	1
Д элементі	0	0	0	1	0
Жарық сәулесінің орналасуы	Жоғары, батыс	Жоғары, шығыс	Жоғары	Төмен, шығыс	Төмен, батыс
Эклиптика осі бойымен бұру пәрмені	Жоғары	Жоғары	Жоғары	Төмен	Төмен
Азимут осі бойымен бұру пәрмені	Батыс	Шығыс	Тұрақты	Шығыс	Батыс
А элементі	1	1	0	0	1
В элементі	1	0	1	0	1
С элементі	0	0	1	1	1
Д элементі	0	1	0	1	1
Жарық сәулесінің орналасуы	Жоғары	Батыс	Шығыс	Төмен	Тура
Эклиптика осі бойымен бұру пәрмені	Жоғары	Тұрақты	Тұрақты	Төмен	Тұрақты
Азимут осі бойымен бұру пәрмені	Тұрақты	Батыс	Шығыс	Тұрақты	Тұрақты

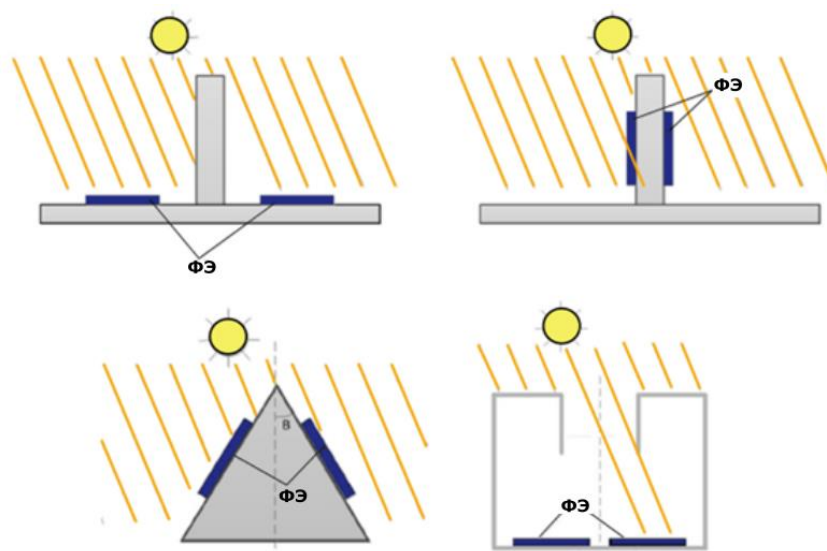
Бір осьті күнді бақылау жүйесінде орнатылатын гелиотрекер аралық қабырғамен бөлінген екі фотоэлементтен (фотоқабылдағыш сенсор) тұрады. Мұндай сенсор күндізгі уақытта азимут осі бойымен немесе көкжиек бойымен күн сәулесінің орын ауыстыруын бақылау үшін қолданылады. Бір осьті гелиотрекерді жарықтандырудың мүмкін нұсқалары кесте 1.3-те келтірілген.

Кесте 1.3 – Бір осьті гелиотрекер үшін мүмкін болатын жарықтандыру нұсқалары

А элементі	1	1	0	0
В элементі	1	0	1	0
Жарық сәулесінің орналасуы	Тура	Батыс	Шығыс	Түн
Бұрылу пәрмені	Тұрақты	Батыс	Шығыс	Шығыс

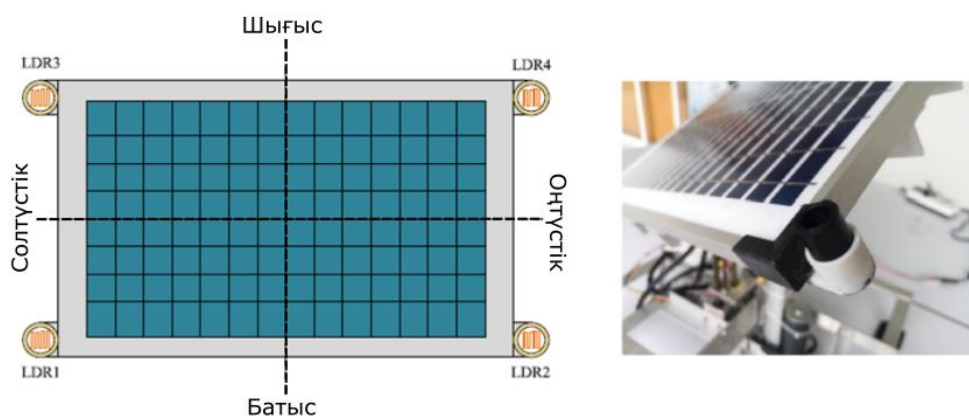
Егер бір және екі осьті бақылау жүйесіндегі гелиотрекерлердің барлық элементтерінің беті күн сәулесімен жарықтандырылмаса, онда мұндай жүйе фотоэлектрлік модульді шығысқа қарай бұрып, күн шығуын күтуі туралы пәрмен беріледі.

Гелиотрекер жұмыс жасау қағидасы бойынша ең көп таралған. Бүгінгі күнге дейін оны жасаудың көптеген нұсқалары бар. Олар жарық сезгіш сенсорлармен, элементтерді бөлгіш аралық қабырға пішінімен немесе сезімтал элементтердің орнығу бұрышымен ерекшеленеді (сурет 1.18) [34].



Сурет 1.18 – Бір ості гелиотрекер сенсорларының түрлері [34]

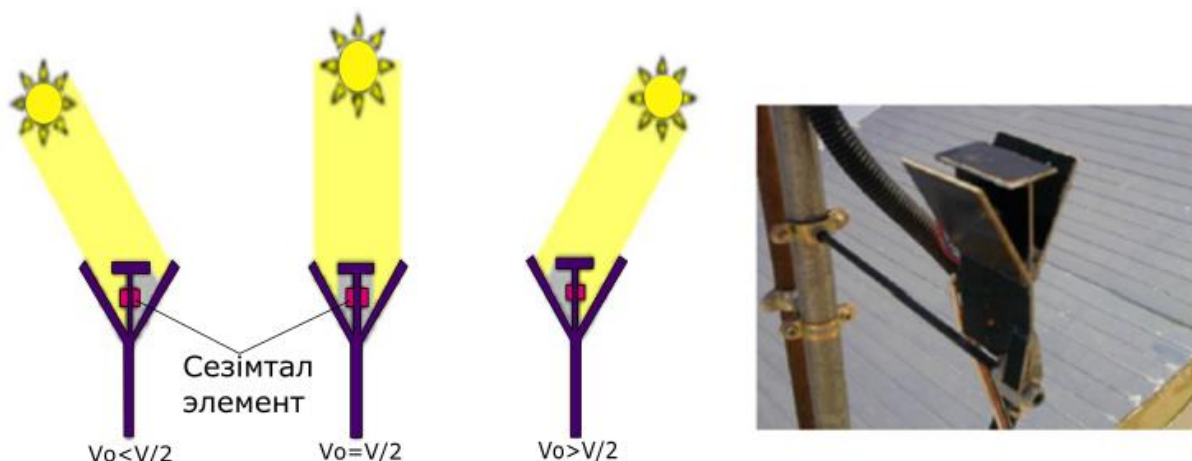
Сонымен қатар, оптикалық сенсорлар фотоэлектрлік модульдің бір ғана жеріне бекітіліп қоймай, жұмыс жасау алгоритміне байланысты жиектеріне де орнатылуы мүмкін. Сурет 1.19-да екі осьті күнді бақылау жүйесі орнатылған фотосенсорларымен көрсетілген. Мұнда 4 фоторезистор (LDR) модульдің солтүстік-батыс, оңтүстік-батыс, солтүстік-шығыс және оңтүстік-шығыс жақтауына орнатылып, сәйкесінше LDR1, LDR2, LDR3 және LDR4 элементтеріне тең. Фоторезистордың шығысындағы сигналдар аналогты түрден сандық түрге түрлендіріліп, электрондық блокта орналасқан Arduino Mega 2560 контроллерімен басқарылады [35].



Сурет 1.19 – Фоторезисторлар негізінде жасалған күнді бақылау жүйесі [35]

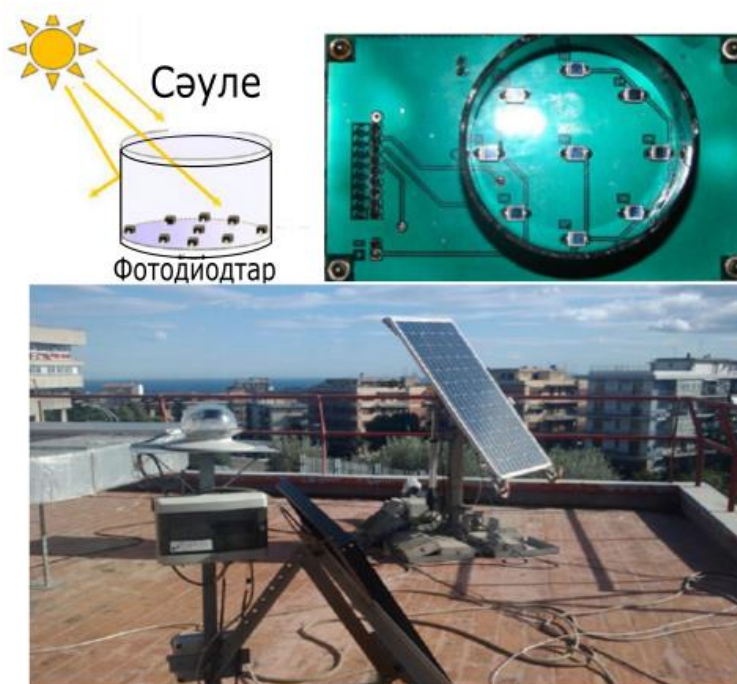
Сурет 1.20-да пішіні жағынан алдыңғы құрылғылардан өзгеше күнді бақылаушы сенсоры көрсетілген. Құрылғы тік пластикалық тіреуіштен, шашырыңқы күн сәулесін шектейтін көлбеу орналасқан екі бүйір пластиктен, күн сәулесінен қорғайтын горизонтальді орналасқан пластиктен және жарық сәулесінің қарқындылығын есептейтін фоторезисторлардан тұрады.

Фотоэлектрлік модульдің бағыты кернеу бөлгішпен байланысқан фоторезистор шығысының сигналына тәуелді өзгеріп отырады [36].



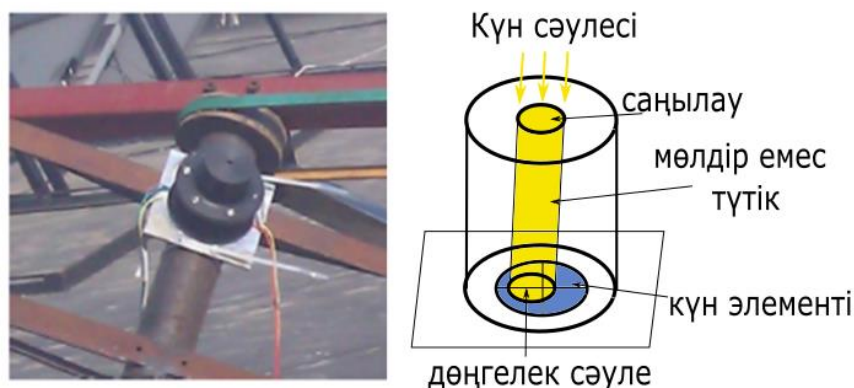
Сурет 1.20 – Күн сәулесінің сенсорға түсуінің түрлі жағдайлары [36]

Цилиндрлік қоршаумен қапталған фотодиодтардың шоғырынан жасалған күнді бақылаушы сенсор сурет 1.21-де көрсетілген. Жүйенің басқару блогы осы сенсор тірегінің астыңғы бөлігінде орналастырылған. Аса сезімтал және жоғары жылдамдықта жұмыс жасайтын тоғыз фотодиодтың шығыс сигналына байланысты модульдің көлбеулігі өзгереді. Қара түсті пластиктен жасалған цилиндр қоршау фотодиодтарға жан-жағынан түсетін шағылысқан сәулелерді өткізбеу үшін қолданылады. Цилиндр қоршаудың биіктігі бақылау жүйесі орнатылатын географиялық ендікке байланысты өзгертіледі [37].



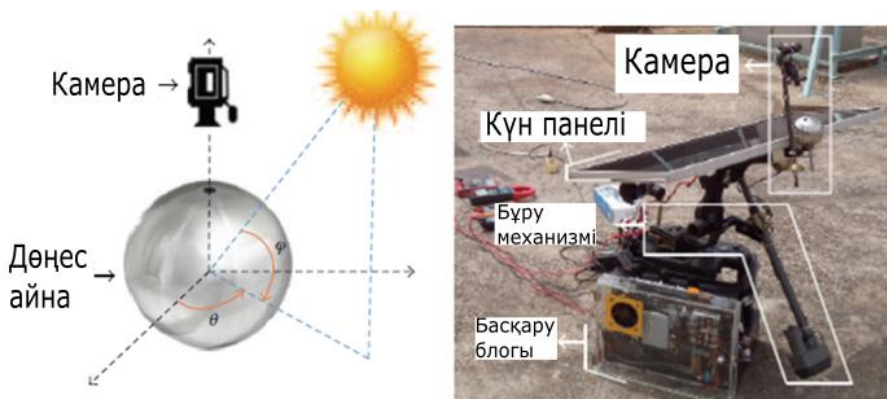
Сурет 1.21 – 9 фотодиодтан жасалған күнді бақылау сенсоры [37]

Сурет 1.22-де түтікше ішінде орналасқан кремнийден жасалған фотоэлементті сенсоры көрсетілген. Күн сәулесі цилиндр түтікшені жарықтандырғанда фотоэлемент бетіне түтікше саңылауының өлшеміне тең дөңгелек пішінді жарық сәулесі пайда болады. Фотоэлемент шығысындағы сигнал жарық өлшеміне сызықты тәуелді болып келеді. Түсіп жатқан сәуле төртке теңдей бөлінген фотоэлементтерінің әрқайсысында әртүрлі мөлшерде болу себепті шығыс электр сигналдары біртекті болады. Олар сигнал күшейткіш электр сұлбасы арқылы басқару блогына жіберіледі және фотоэлектрлік модульді қажетті бағытқа бұрады [22, 95 б.].



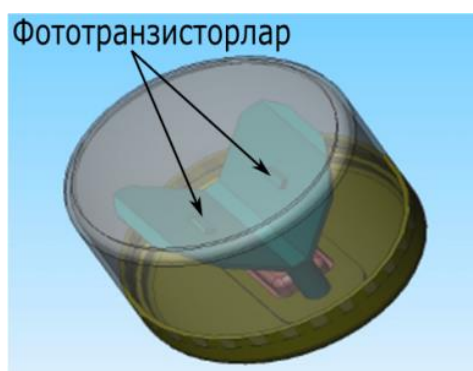
Сурет 1.22 – Түтік тәрізді сенсор негізінде күнді бақылау жүйесі құрылғысы [22, 95 б.]

Катадиоптрикалық камера фотосенсор негізінде жасалған күнді бақылау әдісін қарастырайық. Тәжірибелік модель Helianthus360 деп аталады. Бұл төрт негізгі бөліктен құралған: мәліметтерді жинақтау блогы, яғни катадиоптрикалық камерадан, басқару блогынан, екі осьті бұрылу механизмінен және фотоэлектрлік модульден. Сурет 1.23-те Helianthus360 жүйесінің құрылымы көрсетілген. Катадиоптрикалық камера шар пішінді айнадан күннен келіп жатқан жарық сәулесін қабылдап, талдау арқылы жүйені бұрып отырады [38-41].



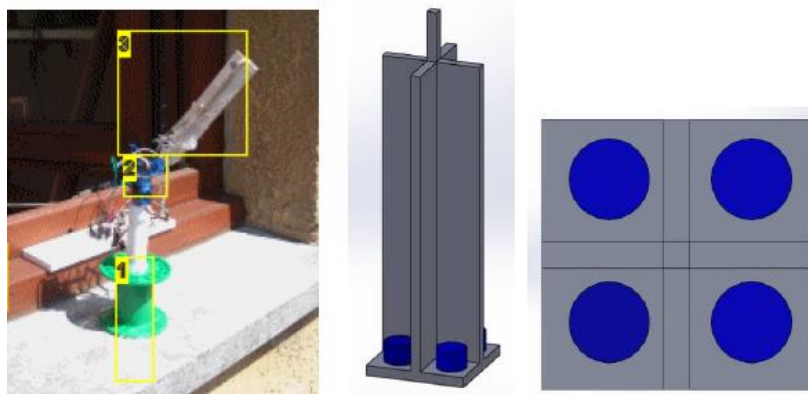
Сурет 1.23 – Катадиоптрикалық камера негізінде күнді бақылау жүйесі [38]

Әдетте классикалық бір осты күнді бақылау жүйелерінде екі ғана фотосенсорлар орнатылады. Сурет 1.24-те көлбеу жазық тақтада орнатылған екі фототранзисторлардан құралған күнді бақылау сенсоры көрсетілген. Екі көлденең орналасқан жазық тақталар бір-бірімен 90 градус бұрыш жасай орналасқан. Сенсор құрылғысы қорғаныш цилиндр шынымен қапталған. Құрылғының екі мәселесі бар: біріншісі – қолданылатын екі фототранзисторлардың электрлік сипаттамалары бірдей болуы қажет; екіншісі – шалаөткізгіш материалдан жасалғандықтан фототранзисторлар жыл өткен сайын құлдырауға ұшырайды, сонымен қатар, сенсордың мөлдір қорғаныш қабатына жағылған дақтар фотоэлементтерге әсер етеді [21, 805 б.].



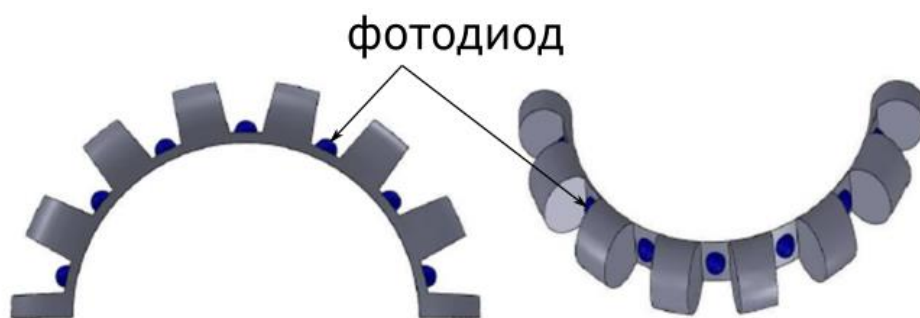
Сурет 1.24 – Фототранзистор негізінде бір ості күнді бақылау сенсоры [21, 805 б.]

Аспан күмбезін сканерлеуші сенсор іске қосылған кезде аспанды берілген алгоритм бойынша белгілі бір қадаммен сканерлейді және әрбір тұрақталған орында күн радиациясының мәнін есептейді. Басқару блогы максималды күн сәулесі түсіп жатқан нүктені анықтап, фотоэлектрлік модульді тиісті бұрышқа бұру сигналын жібереді. Осылайша, жарық сәулесі ең көп келетін нүктеге бағдарланады. Сенсорларды жасаудың бірнеше жолы бар. Олардың бірі – жоғарыда айтылып кеткен гелиотрекердің жұмыс жасау қағидасына негізделген сенсорлар (сурет 1.25) [42].



Сурет 1.25 – Аспан күмбезін сканерлеуші сенсор [42]

Саңылаулы күн сенсорының жасалу нұсқаларының бірі сурет 1.26-да көрсетілген. Жарық сезгіш элементтер ретінде кремнийлі фотодиодтар алынған. Олардың әрқайсысы өз саңылауларында, жарты шеңбер тірегінде орналасқан [5, 7 б.].



Сурет 1.26 – Саңылаулы күнді бақылау сенсоры [5, 7 б.]

Активті басқару әдісі күнді бақылау жүйелерінде жиі қолданылады. Активті әдістің маңызды бөлігі сенсорлар болып табылады, сондықтан, күнді бақылауда пассивті әдістермен салыстырғанда тиімдірек болады.

Активті жүйелерде жұмыс жасау мақсатына қарай әртүрлі сенсорлар қолданылады. Алайда, талдау жүргізу нәтижесінде фотоэлектрлік модульді күнге тура бағыттау үшін оптикалық әдіс тиімсіз екені анықталды. Өйткені құбылмалы ауа-райы және қоршаған ортаның динамикалық әсерлері (шаң тозаң, фотосенсорлардың бетінің ластануы, ылғалдылық және т.б.) оптикалық сенсорлардың жұмыс жасауына кедергі келтіреді. Яғни, ауа-райы бұлтты болған кезде барлық сенсорлардың бетін көлеңке басып, басқару блогы жүйенің қозғалыс механизміне қате бағытта бұрылу пәрменін береді. Осылайша, бұлт сейіліп, қайта күн шыққан уақытта гелиотрекерде орналасқан элементтер күн сәулесінен әлдеқайда ауытқуының салдарынан беті көлеңке болып қала береді және фотоэлектрлік модульдер күн батқанға дейін энергияны аз өндіреді. Сондай-ақ, оптикалық әдіске негізделген сенсорларды талдау нәтижесінде келесі кемшіліктер анықталды: құрылымының күрделілігі, температураға тәуелділік, үздіксіз аспан сферасын бақылап отыру салдарынан қозғалтқыштың энергияны көп тұтыну мәселесі, таңертең жүйені іске қосу мәселесі, сенсордың қымбаттылығы.

1.1.3 Күннің қозғалыс траекториясы кестесіне негізделген күнді бақылау әдістері

Күнді бақылау жүйесін құрастырғанда басқаратын электронды блогы оның ең маңызды бөлігі болып табылады. Өйткені, жүйенің тиімді жұмыс жасауына (қателігінің төмен болуына) басқаратын электронды блогы жауап береді. Күннің тәулік ішінде және жыл бойында қозғалыс траекториясы кестесіне негізделген бақылау әдісінде, орын ауыстыру координаталарының мәндері, трекерді 1 градусқа бұру үшін қозғалтқыштың айналым саны алдын-ала математикалық есептеулер жүргізу нәтижесінде алынады. Бұны сонымен қатар

уақыт бойынша бақылау әдісі деп те атайды. Алынған нәтижелер есте сақтау жадтарында, бағдарламалық код жазылатын микроконтроллерлерде немесе дербес компьютерлерге енгізіліп, сақталады. Алгоритмге сәйкес күнді бақылау жүйесі уақыттың өтуімен автоматты түрде бұрылып отырады [43, 44].

Бағдарламалық код жазылатын микроконтроллер және дербес компьютерде орнатылатын виртуалды бағдарлама сан алуан түрлі болуы мүмкін. Уақыт бойынша күнді бақылау әдісіне негізделіп жасалған жүйелердің бірнеше түрі қарастылырған.

LabView графикалық бағдарламасы мен сандық логикалық кодпен басқарылатын драйверден (CNC driver) құрылған күнді бақылау жүйесінде, күннің уақыт бойынша орын ауыстыруының координата мәндері, қозғалтқыштың белгілі градусқа бұруға жұмсайтын айналым саны дербес компьютерде LabView графикалық бағдарламасына енгізіліп, құрылғының басқару блогына бекітілген сандық логикалық кодпен басқарылатын драйвермен (CNC driver) өзара сымды байланыс желісімен қосылады (сурет 1.27). Бұл әдісті бір осьті және екі осьті күнді бақылау жүйелеріне қолдануға болады [45].



Сурет 1.27 – Өзара тізбектей қосылған бір осьті күнді бақылау жүйесі [45]

Шығыс-батыс және солтүстік-оңтүстік бағытында күнді бақылайтын екі осьті жүйе дербес компьютерге тікелей қосылып, фотоэлектрлік модульді тәулік уақыты мен жыл мезгілі бойынша күн сәулесіне тікелей бағыттауды қамтамасыз етеді. Дербес компьютерде алдын-ала жүйенің бұрылу бұрышы мен электр қозғалтқыштарының қадам саны мәндері есептеліп, алгоритмге енгізіледі [46].

Кейбір уақыт бойынша күнді бақылау жүйелерін жетілдіру үшін қозғалыс координаталарын дербес компьютерге емес сол жүйенің өзінде, электронды блогына орнатылған микроконтроллерде немесе бағдарламалық код жазылатын логикалық контроллерде сақтауға болады. Мысалыға, [47] сілтемедегі ғылыми жұмыста қозғалыс координаталары MS68HC 8 битті микроконтроллерінде сақталып, енгізілген алгоритм бойынша басқарылады. Сонымен қатар,

бағдарламалық код жазылатын логикалық контроллерді (S7200) қолдана отырып бақылау жүйесін уақыт бойынша басқарған [48]. Тағы бір ғылыми жұмыста қозғалыс координаталарының мәндері электрлік өшірілетін, қайта бағдарламалық код жазылатын тұрақты есте сақтаушы құрылғыда сақталған [23, 604 б.]. Барлық атап өтілген ғылыми жұмыстарда бақылау жүйелері екі осьті болып табылады.

Бағдарлау сенсорларына негізделген бақылау әдісін қарастырайық. Ғаламдық бағдарлау жүйесі GPS сенсоры, сандық компас сенсоры және PIC18f4680 микроконтроллері негізінде күнді бақылау әдісінің құрылымы сурет 1.28-де көрсетілген. GPS модулі бірнеше орбиталық спутниктердің көмегімен бойлық пен ендік координаттарының стандартты жүйесінде күнді бақылау жүйесінің нақты орнын анықтау үшін қолданылды. Модуль басқарушы контроллерге бір секунд сайын сигналды үздіксіз жіберіп отырады. Сигналда жергілікті орынның ендігі, бойлығы, биіктігі, мезгілі және нақты уақыты болады. Сандық компас сенсоры фотоэлектрлік модульдердің қате бағытталуы мен бұрмалануын жою үшін қолданылды, сәйкесінше фотоэлектрлік модульдің электр энергиясын өндіруде тиімділігі артуы мүмкін. Модуль жердің магниттік өрісін өлшеу арқылы, солтүстік магнит полюсіне сүйеніп фотоэлектрлік модульдің бағытын анықтап, контроллерге сигнал жібереді. Контроллер орнатылған алгоритмге байланысты жүйені басқарып отырады [49].



Сурет 1.28 – Бағдарлау сенсорына негізделген күнді бақылау жүйесінің блок сұлбасы [49]

Сонымен қатар [50] сілтемедегі ғылыми жұмыста екі осьті күнді бақылау жүйесі ғаламдық бағдарлау жүйесі GPS мен микропроцессор

dsPIC33FJ128MC802 негізінде жасалған. Алдыңғы жүйеден айырмашылығы құрылғыларды қашықтықтан сымсыз сенсорлық желі негізінде бақылау жүйесі орнатылған

Фотоэлектрлік модульдің орнатылған жерінің координатасын анықтау үшін ғаламдық бағдарлау жүйесін GPS/BeiDou, үш еркіндік осында жұмыс жасайтын компас және кері байланысы бар фотодиодтарды қолдану арқылы гибридті күнді бақылау әдісі жасалған. Географиялық бағдарлау модулі фотоэлектрлік жүйенің орнатылған жерінің ендігін, бойлығын 2,5 метр дәлдікпен және нақты күн мезгілін әрбір 29 секунд ішінде жіберіп отырады. Мәліметтер STM32F103ZET6 микроконтроллерінде өңделеді. Ары қарай жүйе күн сәулесіне бағытталудың дәлдігін тексеру үшін орнатылған төрт фотодиодтардан ақпарат қабылдайды. Егер барлық фотодиодтардың шығысындағы сигналдардың мәндері теңескен болса жүйе сол орнында қозғалыссыз қалады. Егер сәйкес келмесе, қайсібір фотодиодтан максимум мән қабылданса сол бағытта жүйені бұрады [18, 587 б.].

Интеллектуалды алгоритмдер негізінде күнді бақылау әдістері де бар. Қолданылатын сенсорлар мен олардың шығысындағы айнымалыларды дербес компьютерлерде немесе бағдарламалық код жазылатын контроллерде интеллектуалды алгоритмдермен өңдеу арқылы күнді бақылаудың жаңаша әдістерін жасауға болдаы.

Дифференциалды эволюция алгоритмі мен күн сәулесі радиациясына негізделген күнді бақылау әдісі. Дифференциалды эволюция (DE) алгоритмі – сызықты емес шектеулерді ескере отырып, ғаламдық (глобальді) оңтайландыру мәселелерін шешуге қабілетті тікелей іздеудің стохастикалық алгоритмі. Күн сәулесімен келіп жатқан радиация мөлшері жанама есептеу жүргізу арқылы табылады. Яғни, фотоэлектрлік модульдің шығысына ток пен кернеудің мәндерін өлшейтін сенсорлар орнатылып, уақыт бойынша үздіксіз өндіріліп жатқан электр қуаты алынады. Ары қарай, сигнал дербес компьютерге немесе бағдарламалық код жазылатын микроконтроллерге жеткізіледі. Басқару блогында орнатылған дифференциалды эволюция алгоритмі келген мәндерді сарлыстыра отырып, жүйенің қозғалыс механизміне күн сәулесі көп түсіп жатқан бағытқа бұру туралы пәрмен береді [51].

Анық емес логика алгоритміне негізделген күнді бақылау әдісі. Анық емес логика – бұл айнымалылардың шындық мәні 0-ден 1-ге дейінгі кез-келген нақты сан болуы мүмкін көп мәнді логиканың бір түрі. Ол жарым-жартылай шындық ұғымын өңдеу үшін қолданылады, мұнда шындықтың мәні толығымен шындықтан толығымен жалғанға дейін өзгеруі мүмкін. Яғни, толығымен шындыққа жанасатын мән 1-ге, ал толығымен жалған мән 0-ге тең деп алынады. Жүйе түсіп жатқан күн сәулесінің бағытын анықтау үшін анық емес логика алгоритміне тәулік уақыты мен жыл мезгіліндегі сол күннің анықтамасы қажет болады. Берілген әдіс бір осты және екі осты күнді бақылау жүйелерінде қолдануға болады [52].

Әртүрлі сырттан әсер етуші факторлар (мысалы, атмосфералық кедергі, электромагниттік кедергі, ауа-райының өзгеруі, күннің активтілігі) сымсыз

байланыс (GPS, GSM және т.б.) қабылдағыштарының сигналының жоғалуына әкелуі мүмкін. Бұл өлшеу деректерінің сапасына кері әсер етеді. Сондай-ақ, бағдарлаушы электронды компастың орналасу бұрышының өзгеруі азимуттың координаттарын анықтауда қателіктер тудырады. Өйткені, сыртқы магниттік өрсітер мен металдардан шағылысқан электромагниттік кедергілер әр түрлі ауытқуларға әкеледі. Магнит өрісі мен бағыты, сондай-ақ металдардан шағылысатын электромагниттік толқындардың мөлшерін алдын-ала болжауға, сандық түрде модельдеуге және калибрлеу арқылы өтеуге болмайды. Сандық компас пен ғаламдық позициялау (GPS) сенсорларын күн трекеріне орнату экономикалық қымбат болып табылады [53-60].

1.2 Күнге оңтайлы бағытталушы фотоэлектрлік жүйелердің жұмыс жасауының математикалық моделі

Фотоэлектрлік модульдің өндіретін электр қуатына есептеулер жүргізу үшін алдымен тәулік бойында түсетін күн радиациясының мөлшерін анықтау қажет.

β бұрышпен орналасқан белгілі бір бетке перпендикуляр бағытта келіп түсетін күн радиациясының мөлшері $S_{r_{\text{тип}}}$ төмендегі формуламен анықталады [61-63]:

$$S_{r_{\text{тип}}} = S_{r_{\text{max}}} \times K_{\text{ат}} \times \cos\beta \quad (1.1)$$

Мндағы, $S_{r_{\text{max}}}$ – жер бетіне күннен келіп түсетін радиация мөлшері. Бұл шама күн тұрақтысына тең, яғни 1325 Вт/м^2 . Өлшем жүргізерде бұл энергияның 30-35% кері қарай шағылысып кететінін ескере отырып, оны $S_{r_{\text{max}}}=925 \text{ Вт/м}^2$ тең деп аламыз; β – берілген бетке күн сәулесінің анықталған бұрыш бойынша түсуі; $K_{\text{ат}}$ – күн сәулесін өткізуші ауа массасының түзету коэффициенті.

$$K_{\text{ат}} = 1.1254 - \frac{0.1366}{\sinh_c} \quad (1.2)$$

$$\cos\beta = \sinh_c \cos\alpha + \cosh_c \sin\alpha \quad (1.3)$$

Мұндағы, α – фотоэлектрлік модуль жазықтығының көкжиекке қарай еңкею бұрышы; h_c – берілген уақыт мезетіндегі көкжиектегі күн траекториясы биіктігінің бұрышын анықтайды.

Жердің осі эклиптика жазықтығына перпендикулярдан $23^\circ 27'$ бұрышқа ауытқиды, сондықтан жарты жыл сайын әр географиялық орын күнге қарай, ал екінші жартысы күннен қарай еңкейеді (сурет 1.1).

Көктемгі күн мен түннің теңесуінде талтүсте күн траекториясының биіктігі $h=90^\circ-\theta$ тең болады, мұндағы θ - географиялық ендік. Жазғы күн тоқырауындағы талтүсте күн траекториясы биіктігі ең үлкен мәнге ие болады $h_{\text{max}}=90^\circ-\theta+23^\circ 27'$ және бұл күні күндізгі уақыт максималды болып келеді. Күзгі күн мен түннің теңесу нүктесінде болғанда күндіз бен түн уақыты теңеседі және күн траекториясының биіктігі көктемгі күн мен түннің

теңесуіндегідей талтүсте $h=90^\circ-\theta$ тең болады. Қысқы күн тоқырауында талтүсте күн траекториясы биіктігі ең аз мәнге ие $h_{\min}=90^\circ-\theta-23^\circ27'$ және күндізгі уақыт ұзақтығы минималды болады. Жылдың қалған күндерінде талтүсте күн траекториясы биіктігі h_{\min} - нен h_{\max} аралығында өзгереді. h_{\max} мен h_{\min} – бұл фотоэлектрлік модульдің еңкею бұрышының шектік мәндері [64].

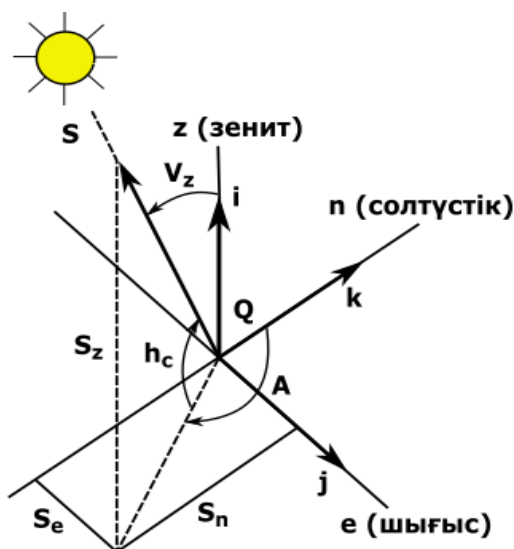
Күн траекториясы биіктігі h_c үшін өрнекті анықтайық. Күннің зениттік бұрышы – күн сәулесі векторының бағыты S мен бақылаушыға қатысты зениттік ось арасындағы бұрыш (сурет 1.29). Зениттік бұрыш v_z күн траекториясы биіктігін h_c сипаттайды [65, 70]

$$v_z = 90^\circ - h_c \quad (1.4)$$

Векторлық түрде S өрнегін келесідей жазуға болады:

$$S = S_z i + S_e j + S_n k \quad (1.5)$$

Мұндағы, i, j және k – зенит (z), шығыс (e) және солтүстік (n) осьтері бойындағы бірлік векторлар.



Сурет 1.29 – Бақылаушы үшін күннің орналасу бұрышы [65, 23 б.]

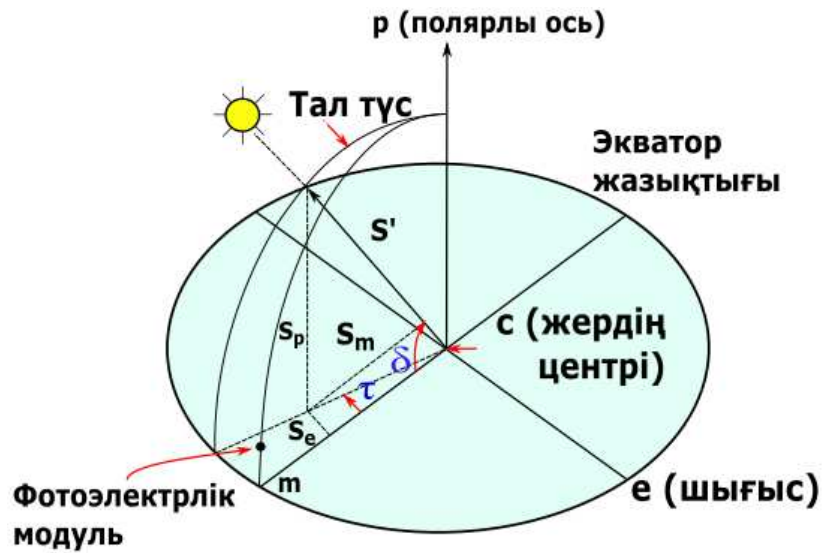
Күннің азимуты мен биіктігі тұрғысынан, S өрнегін келесідей түрде жазуға болады:

$$\begin{aligned} S_z &= \sin(h_c) \\ S_e &= \cos(h_c)\sin(A) \\ S_n &= \cos(h_c)\cos(A) \end{aligned} \quad (1.6)$$

Сурет 1.30-да көрсетілген геоцентрлік координата жүйесінде m осі жердің центрін және жергілікті меридиан мен экваторлық жазықтықтың қиылысу нүктесін кесіп өтеді. e осі m осіне перпендикуляр және экваторлық жазықтықта

орналасқан. p осі – солтүстік полюсті кесіп өтетін экваторлық жазықтықтың нормалі. Жаңа күн векторы S' күннің еңкею бұрышы мен сағаттық бұрыштың көмегімен сипаттауға болады [66].

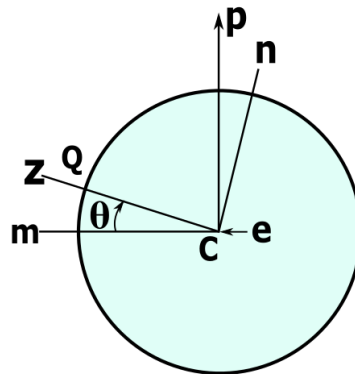
$$\begin{aligned}
 S' &= S'_m i + S'_e j + S'_n k \\
 S_e &= \cos(\delta) \cos(\tau) \\
 S'_e &= \cos(\delta) \sin(\tau) \\
 S'_n &= \sin(\delta)
 \end{aligned}
 \tag{1.7}$$



Сурет 1.30 – Күн бұрышының геометриясы [65, 24 б.]

Топоцентрлік және геоцентрлік координаттар ендік бұрышы (ϕ) арқылы e осі бойымен айналуымен өзара байланысты (сурет 1.31).

$$\begin{vmatrix} S_z \\ S_e \\ S_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} S'_m \\ S'_e \\ S'_p \end{vmatrix}
 \tag{1.8}$$



Сурет 1.31 – Геоцентрлік координаталарды топологиялыққа түрлендіру [65, 27 б.]

1.8 өрнегін шешіп, нәтижесін 1.5 және 1.7 өрнектеріне қою арқылы келесі теңдеулерді аламыз:

$$\begin{cases} \sin(h_c) = \sin(\delta) \sin(\theta) + \cos(\delta) \cos(\omega) \cos(\theta) \\ \cos(h_c) \sin(A) = -\cos(\delta) \sin(\tau) \\ \cos(h_c) \cos(A) = \sin(\delta) \cos(\theta) - \cos(\delta) \cos(\tau) \sin(\theta) \end{cases} \quad (1.9)$$

1.9 теңдеулер жүйесінен h_c өрнегін түрлендіріп аламыз:

$$h_c = \arcsin(\sin(\delta) \sin(\theta) + \cos(\delta) \cos(\tau) \cos(\theta)) \quad (1.10)$$

Осылайша, күн траекториясының биіктігі h_c күннің еңкею бұрышының мәніне δ , сағаттық бұрышқа τ және жергілікті ендікке θ тәуелді болады. Жергілікті ендік фотоэлектрлік модульдің орналасқан географиялық орнына сәйкес келеді.

Жыл бойына күннің еңкею бұрышының талтүстегі өзгеру графигін тұрғызу үшін Буржас өрнегі қолданылады (сурет 1.32) [63]:

$$\delta = 0.372 + \sum_{k=1}^3 [A_k \sin(kD) + B_k \cos(kD)] \quad (1.11)$$

Мұндағы, k , A_k және B_k коэффициенттері кесте 1.4-те келтірілген мәндерге ие, ал D коэффициентін келесі өрнекпен анықтауға болады [49, 163 б]:

$$D = \frac{360}{365.25} (N - 79.346) \quad (1.12)$$

Мұндағы, N – жыл ішіндегі тәжірибе жүргізіліп отырған күннің реттік номері.

Кесте 1.4 – k , A_k және B_k коэффициенттерінің мәндері

k	A	B
1	23.2567	-0.758
2	0.1149	0.3656
3	-0.1712	0.0201

Графиктен көріп отырғанымыздай жыл бойы күннің еңкею бұрышы $-23,5^\circ$ -тан $23,5^\circ$ -ке дейін өзгереді. Күннің еңкею бұрышын қарапайым өрнекті пайдалану арқылы табуға болады:

$$\delta = 23.5 \sin\left(\frac{284+N}{365}\right) \quad (1.13)$$

Мұндағы, N – жыл ішіндегі тәжірибе жүргізіліп отырған күннің реттік номері.

Жергілікті сағаттық бұрыш жергілікті күн уақытына сызықты тәуелді болып келеді [49, 164 б.]:

$$\tau = 15(T_s - 12) \quad (1.14)$$

Мұндағы, τ – сағаттық бұрыш, °; T_s – жергілікті уақыт, сағ.



Сурет 1.32 – Жыл бойы күннің еңкею бұрышының өзгеруі [63]

Орташа және шынайы күн уақыттарының өзара айырмашылығын уақыт теңдеуі деп аталады. Айырмашылық екі себептен пайда болады:

- жердің эллипстік орбитасымен перигелиде максималды және афелиде минималды жылдамдықпен біркелкі емес қозғалыс жасауына байланысты;

- күн мен түннің теңелуі маңайында эклиптиканың экваторға көлбеулігіне байланысты экваторға жақын күн жылдамдығының проекциясы экваторға параллель қозғалатын күн тоқырауы кезеңіне қарағанда аз.

Екі ауытқу да синусойдалық түрге ие (сурет 1.33). Осы екі графиктің жалпы сомасы уақыт теңдеуінің графигі (EOT-equation of time) болып табылады.

Сурет 1.33-тен көрініп тұрғандай, шынайы күн уақыты орташа күн уақытынан 17 минутқа ауытқуы мүмкін.

Уақыт теңдеуін анықтау үшін келесідей өрнек пайдаланылады [49, 165 б.]:

$$EOT = 60 \sum_{k=1}^6 \left(A_k \cos \left(\frac{360kn}{365.25} \right) + B_k \sin \left(\frac{360kn}{365.25} \right) \right) \quad (1.15)$$

Мұндағы, n – кібісе жыл циклындағы реттік сан; k , A_k и B_k – кесте 1.5-те келтірілген тұрақты мәндер.

Шынайы күн уақыты мен жергілікті уақыт мәндерінің тәуелділігі келесідей түрде болады:

$$T_S = T_L - \frac{EOT}{60} - P - LC \quad (1.16)$$

Мұндағы, T_L – жергілікті уақыт; P – жазғы уақытқа өтудегі түзету ($P=1$ жазғы уақытқа өткен кезде және $P=0$ қысқы уақытқа өткен кезде); LC (longitude correction) – бойлық бойынша түзету (сағат).

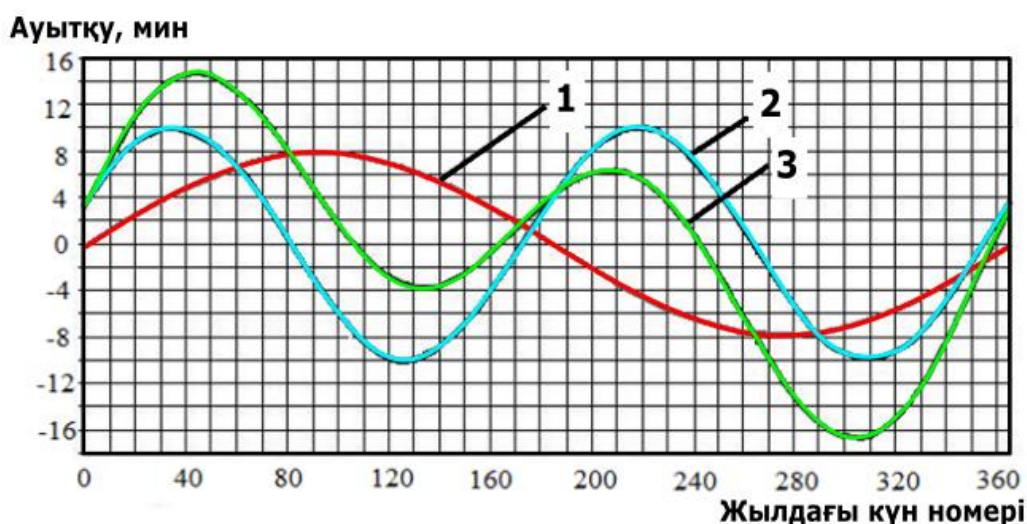
Кесте 1.5 – k , A_k и B_k – коэффициенттерінің мәндері

k	A	B
1	$2,0870 \cdot 10^{-4}$	0
2	$9,2869 \cdot 10^{-3}$	$-1,2229 \cdot 10^{-1}$
3	$-5,2258 \cdot 10^{-2}$	$-1,5698 \cdot 10^{-1}$
4	$-1,3077 \cdot 10^{-3}$	$-5,1602 \cdot 10^{-3}$
5	$-2,1867 \cdot 10^{-3}$	$-2,9823 \cdot 10^{-3}$
6	$-1,5100 \cdot 10^{-4}$	$-2,363 \cdot 10^{-4}$

Бойлық бойынша түзету төмендегідей өрнекпен анықталады:

$$LC = \frac{\text{ж.б.} - \text{ст.м.б.}}{15} \quad (1.17)$$

Мұндағы, ж.б. – жергілікті бойлық L_c ; ст.м.б. – стандартты меридиан бойлығы L_s . Түзетудің мәні жергілікті меридиан стандартты меридианнан шығысқа қарай орналасса оң және стандартты меридианнан батысқа қарай орналасса теріс болады. Бұл өрнекті дұрыс пайдалану үшін географиялық бойлықтар гринвич бойынша батыс меридианының оң мәндерімен және шығыс меридианның теріс мәндерімен қабылдануы керек.



Сурет 1.33 – Уақыт теңдеуі мен уақыт түзетуінің графиктері: 1 – жер орбитасының эллипстігінен туындаған түзету, 2 – эклиптиканың еңкеюінен туындаған түзету, 3 – уақыт теңдеуінің графигі [63]

Осылайша, белгілі бір бұрышпен орналасқан бетке түсетін тікелей күн радиациясының ағынына әсер ететін барлық шамалар үшін өрнектер анықталады.

Бір және екі осьті күнді бақылау жүйелерін қолдана отырып, фотоэлектрлік модульдердің бетіне түсетін тікелей күн радиациясы ағынының формулаларын анықтаймыз.

Екі осьті күнді бақылау жүйесін қолданған кезде фотоэлектрлік модульдердің беті күнге тура бағытталған, сондықтан оның беткі нормалі мен күн сәулелері арасындағы бұрыш β 0-ге тең болады, яғни өрнек төмендегідей болады [67, 68, 71]:

$$Sr = Sr_{max} \times K_{ат} \quad (1.18)$$

Бір осьті күнді бақылау жүйесі үшін келіп жатқан күн сәулесінің қуатының өрнегі төмендегідей болады:

$$Sr = Sr_{max} \times K_{ат} \times \cos(\theta - h_c) \quad (1.19)$$

Бұл жағдайда фотоэлектрлік модульдің екінші осінің көкжиекке көлбеу бұрышы ескеріледі (әдетте бұрыш фотоэлектрлік модуль орналасқан жердің ендігіне тең).

Көкжиекке белгілі бір бұрышпен орналастырылған стационарлы фотоэлектрлік модуль бетіне түсетін күн сәулесі қуатының формуласын келесідей өрнекпен есептеуге болады:

$$Sr = Sr_{max} \times K_{ат} \times \cos(\theta - h_c) \times \cos(90 - \tau) \quad (1.20)$$

Күнді бақылау жүйелерінің жұмыс жасау тиімділігін анықтау үшін бақылау жүйелерін қолдана отырып жасалған фотоэлектрлік модульдердің қуатын стационар орнатылған фотоэлектрлік модульдің өндірген қуатымен салыстыру қажет. Ол үшін фотоэлектрлік модульдердің өндіретін қуатының оның бетіне түсетін күн сәулесінің қуатына тәуелділігін анықтау қажет.

Фотоэлектрлік модульдің өндіретін қуатын есептеудің ең қарапайым әдісі – бұл модульдің ПӘК-ін, оның бетіне түсетін күн сәулесі қуатына көбейту болып табылады [69].

$$P_{фм} = Sr_{тур} \times ПӘК \times S_{фм} \quad (1.21)$$

Мұндағы, $P_{фм}$ -фотоэлектрлік модульдің өндірген қуаты; ПӘК – фотоэлектрлік модульдің пайдалы әсер коэффициенті; $S_{фм}$ -фотоэлектрлік модульдің ауданы.

Жоғарыда келтірілген 1.1-1.21 өрнектері фотоэлектрлік модульдердің бір күндік жұмыс жасауының математикалық моделін құрайды. Математикалық

өрнектер күн электр станцияларын құрауда фотоэлектрлік модульдердің қажетті мөлшерде қуатты өндірулері үшін есептеу жүргізерде қолданылады.

1.3 Максималды қуат нүктесін анықтау әдісін фотоэлектрлік жүйелерге қолдану арқылы тиімділігін арттыру

Фотоэлектрлік модульдің тиімділігін арттыру қазіргі таңда өзекті мәселелердің бірі болып отыр. Өткен жылдары фотоэлектрлік жүйелердің энергия түрлендіру тиімділігі 17% ғана құраса, қазіргі таңда бұл көрсеткіш технологиялық өркендеудің арқасында 40% дейін жетіп отыр. Фотоэлектрлік жүйелердің жалпы тиімділігін арттыру үшін күнді бақылау құрылғыларымен қатар, модульдің максималды жұмыс қуатының нүктесін анықтай отырып өндірген тұрақты қорек көзін жүктемеге тиімді түрде түрлендіріп, жеткізетін контроллерді қолдану қажет. Сондықтан күнді бақылау жүйесі мен максималды қуат нүктесін бақылайтын (МҚНБ), электр зарядын түрлендіруші контроллердің фотоэлектрлік станциялардағы маңызы өте зор [72].

Фотоэлектрлік элементтің бетін белгілі бір мөлшерде жарық сәулесімен жарықтандыруда және температурасының тұрақсыздығы кезінде оның қуат-кернеу өзгерісі P-U және ток-кернеу өзгерісінің I-U графикалық бейнесі сызықты емес процесс екенін көрсетеді. Сонымен қатар температура өзгерісі фотоэлектрлік элементтің шығыс кернеуіне, ал түсіп жатқан күн сәулесінің өзгерісі оның шығыс тогына әсер етеді. P-U графигінде максималды қуат нүктесі (MPP-maximum power point) деп аталатын ерекше нүкте бар, онда бүкіл фотоэлектрлік жүйенің жұмысы максималды тиімділікпен жүреді және оңтайлы қуат береді. Максималды қуат нүктесінің орны бастапқыда белгісіз, сондықтан максималды қуат нүктесінде фотоэлектрлік модульдің жұмыс нүктесін ұстап тұру үшін максималды қуат нүктесін бақылайтын контроллерлердің қолданылатын тиісті әдістері қажет. Сонымен қатар, максималды қуат нүктесін бақылайтын контроллерлер фотоэлектрлік жүйенің қызмет ету мерзімін арттырады [73].

Сурет 1.34-те фотоэлектрлік модуль үшін P-U және I-U графиктері көрсетілген. Түсетін жарық пен температура өзгерісінің кез-келген жиынтық мөлшері үшін фотоэлектрлік жүйенің әдетте ток (I) және кернеу (U) мәндері максималды шығыс қуатына әкелетін бір жұмыс нүктесі болады. Осы нүктеге жету үшін жүктеме кедергісі R_L сипаттамалық кедергіге R_{ch} тең болуы қажет. Оны табу үшін төменде келтірілген формуланы қолданамыз (1) [74]:

$$R_{ch} = \frac{U_{MPP}}{I_{MPP}} \quad (1.22)$$

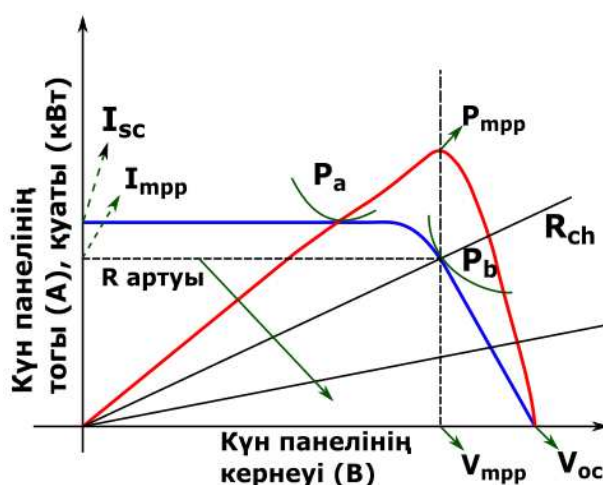
Мұндағы, U_{MPP} – максималды қуат нүктесіндегі кернеу, I_{MPP} – максималды қуат нүктесіндегі токтың мәні.

Бұл жағдайда импедансты сәйкестендіру мәселесі ретінде қарастыруға болады. Жұмыс жағдайы үнемі өзгеріп отыратындықтан фотоэлектрлік модульден максималды қуат алу әрдайым мүмкін бола бермейді. Сондықтан, максималды қуат нүктесін бақылау контроллері қажет болады. Контроллерде

орнатылған тұрақты ток түрлендіргіші фотоэлектрлік модульдер мен жүктеме арасындағы интерфейс ретінде әрекет етеді (сурет 1.35). Қуатты тиімді түрлендіргіш жүктемесінің мәні кілттің қосылу ұзақтығына байланысты өзгереді:

$$R' = R_L \times (1 - d)^2 \quad (1.23)$$

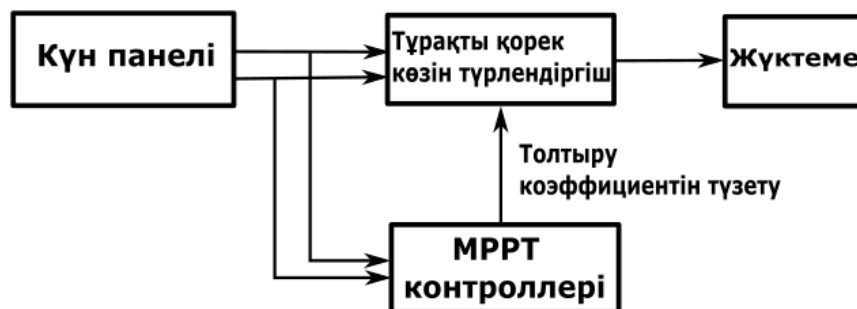
Мұндағы, R_L – жүктеме кедергісі, R' - фотоэлектрлік модульдің шағылысу кедергісі, ал d – түрлендіргіштің жұмыс жасау циклі (duty cycle). Түрлендіргіштің жұмыс жасау циклін өзгерте отырып, максималды қуат нүктесін бақылаушы контроллер R' -ты R_{ch} мәніне жақындату үшін өзгертуге тырысады.



Сурет 1.34 – Күн панелінің P-U және I-U сипаттамалары [74]

Максималды қуат нүктесін бақылаушы контроллердің түрлендіргіштері үш негізгі топқа бөлінеді. Олар [75]:

- Электр кернеуін арттырушы түрлендіргіш (boost converter);
- Электр кернеуін төмендетуші түрлендіргіш (buck converter);
- Электр кернеуін төмендетуші және арттырушы түрлендіргіш (buck-boost converter);



Сурет 1.35 – Қарапайым МҚНБ жүйесінің блок диаграммасы [75]

Максималды қуат нүктесін бақылаудың бірнеше әдістері бар. Басқару режимі бойынша максималды қуат нүктесін бақылау екі топқа бөлінеді: тікелей (online) және жанама (offline). Бірінші әдісте максималды қуат нүктесін бақылаушы контроллер қосылған фотоэлектрлік модулдердің мөлшері, шамасы туралы ақпараттарды алдын-ала білмей-ақ жұмыс жасай береді. Сондай-ақ, тікелей бақылау әдісін кез-келген жағдайларда қоса беруге мүмкін болады. Бірақ, автономды жұмыс жасау әдісінде бұл сипаттамаларды алдын-ала бақылау контроллеріне орнату қажет. Жанама бақылау әдісі керісінше, қосылатын жүйенің сипаттамаларын алдын-ала деректермен хабардар етіп оытру қажет [77-80].

Айнымалылардың мөлшеріне байланысты максималды қуат нүктесін бақылау әдістері бір және екі айнымалысы бар деп бөлінеді. Бір айнымалысы бар топ тек бір параметрді өлшейтін әдістерден тұрады. Мысалы, ток, кернеу немесе температураның өзгерісі. Ал, екі айнымалысы бар топқа ток және кернеу сияқты екі параметрді өлшейтін әдістер кіреді. Өлшенетін айнымалылардың саны аз болған сайын қолданылатын сенсорлардың да саны кемиді.

Бақылау нәтижесіне байланысты максималды қуат нүктесін анықтау екі әдіске бөлінеді: шынайы және шынайы емес (жалған) максималды қуат нүктесін бақылау. Шынайы бақылау тобы максималды қуат нүктесін дәлірек анықтайтын әдістерден тұрады. Ал, жалған бақылау әдістері максималды қуат нүктесін жуықтауды қолдана отырып анықтайды. Бұл максимал қуатты жылдам анықтағанымен, оның максималды нүктені бақылаудағы дәлдігі әрдайым шындыққа сәйкес келе бермейді.

Бақылау стиліне байланысты максималды қуат нүктесін анықтау әдістері бірнеше түрге бөлінеді. Яғни, максималды қуат нүктесін бақылайтын екі жүйе де бірдей жолмен жүзеге асырылады. Бұнда орналасқан әдістердің басымдылығы, кемшіліктері және жұмыс жасау стилдері ұқсас болып келеді (сурет 1.36) [76].



Сурет 1.36 – Максималды қуат нүктесін бақылау әдістерінің классификациясы [76]

Ауытқуларды аппроксимациялау (curve fitting) әдісінің негізгі мақсаты қолданылатын фотоэлементтің қуатының кернеуге (P-U) тәуелділік сипаттамасын аппроксимациялауға мүмкіндік беретін полиномдарды ұсыну болып табылады. Оған жету үшін әр түрлі жағдайлардағы фотоэлектрлік модулдердің тәжірибелік өлшемдерін (P, U, I және т.б.) жинақтау және аппроксимациялау әдістерін қолдану қажет. Фотоэлектрлік модулдің P-U сипаттамасы үшін ең көп таралған аппроксимациялау – бұл текше тәрізді полиномдау. Сурет 1.37-де келтірілгендей, қуат шамасының кернеуге тәуелді өзгерісі максималды қуат нүктесінде нөлге тең екені көрініп тұр. Осы нүктедегі кернеуді анықтау арқылы біз контроллер шығысында максималды қуатты шығара аламыз.

$$U_{mpp} = \frac{-b(T_{cell}) \pm \sqrt{(b(T_{cell}))^2 - 3a(T_{cell})c(T_{cell})}}{3a(T_{cell})} \quad (1.24)$$

Негізгі артықшылығы: қарапайым жасалуы.

Негізгі кемшіліктері: жанама басқару режимі (қосылатын фотоэлектрлік жүйе туралы сипаттамаларды алдын-ала білдіру қажет), есептеулердің көптігіне байланысты жады үлкен сыйымдылықты болу қажет, төмен жылдамдықта бақылайды, коэффициенттердің қоршаған орта жағдайларына тәуелділігі, максималды қуат нүктесін қателікпен көрсету, аппроксимацияның дәлдігі эксперименттік үлгілердің санына байланысты [82].

Кесте бойынша бақылау (Look up table based method) әдісі алдын-ала сақталған мәлімет көрсеткіштерінің ішінен максимал мәнді іздеуге негізделген. Бұл әдісте кернеу немесе ток әртүрлі жағдайлардағы максималды қуат нүктесі үшін есептеледі және контроллердің жадында сақталады. Жұмыс жасау кезінде фотоэлектрлік модулдің өзгеріс жағдайлары мен кернеу (немесе ток) өлшеніп, максималды қуат нүктесіне жету үшін алдын-ала сақталған деректермен салыстырылады.

Негізгі артықшылығы: жұмыс жасау логикасының қарапайымдылығы.

Негізгі кемшіліктері: қоршаған ортаның барлық мүмкін болатын жағдайларын қолдану үшін көп мөлшерде өлшеулер қажеттілігі, есте сақтау жадының үлкен сыйымдылықты болуының қажеттілігі, барлық жағдайды сақтай алмауы, дәлдігі төмен, қоршаған ортаның әртүрлі жағдайларын қажет етуі, фотоэлементтер үшін бірегей кесте қажеттілігі, жанама режимі, төмен жылдамдық, қолданылатын сенсорлардың кем дегенде екі түрін қажет етеді [81].

Қуатты үйлестіру бақылау (Power matching method) әдісі фотоэлектрлік массивтерге тікелей қосылған жүктемелерді басқаруға негізделген. Бұл әдіс белгілі бір жүктемемен жақсы үйлесім табатын айқын сипаттамалары бар фотоэлементтен қажетті қуатты өндіру үшін қолданылады.

Негізгі артықшылығы: қарапайым жасалуы.

Негізгі кемшіліктері: фотоэлемент пен жүктемнің сипаттамалары туралы ақпараттың қажеттілігі, кез-келген жүктеме кезінде фотоэлемент пен түзетулерді өзгерту қажет [82].

Сандық бақылауға негізделген (Numerical based methods) әдісі сандық алгоритмдерді қолдана отырып фотоэлементтің эквивалентті тізбегінен алынған теңдеулерді шешу арқылы жұмыс істейді. Бұл топ екі негізгі кіші топшаға бөлінеді: "ашық әдістер" және "жақтауға алу әдістері". Ашық әдістер бастапқы болжамды теңдіктердің түбірі ретінде қолданады, ал жақтауға алу әдістері бастапқы болжамды қажет етпестен көрсетілген аралықтың қиылысуына негізделген.

Негізгі артықшылықтары: қарапайым жасалуы, жақсы дәлдікпен және шапшаң жұмыс жасауы.

Негізгі кемшіліктері: жылдамдық бастапқы болжамдарға байланысты, бұл әдістердің көпшілігі салыстырмалы түрде қымбат.

Сандық бақылауға негізделген әдісінің түрлері: ашық әдіс (Ньютон-Рапсон, қиылысу, тік түсу), жақтауға алу әдісі (бисекция, центрлік нүкте, сызықтандыру) [82, 23 б.].

Фотоэлементтерге негізделген (Cell based methods) әдістер фотоэлементтердің екі маңызды қасиетін қолданады: бос жүріс кернеуі (U_{oc}) және қысқа тұйықталу тогы (I_{sc}). Бұл әдістердің негізгі мақсаты кез-келген жағдайда әр элемент немесе массивтер үшін бір ғана максималды қуат нүктесін анықтау, яғни U_{mpp} және I_{mpp} шамалары бірегей, сондықтан, максималды қуат нүктесін U_{mpp} немесе I_{mpp} анықтау арқылы бақылауға болады. Бұл әдістер U_{mpp} және U_{oc} (немесе I_{mpp} және I_{sc}) арасындағы байланысты көрсетуге тырысады.

Негізгі артықшылықтары: қарапайымдылығы мен жұмыс жасау жылдамдығы.

Негізгі кемшіліктері: максималды қуат нүктесін бақылаудағы қателіктер, қолданылатын фотоэлементтің физикалық параметрлерін алдын-ала еңгізуді талап етеді.

Фотоэлементтерге негізделген әдісі келесідей түрлерге бөлінеді: қысқа тұйықталу тогын бақылау әдісі (FSCC), модификацияланған қысқа тұйықталу тогын бақылау әдісі (MFSCC), бос жүріс кернеуін бақылау әдісі (FOCV) [82, 24 б.].

Тұрақты кернеу немесе токты бақылау (Constant voltage or current (CV or CI) method) әдісі максималды қуат нүктесін бақылаудың ең оңай түрі. U_{mpp} (немесе I_{mpp}) алдын-ала есептеп, оның мәнін нұсқаушы ретінде орнату жеткілікті. Бастапқыда контроллер кернеуді (немесе токты) өлшеп алып, оны сақтаулы тұрған нұсқаушы мәнімен салыстырады және пайда болған қатені тұрақты ток түрлендіргішіне қолданады. Бұл оның жұмыс циклінде өзгеріс тудырады. Құрылғыда бір ғана параметр, кернеу немесе токтың есептелуіне байланысты қолданылатын сенсорлар аз болады. Бұл әдіс аккумуляторы жоқ жүйелерге арналған.

Негізгі артықшылықтары: құрамында сенсорлары аз, осындай қағидалармен жұмыс жасайтын әдістерге қарағанда үнемді және тиімді, қарапайымдылық.

Негізгі кемшілігі: офлайн (априорлық мағлұматтарды қажет етеді), тек бір нақты шаманы есептеу үшін қолдануға болады (V_{mpp} немесе I_{mpp}), максималды қуат нүктесін бақылауда қателіктер, аккумуляторлар қолданылмайды [76, 14 б.].

Дифференциалды бақылау (Differential based methods) әдісінде фотоэлементтің максималды қуат нүктесін жоғары дәлдікпен бақылай алатын тәсілдер қолданылады.

Дифференциалды әдіс бірнеше түрге бөлінеді: уақыт бойынша қуаттың өзгерісі әдісі (power variation with time method), кернеу немесе ток бойынша қуаттың өзгерісі әдісі (Power variation with voltage or current).

Уақыт бойынша қуаттың өзгерісі әдісінде (power variation with time method), жоғарыда атап өткендей, максималды қуат нүктесінде уақыт бойынша қуат шамасының өзгерісі нөлге тең болады. Яғни, оны келесідей жазамыз:

$$\frac{dP}{dt} = 0$$
$$\frac{dP}{dt} = \frac{dUI}{dt} = 0 \rightarrow I \frac{dU}{dt} + U \frac{dI}{dt} = 0 \quad (1.25)$$

Мұндағы, I , U және P – фотоэлемент шығысындағы ток, кернеу және қуаттың шамалары, t – уақыт.

Негізгі артықшылықтары: онлайн, максималды қуат нүктесін нақты бақылау, температура мен жарыққа тәуелсіз.

Негізгі кемшіліктері: құрылғының жасалу күрделілігі, көптеген есептелетін шамалар, төмен жылдамдық, ұзақ уақыт бақылау, қымбаттылығы, екі параметрді өлшеу қажеттілігі (кернеу және ток, сәйкесінше екі сенсор қажет).

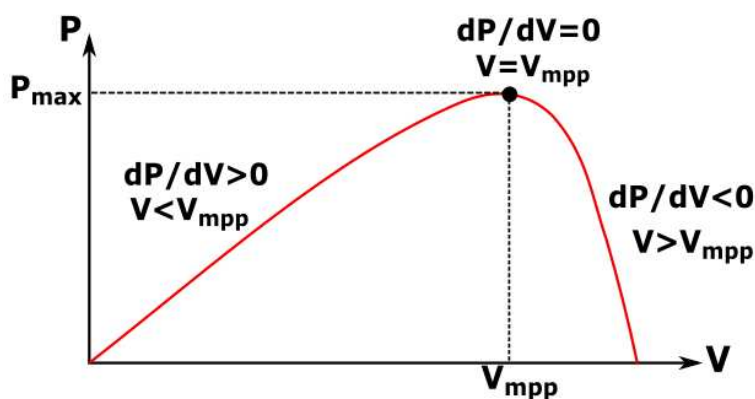
Кернеу немесе ток бойынша қуаттың өзгерісі (Power variation with voltage or current) әдісінде кернеумен қуаттың өзгеруі максималды қуат нүктесінде нөлге тең және бұл токтың өзгерісіне де қатысты. Ең алдымен dP/dU есептелінеді. Кернеуге байланысты қуаттың өзгеруін есептеу үшін әртүрлі әдістер қолданылады. Мысалы, сандық құрылғылардың көмегімен іріктеу және есептеу. Егер dP/dU (немесе $\Delta P/\Delta U$) нөлден үлкен болса, онда $P < P_{max}$ және $U < U_{mpp}$, басқаша айтқанда, бақылау нүктесі максималды қуат нүктесінің сол жағында орналасқан. Нәтижесінде кернеуді арттыру арқылы қуатты арттыру қажет. Егер dP/dU (немесе $\Delta P/\Delta U$) нөлден аз болса, онда $P > P_{max}$ және $U > U_{mpp}$ (ағымдағы нүкте максималды қуат нүктесінің оң жағында орналасқан) дегенді білдіреді, сондықтан кернеуді азайту арқылы қуатты арттыру керек (сурет 1.37). Кернеудің U орнына токты I қою арқылы токқа байланысты қуаттың өзгеруіне қол жеткізуге болады [76, 15 б.].

Ауытқуларға негізделген бақылау (Perturbation based methods) әдісі ең көп таралған максималды қуат нүктесін бақылайтын тәсілдердің біріне жатады. Бұл әдістер ауытқуларды қолдана отырып, графитегі нүктенің көрсеткішін алдыңғы нүктемен салыстыруға негізделген. Бұл әдісте жұмыс нүктесі максималды қуат нүктесінің айналасында үздіксіз өзгеріп тұруына қарамастан, олардың жасалу қарапайымдылығына, дәлдігіне және жақсы жылдамдығына байланысты коммерциялық контроллерлерде жиі қолданады.

Негізгі артықшылықтары: қарапайым жасалуы, дәлдігі және шапшаңдығы.

Негізгі кемшіліктері: қоршаған ортаның құбылмалы жағдайында пайдалану қолайлы емес, максималды қуат нүктесінің айналасында үздіксіз ауытқып отыруы, бірнеше максималды қуат нүктесінен ең оңтайлы нүктені бақылай алмайды.

Ауытқуларға негізделген бақылау әдістерінің келесідей түрлері бар: ауытқу және қадағалау әдісі (Perturbation and observation (P & O) method), ауытқу және қадағалаудың жаңартылған әдісі (Modified perturbation and observation method), бағалаушы ауытқу-ауытқу әдісі (Estimated-perturb-perturb (E.P.P.) method), өрге шығу (Hill climbing), мәжбүрлі тербелістер әдісі (Forced oscillation method), үш нүкте бойынша шамаларды салыстыру әдісі (Three point weight comparison method) [76, 16 б.].



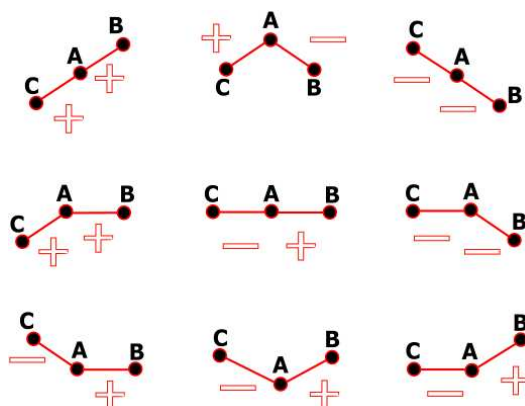
Сурет 1.37 – Қуаттың кернеуге тәуелді өзгеріс графигі [76, 16 б.]

Ауытқу және қадағалау әдісі (Perturbation and observation (P & O) method) коммерциялық жүйелердегі ең көп таралған әдіс. Жұмыстың бірінші кезеңінде фотоэлементтің кернеуі мен тогы өлшеніп, осы екі шама арқылы қуат P_a анықталады, содан кейін белгілі бір шамада ауытқу қадамы кернеуге (ΔU) немесе токқа (ΔI) қолданылып, өзгеріс нәтижесінде пайда болған жаңа қуат P_b өлшенеді. Енді P_a және P_b өзара салыстырылады. Егер $P_b > P_a$ болса ($\Delta P > 0$) ауытқу қадамы тура бағытта екенін білдіреді, сондықтан басқа ауытқу қадамдары осы бағытта қолданылады. Дәл осылай жаңадан өлшенген қуат P_c алдыңғы қуаттың P_b мәнімен салыстырылады. Егер $P_b < P_c$ болса ($\Delta P < 0$), онда ауытқу қадамы дұрыс емес бағытта болғанын білдіреді және келесі ауытқу қадамдары кері бағытта қолданылады. Нәтижесінде, жаңадан өлшенген қуат P_d алдыңғы P_c мәнімен салыстырылады. Бұл ауытқу қадамдары максималды қуат нүктесіне жеткенге дейін қайталанып отырады.

Негізгі артықшылықтары: тікелей жұмыс режимі (априорлық мәліметтерді қажет етпейді), жұмыс жасау логикасының қарапайымдылығы, құрылғыны жасаудың қарапайымдылығы, жылдамдығы орташа, максималды қуат нүктесін табудың дәлдігі орташа (ауытқу қадамының шамасына байланысты).

Негізгі кемшіліктері: қоршаған ортаның шапшаң өзгерістерінде жұмыс жасай алмайды, ауытқу қадамының шамасын дұрыс анықтау қиын және маңызды, бірнеше максималды қуат нүктесінің ішінен ең жоғарғы шамасын анықтау мүмкіндігі төмен, максималды қуат нүктесінің айналасында үнемі ауытқып тұрады [85].

Үш нүкте бойынша шамаларды салыстыру әдісі (Three point weight comparison method) ауытқу және қадағалау әдісінің бір түрі және үш нүктенің шамасын өзара салыстыра отырып максималды қуат нүктесін анықтайды. Фотоэлементтің шығысындағы кернеудің ауытқуы периодты түрде пайда болып, элементтің шығыс қуаты үш нүкте бойынша салыстырылады. Бұл үш нүкте: ағымдағы нүкте (A), (A)-дан тура бағытта ауытқу нүктесі (B) және (A)-дан кері бағытта ауытқу нүктесінен (C) деп аталады. Егер (B) нүктесінің қуатының шамасы (A) нүктесіндегі қуат көрсеткішінен үлкен немесе оған тең болса, онда бұл күй – оң таңбамен белгіленеді, ал егер (B)-ның қуаты (A)-дан аз болса – теріс таңба пайда болады. Егер (C) нүктесінің қуаты (A) нүктесінің қуатынан аз болса – оң таңба пайда болады, ал теріс таңба (C) қуаты (A) қуатынан үлкен екенін көрсетеді. Салыстыру кезінде екі оң таңбасы пайда болса, (A) нүктесінен (B)-ға өту үшін түрлендіргіштің жұмыс циклі көбейтілуі керек (кернеу ауытқу шамасына дейін көбейтілуі керек), ал екі теріс таңба түрлендіргіштің жұмыс циклін азайту керектігін білдіреді ((A) нүктесінен (C)-ға өту керек). Егер бір оң және бір теріс таңбасы болса, онда максималды қуат нүктесінде тұрғандығын немесе күн радиациясының шапшаң өзгергендігін білдіреді. Сурет 1.38-де ықтимал болатын тоғыз жағдай көрсетілген. Бұл әдістің негізгі артықшылықтары мен кемшіліктері ауытқу және қадағалау әдісіне ұқсас [83].



Сурет 1.38 – Үш ауытқу нүктесі әдісінің тоғыз түрлі мүмкін күйлері [83]

Өткізгіштікке негізделген бақылау (Conduction based methods) әдісі максималды қуат нүктесін жылдам және нақты анықтайтын тәсілдердің бірі

болып табылады және үш негізгі әдіске бөлінеді: қосымша өткізгіштік (Incremental conduction), паразиттік сыйымдылық (Parasitic capacitance) және жылжымалы режим (Sliding mode).

Негізгі артықшылықтары: жоғары жылдамдық, максималды қуат нүктесін нақты анықтау, ауытқулар төмен.

Негізгі кемшіліктер: құрылымы күрделі, кемінде екі параметр қажет етеді (U, I) [76, 17 б.].

Қосымша өткізгіштік (Incremental conduction) әдісі жоғары жылдамдық пен дәлдікке, сондай-ақ тез өзгертін жағдайларға бейімделу қабілетіне байланысты коммерциялық құрылғылардағы ең көп таралған әдістердің бірі. Қуаттың кернеуге тәуелділік графигіне сәйкес dP/dU шамасы максималды қуат нүктесінде нөлге тең, максималды қуат нүктесінің сол жағында нөлден үлкен және максималды қуат нүктесінің оң жағында нөлден аз болады.

$$\begin{cases} \frac{dP}{dU} < 0 & \text{МҚН оң жағында} \\ \frac{dP}{dU} = 0 & \text{МҚН нүктесінде} \\ \frac{dP}{dU} > 0 & \text{МҚН сол жағында} \end{cases} \quad (1.26)$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{d(UI)}{dU} = I + U \frac{dI}{dU} \cong I + U \frac{\Delta I}{\Delta U} \quad (1.27)$$

Келтірілген формулаларды түрлендіре отырып келесі түрге ие боламыз:

$$\begin{cases} \frac{\Delta I}{\Delta U} < -\frac{I}{U} & \text{МҚН оң жағында} \\ \frac{\Delta I}{\Delta U} = -\frac{I}{U} & \text{МҚН нүктесінде} \\ \frac{\Delta I}{\Delta U} > -\frac{I}{U} & \text{МҚН сол жағында} \end{cases} \quad (1.28)$$

I/U лездік өткізгіштік, ал $\Delta I/\Delta U$ қосымша өткізгіштік деп аталады.

Негізгі артықшылықтары: тікелей жұмыс режимі, шапшаңдығы жоғары, өте жақсы дәлдік, құбылмалы жағдайларға бейім, максималды қуат нүктесі айналасындағы тербелістер ауытқу және бақылау әдісіне қарағанда аз.

Негізгі кемшіліктері: жылдамдық пен дәлдік өсу қадамының мөлшеріне тәуелді, айтарлықтай тербелістердің пайда болу ықтималдығы, қымбат контроллердің қажеттілігі, сенсорлардың екі түрін (U және I) пайдалану қажет, құбылмалы жағдайларда кері байланысты ұзақ уақытта орнатуы.

Қосымша өткізгіштік әдісінің бірнеше түрлері бар: жаңартылған қосымша өткізгіштік (Modified Incremental conduction (MINC)), кадамның айнымалы өлшемі (Variable step size), жақсартылған кадамның айнымалы өлшемі (Improved variable step size), қуатты арттыру арқылы (Power-increment-aided) [82, 26 б.].

Пульсацияны түзетуді басқару (Ripple correction control method) әдісі максималды қуат нүктесін бақылау үшін ток және кернеу импульстарын қолдануға негізделген. Фотоэлектрлік модульді түрлендіргішке қосқан уақытта фотоэлементтің кернеуінің, тогының және қуатының ауытқуы туындайды, оған себепші болып отырған түрлендіргіштің жұмыс режимінің ауысып отыруы болып табылады. Осы әдістің, басқа ауытқуға негізделген әдістерден басты айырмашылығы – пульсацияның өздігінен пайда болуында. Токтың (немесе кернеудің) және қуаттың пульсациясының мәнін өлшеу арқылы жұмыс нүктесін анықтауға болады, содан кейін токты (немесе кернеуді) арттырып немесе кеміту арқылы максималды қуат нүктесіне қол жеткізуге болады.

$$\begin{cases} \frac{dI}{dt} \frac{dP}{dU} > 0 & i < i_{MPP} \\ \frac{dI}{dt} \frac{dP}{dU} = 0 & i = i_{MPP} \\ \frac{dI}{dt} \frac{dP}{dU} < 0 & i > i_{MPP} \end{cases} \quad (1.29)$$

Негізгі артықшылықтары: жоғары жылдамдық, жоғары дәлдік, максималды қуат нүктесін нақты анықтау, тиімділігі жоғары.

Негізгі кемшіліктер: бірнеше максималды қуат нүктесін анықтау мүмкін емес, қымбат, құрылымы салыстырмалы түрде күрделі [82, 26 б.].

Температура негізінде бақылау (Temperature based method) әдісі тұрақты кернеу әдісіне ұқсас және жаңартылған стилі ретінде қарастыруға болады, сондықтан, олардың байланыс өрнегін былай жазуымызға болады:

$$U_{MPP}(T) = U_{MPP}(T_{ref}) + u_{VMPP}(T - T_{ref}) \quad (1.30)$$

Мұндағы, $U_{MPP}(T)$ – T температурадағы (берілген температура) максималды қуат нүктесінің кернеуі, $U_{MPP}(T_{ref})$ – эталондық температурадағы максималды қуат нүктесіндегі кернеуі, u_{VMPP} – бұл $U_{MPP}(T_{ref})$ параметрі секілді U_{MPP} -нің температуралық коэффициенті, u_{VMPP} және T_{ref} кестеден алынады. T сенсор бойынша өлшеніп болғаннан кейін, $U_{MPP}(T)$ есепке алынып тірек кернеуі ретінде орнатылады. Контроллер өлшенген кернеудің мәнін тірек кернеуімен салыстырып, жұмыс режимін өзгертуші түрлендіргішке қажетті түзетулер еңгізеді. Жасалған барлық қадамдар уақыт өтуімен T және $U_{MPP}(T)$ мәндерін жаңартып отыру үшін қайталанып отырады.

Негізгі артықшылықтары: қарапайымдылық, құбылмалы жағдайда максималды қуат нүктесін бақылай алу мүмкіндігі, бақылау дәлдігі жоғары, жұмыс жасау жылдамдығы орташа.

Негізгі кемшіліктері: тиімділігі төмен және фотоэлемент туралы априорлық мағлұматты қажет етуі [76, 18 б.].

Интеллектуалды әдістер (Intelligent methods) жасанды интеллектке немесе табиғаттың құбылыстарына негізделген, сондықтан бұл әдістерді қолдану жан-жақты мәліметтерді бақылауды қажет етеді.

Негізгі артықшылықтары: реттеуге болатын жылдамдық, реттеуге болатын дәлдік, алдын-ала түзетулерді қажет етпейді, төменгі тербелістер.

Негізгі кемшіліктері: бақыланатын мәліметтерді қажет етеді, жасалуы күрделі, бағасы қымбат [76, 18 б.].

Интеллектуалды бақылау әдісінің келесідей түрлері бар: айқын емес логикаға негізделген әдіс (Fuzzy logic based methods), жасанды нейрондық желі (Artificial neural network), жарқырауық алгоритмі (firefly algorithm), бөлшек топтарын оңтайландыру әдісі (Particle swarm optimization (PSO) method), генетикалық алгоритм (Genetic algorithm), құмырсқа жүйесін оңтайландыру (Ant System Optimization), радиалды қозғалыстың оңтайландырылған бейімделуі (adaptive radial movement optimization), жарқанат алгоритмі (Bat Algorithm), гүлдердің тозаңдану алгоритмі (Flower Pollination Algorithm), сұр қасқыр оңтайландыру алгоритмі (Grey Wolf Optimizer), маймылдар патшасы эволюциясы (Monkey King Evolution), жалын көбелегін оңтайландыру (moth-flame optimization), китті оңтайландыру (whale optimization) [76, 19 б.].

Айқын емес логикаға негізделген әдісі (Fuzzy logic based methods) адамның білімі мен лингвистикалық айнымалыларынан сандық ақпарат алу үшін немесе оларды сандық деректерді өңдеу үшін қолданады. Бірінші кезеңде сандық деректер айқын емес құраушылардың көмегімен лингвистикалық тіркестерге немесе мүшелік функцияларға түрленеді, бұл кезең фазификация деп аталады. Келесі кезеңде айнымалылар немесе мәселе туралы адамның білімі арасындағы қатынастарға сәйкестендіріп жүйені басқару үшін IF-THEN заңдары құрылады. Соңғы кезеңде нәтижелер лингвистикалық тіркестерден немесе айқын емес функциялардан сандық мәліметтерге көшіріледі. Айқын емес логика арқылы ең көп таралған максималды қуат нүктесін бақылайтын алгоритмдерінің бірі:

$$e(k) = \frac{dP}{dU}(k) - \frac{dP}{dU}(k-1) \quad (1.31)$$

$$ce(k) = e(k) - e(k-1) \quad (1.32)$$

Мұндағы $e(k)$ - k мезетіндегі жұмыс нүктесінің қатесі (максималды қуат нүктесінен ауытқу), ал $ce(k)$ - k мезетіндегі қатенің өзгеруі. Зандылықтардың мөлшері талап етілген дәлдікке және белгілі бір функцияларға байланысты. Анықталған "e" және "ce" бес функциясы үшін жиырма бес заңдылық (5*5) қажет болады (сурет 1.39). Мұндағы NB – теріс үлкен, NS – теріс кішкентай, ZO – нөлге тең, PS – оң кішкентай, ал PB – оң үлкен. Мысалы, бірінші жол мен бірінші бағанның шығыс заңдылығы мынаны білдіреді: егер, қате – теріс үлкен болса, ал қатенің өзгерісі – үлкен теріс болса, онда жұмыс циклінің өзгеруі нөлге тең болуы керек.

Негізгі артықшылықтары: жоғары реттелетін жылдамдық, реттелетін өте жоғары дәлдік, алдын-ала мағлұматтарды енгізудің қажетсіздігі, құбылмалы жағдайларда ауытқудың аз болуы, анықталмаған кіріс сигналдарымен жұмыс жасай алу мүмкіндігі, жоғары тиімділік.

Негізгі кемшіліктері: жасалу күрделілігі, бағасы қымбат, жанама жұмыс режимі [76, 19 б.].

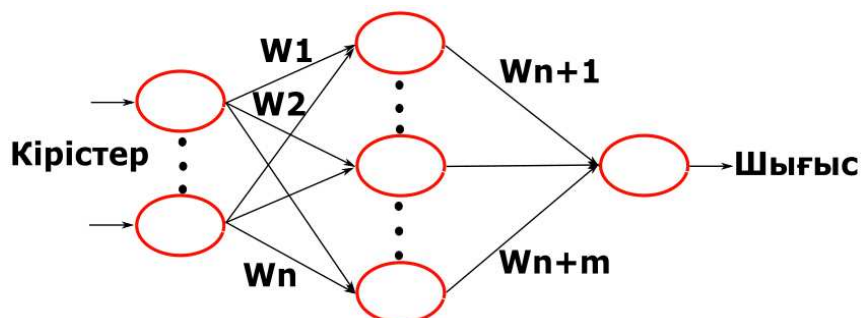
Жасанды нейрондық желі (Artificial neural network) әдісі максималды қуат нүктесін бақылаудың ең жаңа және тиімді әдістерінің бірі. Бұл әдісте кіріс айнымалылары мен тапсырмалары түйін ретінде көрсетілген, нұсқаушылар түйіндерді бір-бірімен байланыстырады, ал кез-келген нұсқаушы өзіндік ерекше мәнге ие. Осы әдіспен максималды қуат нүктесін бақылау үшін жарық, температура және кернеу сияқты фотоэлементтің тиімді қуат факторларын кіріс айнымалылары ретінде орнатып, ал шығысын U_{MPP} немесе максималды қуат нүктесімен байланысты кез-келген басқа да фактор ретінде орнатуға болады, мысалы, түрлендіргіштің жұмыс циклі. Нұсқаушылардың өзіндік мәні жүйенің параметрлері немесе тәжірибелік мәліметтер арасындағы қатынастардан алынады (сурет 1.40).

E \ CE	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	ZO	ZO	NB	NB	NB
NS	ZO	ZO	NS	NS	NS
ZO	NS	ZO	ZO	ZO	PS
PS	PS	PS	PS	ZO	ZO
PB	PB	PB	PB	ZO	ZO

Сурет 1.39 – МҚН үшін заңдылық кестесі [76, 19 б.]

Негізгі артықшылықтары: жоғары жылдамдық, жоғары дәлдік, бастапқы түзетулерді қажет етпейді, құбылмалы жағдайларда ауытқулардың аз болуы, жоғары тиімділік.

Негізгі кемшіліктері: құрылымы күрделі, бағасы қымбат және жанама режимдегі жұмысы [84].



Сурет 1.40 – Жасанды нейрон желісінің блок сұлбасы [84]

1.4 Фотоэлектрлік жүйелерді қашықтықтан бақылау және басқару

Фотоэлектрлік қондырғылардың энергетикалық өнімділігіне қашықтықтан бақылау (мониторинг) жргізу және оны ары қарай түрлендіретін технологияларды дамыту өте маңызды болып табылады. Мұндай жүйелерді қолданудағы мақсат: күн сәулесінен өндірілетін энергия деңгейінің өзгерістеріне әсер ететін әртүрлі қолайсыз жағдайларды болжау болып табылады. Сонымен қатар, жүйенің жұмысын үнемі бақылау қажетті өнімділікке кедергі келтіретін себептерді анықтау үшін өте маңызды. Осы мәселелердің барлығын кешенді шешу үшін фотоэлектрлік бақылау жүйесі қолданылады және оның міндеті фотоэлектрлік жүйеге минималды шығын жұмсай отырып тұрақты жұмыс жасауын арттыру болып табылады.

Фотоэлектрлік қондырғыларды бақылау жүйелері мағлұматтарды нақты уақыт кезеңінде көрсетіп отыруға арналған. Оларға: жарық энергиясының потенциалы, түрлендірілген электр энергиясы, әртүрлі ақаулар салдарынан энергия шығындары, қоршаған ортаның климаттық өзгерістері және т.б. Осының арқасында шағын және орта фотоэлектрлік станциялары үшін тиімді, арзан және қол жетімді бақылау жүйелерін қажетті өнімділікке нұқсан келтірместен дамытып отыруға айтарлықтай күш жұмсалды. Орынатылатын жердің климаттық ерекшелігіне байланысты қажетті құрылғыларды таңдау – фотоэлектрлік жүйелерге дұрыс мониторинг жүргізу үшін өте маңызды. Соңғы онжылдықта фотоэлектрлік модульдерді бақылау жүйелерінің әртүрлі ғылыми аспектілері жарияланған [86].

Фотоэлектрлік жүйелер мониторингінің жалпы құрылымдық блок сұлбасы сурет 1.41-де көрсетілген. Мониторинг жүйелерін жер бетінде немесе ғарыштық бақылау жүйелері ретінде жіктеуге болады. Бірінші тәсіл фотоэлектрлік жүйенің күйін бақылау кезінде оның тез әрекет етуі мен дәлдігіне байланысты жиі кездеседі. Осылайша, бұл фотоэлектрлік жүйенің жұмыс күйінің өзгерісін және ақаулардың салдарынан мүмкін болатын энергия шығынын дер кезінде анықтау арқылы оның өнімділігін жақсартуға мүмкіндік береді. Жер бетіндегі мониторингтік жүйелерінде қолданылатын негізгі компоненттер ретінде бақылау жүйесіндегі айнымалыны нақты уақытта өлшейтін сенсорлар алынады. Бұл ретте ғарыштық мониторингтік жүйелерінде сенсорлардың болмауына байланысты үнемі болуы мүмкін. Ғарыштық мониторингтік жүйелерінің кемшіліктері, олардың төмен дәлдікте шешім қабылдауы және климаттық жағдайлардың кері әсері болып табылады.

Фотоэлектрлік мониторинг жүйесіндегі тағы бір маңызды бөлігі ретінде сенсорлардың өлшеу нәтижелерін ары қарай өңдеуге жетелейтін сигналды күшейтіп, сүзгіден өткізетін блок алынады. Ол сонымен қатар нақты уақыт режимінде дербес компьютерге (ДК) сигналды түрлендіру блогының шығысындағы деректерін беретін микроконтроллерден тұрады. Дербес компьютер мәліметтерді сақтауды, көрсетуді және сараптама жргізуді жүзеге асырады. Ішкі талдау және сыртқы пайдаланушы командалары негізінде ДК командаларды болашақ әрекеттер үшін жүйелік басқару блогына жібереді [87].

Кез-келген мониторинг жүйелері құрылымына байланысты мынадай сипаттамалардан тұрады: бақыланатын параметрлер, сенсорлар, микроконтроллер, деректерді жіберу тәсілі, бағдарламалық жасақтама және бақылау әдісі.

Күн энергиясының тұрақсыздығы фотоэлектрлік жүйенің шығысында өндірілетін электр қуатының кенеттен артып немесе төмендеуіне алып келеді. Сондықтан, мониторинг жүйесінің маңызды аспектісі ретінде өлшенетін параметрлерді таңдау болып табылады. Фотоэлектрлік жүйеде бақыланатын параметрлер тізімі кесте 1.6-да келтірілген.



Сурет 1.41 – Фотоэлектрлік жүйе мониторингінің блок сұлбасы [87, 1182 б.]

Кесте 1.6 – Фотоэлектрлік жүйенің мониторингтік параметрлері [87, 1184 б.]

Фотоэлектрлік жүйе түрі	Параметрлер		
	Метрологиялық	Электрлік	
Желіге қосылған	Күн панелі бетіне түсіп жатқан радиация мөлшері	Фотоэлектрлік шоғыр	Электрлік желі
	Қоршаған орта температурасы	Шығыс кернеу	Желі кернеуі
	Модуль температурасы	Шығыс ток	Электр желісіне берілетін ток
	Желдің жылдамдығы	Шығыс қуат	Электр желісінен келетін ток
	Желдің бағыты	Шығыс энергия	Электр желісіне берілетін қуат
	Блғалдылық		Электр желісіне келетін қуат
	Ауа қысымы	Электр желісінің кедергісі	
Автономды жүйе		Жүктеме	
		Шығыс кернеу	
		Шығыс ток	
		Шығыс қуат	

Қазіргі заманғы фотоэлектрлік мониторинг жүйелеріне жүргізілген сараптама бойынша, ең маңызды электрлік және метрологиялық параметрлері – күн сәулесі, температура, кернеу және ток болып табылады. Сурет 1.42-де желілік және автономды фотоэлектрлік жүйеге қосылған сенсорлардың орналасу реті көрсетілген. Мониторинг жүйесі әртүрлі жағдайларда ақпарат тасымалдайтын көптеген сенсорлардан тұрады. Басқару блогы қабылданған ақпараттарға байланысты жүйені пайдалану, ауыстыру және сенімділікке қатысты шешімдер шығарады.



Сурет 1.42 – Күн электрстанцияларының құрылымы [87, 1184 б.]

Мониторинг параметрлерін операциялық және метрологиялық өлшеу – бұл фотоэлектрлік жүйенің электрлік, физикалық қасиеттерін және жүйенің орнатылған аймағының атмосфералық жағдайларын өлшеу процесі. Төменде мониторинг жүйесінің негізгі параметрлерін өлшеу үшін қолданылатын әртүрлі әдістер берілген.

Фотоэлектрлік мониторинг жүйесінде қолданылатын негізгі құралдарды қарастырайық. Жоғарыда аталған параметрлерді бақылау үшін қолданылатын құралдар төменгі диапазоннан жоғары диапазонға дейінгі мүмкіндіктерге ие. Мониторинг жүйесін дұрыс ұйымдастыру үшін пайдаланылатын құрылғының мүмкіндіктері мен функционалдық шектеулерін, оның қоршаған ортаға және пайдаланудағы өзгерістерге реакциясын алдын-ала саралау қажет.

Мониторинг жүйесінің орнатылатын орны мен мақсатына байланысты қолданылатын құрылғылар таңдалып алынады. Аталған параметрлерді жоғары дәлдікпен өлшеу үшін фотоэлектрлік мониторингтік жүйесінде қолданылатын негізгі құралдар төменде келтірілген:

- Ток сенсоры;
- Кернеу сенсоры;
- Күн радиациясының сенсоры;

- Температура сенсоры;
- Анемометр;
- Гигрометр;
- Барометр;
- Ақпаратты жинақтаушы жүйе;
- Ақпарат таратушы құрылғы;
- Ақпаратты сараптаушы және сақтап отырушы құрылғы;
- Виртуалды бағдарлама;

Ток сенсорлары мониторинг жүйесінде фотоэлектрлік құрылғылардың өндіретін электр тогын басқару және жүйені қорғау үшін қажет. Бұл өлшеніп жатқан ток ағынын анықтап оны кернеуге пропорционалды түрде түрлендіретін құрылғы.

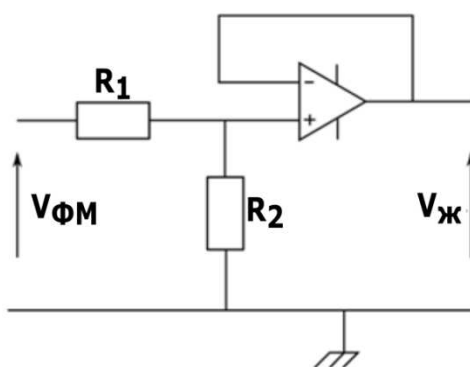
Фотоэлектрлік жүйе тогының мөлшері туралы ақпарат оның тұрақтылығын жақсарту үшін және дұрыс мониторинг жүргізу үшін маңызды болып табылады. Токты өлшейтін сенсорлар қолдану түріне және оның дәлдігіне, құнына, өлшеміне және өткізу қабілеттілігіне байланысты қолжетімді. Қазіргі таңда сандық басқару және бақылау жүйесінде ток сенсоры шығысында аналогтық-сандық түрлендіргішті (АСТ) қолдануды қажет етеді. Шағын өлшемі мен төмен құнының арқасында шунттаушы резистор токты өлшеу үшін кеңінен қолданылады. Жоғары тиімділікке, интеграция деңгейіне және күрделі басқару әдістерін қолданудың қарапайымдылығына қол жеткізу үшін аналогтық басқару тізбектері сандық басқару тізбектерімен ауыстырылады. Шунттағы кернеу түсуі өте төмен және оны күшейту қажет, өйткені ол өткізу қабілеттілігін өзгертеді және құрылғының мөлшері мен құнын арттырады. Токты өлшеудің әртүрлі әдістерінің жұмыс қағидалары мен техникалық шектеулерін түсіну маңызды. Олар әртүрлі физикалық қағидалар негізінде жіктеледі (сурет 1.43).



Сурет 1.43 – Токты өлшеудің классификациясы [87, 1185 б.]

Кернеу сенсоры – бұл тұрақты немесе айнымалы кернеу деңгейлерін өлшейтін құрылғы. Ол өлшенетін кернеуді кірісінде қабылдап, кернеу немесе ток сигналын аналогтық түрінде шығарады.

Фотоэлектрлік жүйелерде кернеу сенсорлары сенімді және тиімді жұмыс жасауы үшін фотоэлектрлік модульдің шығысы, инвертор шығысы, ток тасымалдаушы сымдар, қосқыштар, трансформаторлар, өткізгіштер және аккумулятор батареялары сияқты әртүрлі нүктелердегі төмен, орташа және жоғары кернеу деңгейлерін өлшеу үшін қолданылады. Резистивті кернеу бөлгіш, әдетте кернеуді тікелей өлшеу үшін қолданылады және екі кедергіні бір-біріне тізбектей қосу арқылы жасалады (сурет 1.44). Дәстүрлі түрде желілердегі орташа және жоғары айнымалы кернеуді өлшеу үшін кернеу трансформаторлары және сыйымдылықты байланысы бар кернеу трансформаторлары қолданылады.



Сурет 1.44 – Қарапайым кернеу бөлгіш сұлбасы [87, 1190 б.]

Күн радиациясының сенсоры келіп жатқан тікелей және шағылысқан жарық сәулелерінен құралған энергияны өлшейді. Радиациялық сенсор – радиометрдің негізгі компоненті. Сенсор түсіп жатқан күн сәулесін әртүрлі тәсілдермен өлшеуге болатын электр тогына түрлендіреді.

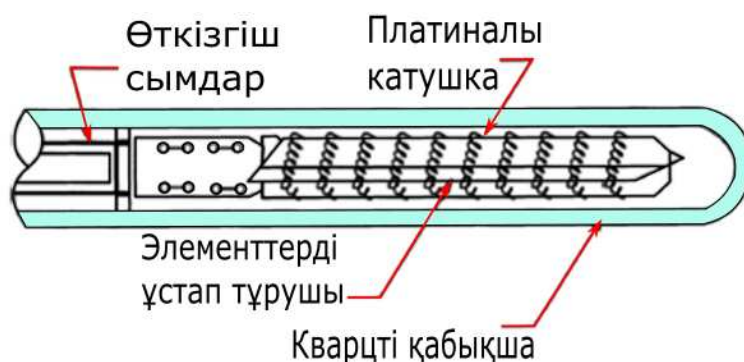
Түрленетін электр энергиясы шамасын бағалау үшін белгілі бір аймақта күн радиациясын өлшеу қажет. Сурет 1.45-те фотоэлектрлік түрлендіргіш қағидасы бойынша жұмыс жасайтын радиациялық сенсор көрестелген.



Сурет 1.45 – Күн радиациясын өлшейтін құрылғы [87, 1192 б.]

Температура сенсоры, әдетте терморезистор немесе термопара – бұл электр сигналы көмегімен температураны өлшеу үшін қолданылатын құрылғы. Ол шапшаң жұмыс жасайды және нәтижені нақты дәлдікпен көрсетеді.

Фотоэлектрлік модуль бетіне түсетін күн радиациясының белгілі бір мөлшері электр энергиясына түрленіп, қалған бөлігі модуль температурасының жоғарылауына әкеледі, осының салдарынан оның жалпы тиімділігі төмендейді. Фотоэлектрлік модульдің температурасы жылуды тарқатушыға, модульдің қапталған материалына, жұтылған күн сәулесінің мөлшеріне және желдің жылдамдығы мен қоршаған орта температурасы сияқты әртүрлі параметрлерге байланысты. Егер фотоэлектрлік модульдің температурасы жоғарыласа, күн элементінің тыйым салынған аймағының ені азаяды. Сондықтан модульдің температурасы фотоэлектрлік жүйенің жұмысын болжау үшін керек маңызды параметр болып табылады. Сурет 1.46-да фотоэлектрлік жүйелердегі температураны өлшеу үшін қолданылатын платиналық резисторлы термометр көрсетілген.



Сурет 1.46 – Термометр сенсорының ішкі құрылымы [89, 1193 б.]

Контроллерлер барлық мониторинг жүйелерінде маңызды рөл атқарады және сенсорлардың шығыс сигналдарын өңдеу үшін қолданылады. Сондықтан, контроллерді дұрыс таңдау өте маңызды. Көптеген зерттеу жұмыстарында деректерді тіркеуші, ақпарат жинақтаушы карта және сенсорлардан сигналдарды жинап, сандық түрге түрлендіре отырып дербес компьютерде сақтауды, талдау жүргізуді және көрсетуді жүзеге асыратын модульдер ретінде микроконтроллерді пайдаланған. Дербес компьютер технологиясының түріне байланысты әртүрлі деректерді жинау жүйелері – тестілеу, автоматтандыру және өлшеу қосымшаларына икемділік береді. Микроконтроллер мен деректерді тіркеуші карталар деректерді жинау модульдеріне қарағанда қолжетімді. Олар оңай бағдарламаланады және көптеген зерттеу жұмыстарында қолданылады.

Деректерді жіберу процесі және оларды сақтау фотоэлектрлік мониторингтік жүйелерінде маңызды орын алады, өйткені осы арқылы жүйенің өнімділігін талдауға және алдағы күй-жайын болжауға мүмкіндік туады.

Деректерді бір нүктеден екінші нүктеге тиісті физикалық арна арқылы жіберу – ақпарат тарату деп аталады. Көптеген зерттеу жұмыстарында

ақпаратты тарату үшін пайдаланатын кейбір арналарға: (I) екі ішкі категориясы бар сымды байланыс: (а) коаксиалды сымды және (b) талшықты-оптикалық байланыс; (II) сымсыз байланыс; (III) электр желісі арқылы байланыс жатады. Кесте 1.7-де мониторинг жүйесін ұйымдастыру үшін қолданылатын сымсыз байланыс арналарының түрлері көрсетілген [87, 89-92].

Кесте 1.7 – Сымсыз байланыс технологиясының сипаттамалары [90]

Түрі	Технология	Максималды қашықтық	Максималды өткізгіштік қабілеті
Персоналды сымсыз желі (WPAN)	ANT+	30 м	1 Мбит/с
	Bluetooth 4.0 LE	50 м	24 Мбит/с
	Радиожилікті идентификатор (RFID)	10 м (пассивті) 100 м (активті)	100 кбит/с
	Жақын өрісті байланыс (NFC)	10 см	424 кбит/с
	802.15.4g	200 м	200 кбит/с
	ZigBee	10 – 100 м	250 кбит/с
Ғаламдық желі (WLAN)	Wi-Fi	300 м	250 Мбит/с 54 Мбит/с 11 Мбит/с 1 Гбит/с
Сымсыз ғаламдық желі (WWAN)	LoRa	2-10 км	200 кбит/с
	Weighless	2-10 км	200 кбит/с
	Dash 7	2 км	200 кбит/с
	MiMax	40 км	34 Мбит/с-1 Гбит/с
	2G технологиясы	35 км	9,6 кбит/с-384 кбит/с
	3G технологиясы	100 км жоғары	384 кбит/с-10 Мбит/с
	4G технологиясы/LTE	100 км жоғары	3 Мбит/с-100 Мбит/с

Фотоэлектрлік жүйелердің өнімділігіне кез-келген талдау жүргізу үшін деректерді сақтау өте маңызды болып табылады. Деректердің толық жиынтығы SD картасында (Secure Digital), My Sequel (MySQL) дерекқорында, бұлтты сақтауда (Cloud Storage) және басқа да деректерді сақтауға арналған жүйелерде сақталуы мүмкін.

Деректерді талдау – зерттеу жұмыстарына қорытынды жасау үшін қажетті болып табылады. Сондықтан деректерді сандық түрде талдап, фотоэлектрлік жүйенің әртүрлі құраушыларының жұмысын анықтау үшін көптеген әдістер қолданылды [93-97].

Қазіргі таңда фотоэлектрлік мониторингтік жүйелерінде кездесетін кейбір мәселелер [98]:

1 Қоршаған ортаның қолайсыз жағдайлары. Деректерді жинауға арналған қарапайым сымды фотоэлектрлік мониторингтік жүйелерінде бірнеше шектеулер бар. Олар: күн сәулесінің үздіксіз әсерінен орын алатын жоғары

жемірілу және тотығу, радиожиілік кедергілері, шаң, ылғалдылықтың жоғары деңгейі, діріл және өнімділікті төмендететін басқа да қолайсыз жағдайларға байланысты сенсорлардың қызмет ету мерзімінің қысқаруы. Мұндай жағдайлар орнатылған сенсорлардың істен шығуына немесе олар жинаған ақпараттың бұрмалануына әкелуі мүмкін.

2 Сенімділік пен кідірісіне қойылатын талаптар. Фотоэлектрлік мониторинг жүйелерінде қолданылатын сенсорлардың сапасы – сенімділік, кідіріс, желінің өткізу қабілеттілігі тұрғысында ерекшеліктермен жақсы сипатталады. Сонымен қатар, сенсорлар жинақтаған мәліметтер уақытқа тәуелді болғандықтан, оларды контроллер блогына уақтылы жеткізіп отыру қажет.

3 Тиімділіктің төмендеуі. Фотоэлектрлік модульдердің көпшілігі кремний материалынан тұрады және ұзақ мерзімді қызмет ету кепілдігімен жасалынып шығарылады. Бірақ, фотоэлектрлік мониторинг жүйесінің толық қызмет ету мерзімін тексеру үшін жалпы сынақ хаттамасы жоқ. Сонымен қатар, қоршаған ортаның әртүрлі әсерінен фотоэлектрлік жүйелердің түрлі бөліктерінің деградациясын болжау оңай емес. Кейбір зерттеу жұмыстарында фотоэлектрлік модульдердің орташа жылдық тозуы шамамен 0,8% екенін анықтап оның фотоэлектрлік модульдердегі электрлік сипаттамаларына әсерін көрсеткен. Жүйені тоздыратын негізгі факторлар – металдың тотығу деңгейі, қосылғыштардың жемірілуі, шиналардың түсінің өзгеруі және фотоэлектрлік модульдің тізбекті кедергісінің жоғарылауы. Келтірілген ілгерілеуші әсерлер қуаттың жоғалуын бағалауға және фотоэлектрлік модульдің тозуына әкеліп соғады.

4 Фотоэлектрлік мониторинг жүйесін әзірлеу және іске қосу үшін үш негізгі шектеу бар: энергия тиімділігі, деректерді сақтау, деректерді өңдеу. Сенсорлар мен ақпаратты сақтау жүйелерінде орнатылған батареяның сыйымдылығы шектеулі болғандықтан, мониторинг жүйесінде қолданылатын байланыс протоколдары жоғары энергия тиімділігін қамтамасыз ету үшін бейімделуі керек.

5 Қоршаған ортаның ластануын бақылау, өндірістік процестер мен электр станцияларын басқару сияқты әртүрлі салаларда кеңінен қолданылатын түрлі өлшеу әдістері фотоэлектрлік мониторинг жүйелерімен бірқатар ортақ сипаттамаларға ие.

6 Фотоэлектрлік мониторинг жүйесінің футуристік мәселелерін түсіну үшін олардан күтілетін нәтижелерді қайта қарау керек. Оларға: нақты уақыт режимінде есеп беру, үрдістерді болжау, өздігінен жұмыс істеу мүмкіндігі, нақты өлшеу, деректерді тіркеудің нақты уақыты, тиісті сақтау құралдары, триггерлер, сыртқы бақылау және қауіпсіздік жатады. Бұл қасиеттерді келесі футуристік тапсырмаларды орындау арқылы жүзеге асыруға болады:

- Өлшеу дәлдігін қамтамасыз ету;
- Деректерді тиімді тіркеу, сақтау және беру;
- Жүйені автоматтандыру және нақты уақыт режимінде жұмыс істеу;
- Ақауларды жылдам анықтау және жою;

- Нақты уақытта жұмыс параметрлерін визуализациялау;
- Жүйенің әрекетін алдын-ала бағалау;
- Өнімділікті барынша арттыруға негіздеу үшін жүйені басқару.

Жоғарыда аталған талаптар бірнеше мәселелерді туындатады және олардың кейбірін келесі тәсілдер арқылы жоюға болады:

- Тиімділігі дәлелденген өлшеу құрылғыларын, сенсорлар мен түрлендіргіштерді пайдалану және жетілдірілген сипаттамалары бар жаңа модельдерін жасау;

- Деректерді тиімді сығу және сақтауға жұмсалатын шығындарды азайту үшін толқындық түрлендіру сияқты сигналдарды өңдеу техникасын қолдану;

- Басқару және автоматтандыру үшін микроконтроллерлердің орнына OPAL-RT сияқты жаңа технологияларды қолдану;

- Жер серікті және сымсыз жүйелер сияқты жоғары жылдамдықты байланыс желілерін қолдана отырып, орталықтандырылған немесе қашықтан басқаруды қамтамасыз ету;

- Жүйенің болашақ жағдайын болжау үшін жасанды интеллект әдістерін қолдану;

- Нақты уақыт режимінде жұмыс істеу қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін мониторинг жүйелеріне жаңа аппараттық/бағдарламалық технологияларды қолдану.

2 ТИІМДІ ЖҰМЫС ЖАСАЙТЫН БІР ОСЬТІ ЖӘНЕ ЕКІ ОСЬТІ КҮНГЕ ОҢТАЙЛЫ БАҒЫТТАЛУШЫ ФОТОЭЛЕКТРЛІК ЖҮЙЕЛЕР

Қайта қалпына келетін энергия саласында күн панельдерінің тиімділігін арттыру өзекті мәселе болып отыр. Осыған орай оңтайландыру әдістерінің бірі ретінде – күнді бақылау жүйесін қарастырсақ болады. Бірақ, бұндай жүйелердің қолданыста өзіндік қиындықтары да туындайды. Мәселен, қолайсыз ауа-райы жағдайында жүйенің энергия түрлендіру мөлшері төмендеп қалуы, күннің қозғалыс траекториясын оңтайлы бақылай алмауы, қозғалыс механизмін құрастыруда энергетикалық тиімсіз болуы және т.б. жатады. Бұлар да осы саладағы өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Нәтижесінде, берілген ғылыми жұмыста оңтайландырылған алгоритмдермен жұмыс жасайтын бір осьті және екі осьті күн трекерлері жасалып, зерттелді [111].

Күннің қозғалыс траекториясы кестесіне, жарық сәулесін фоторезистор сенсорына негізделген бір осьті және екі осьті күн трекерлерінің және қозғалмайтын, стационарлы фотоэлектрлік қондырғылардың әр түрлі ауа-райы жағдайындағы өнімділігі салыстырылды [101].

Бұлтты ауа-райы жағдайында күннің қозғалыс траекториясы кестесіне негізделген және фоторезисторға негізделген бір осьті күнді бақылау жүйелерінің жұмыс жасауларына талдау жүргізілді. Күн трекерінің азимуталды бұрылу бұрышын нақты анықтап, түзетулер енгізіп отырушы қарапайым энкодерге негізделген тиімді алгоритм жүйесі жасалды. Нәтижесінде, қолайсыз ауа-райы жағдайында күннің қозғалыс траекториясы кестесіне негізделген бір осьті бақылау жүйесінің тиімділігі анықталды [105].

Екі осьті күн трекерлерінің де әртүрлі ауа райы жағдайында тиімді жұмыс жасайтын прототиптері жасалды. Бұнда, бұлтты ауа-райында максималды жарық сәулесі түсіп жатқан аймаққа екі осьті күн трекерін тура бағыттаушы өлшемі кішірейтілген дәл сондай жүйелер жасалынған. Осылардың көмегімен екі осьті күн трекері кез-келген ауа-райы жағдайында оңтайлы жұмыс жасайды. Зерттелетін екі трекер де күннің қозғалыс траекториясы кестесіне негізделген алгоритм бойынша жұмыс жасайды [102, 104, 110].

Әр түрлі ауа-райы жағдайларын ескере отырып, бір осьті және екі осьті күн трекерлерінің өндіретін энергия мөлшерінің моделі жасалды және белгілі кезеңдерге есептеулер жүргізілді.

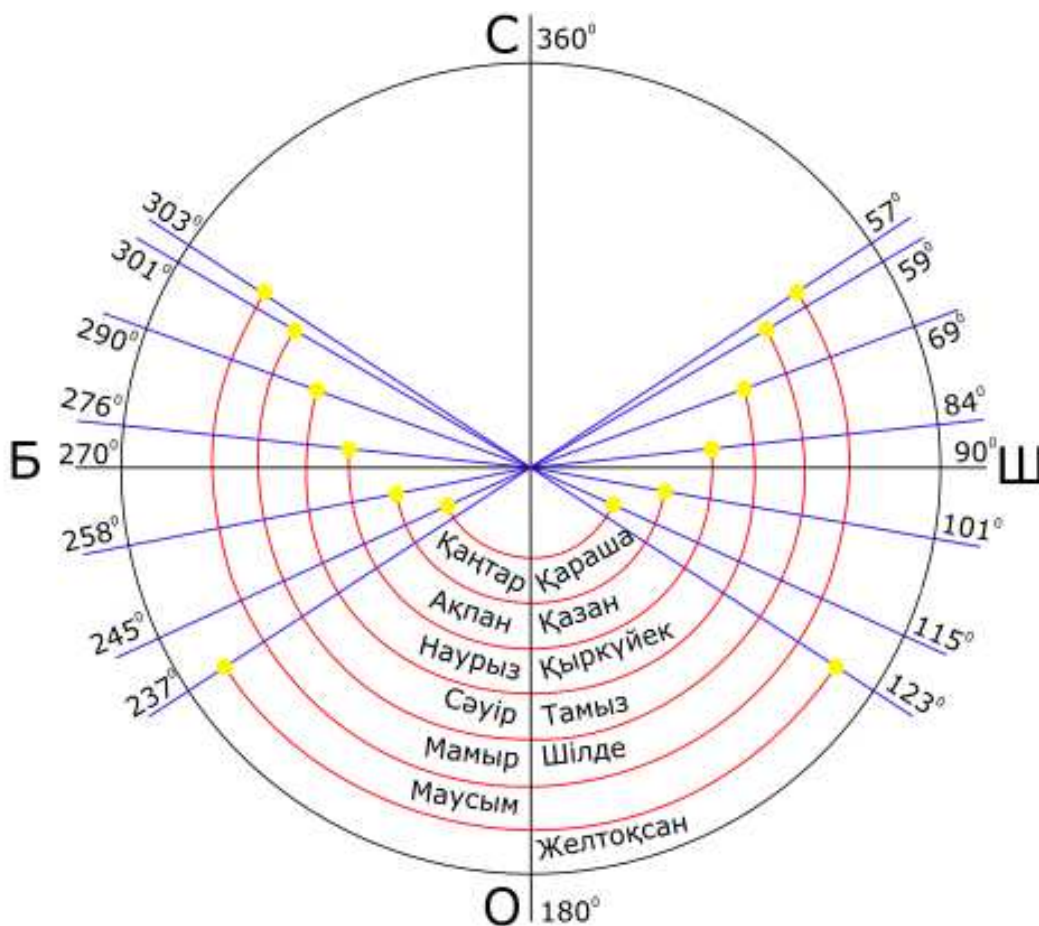
2.1 Жүйелердің құрылымдық ерекшеліктері

Зерттеу жұмысындағы бір осьті трекерлердің сыртқы құрылымы бірдей. Олардың бір-бірінен айырмашылығы күнге оңтайлы бағытталу әдістерінде, яғни, бірі фотосенсорлар негізінде және екіншісі күннің аспан жарты сферасындағы орнын астрономиялық есептеу негізінде бақылайды.

Сурет 2.1-де әр айдың ортасында Алматы қаласы үшін күннің шығуы мен батуының азимут бұрыштары көрсетілген. Стационарлы фотоэлектрлік жүйелердің оңтайлы орналасу бұрышын орташа арифметикалық есептеу арқылы таба аламыз. Ол үшін 22 маусым мен 22 желтоқсан тоқырау күндерін

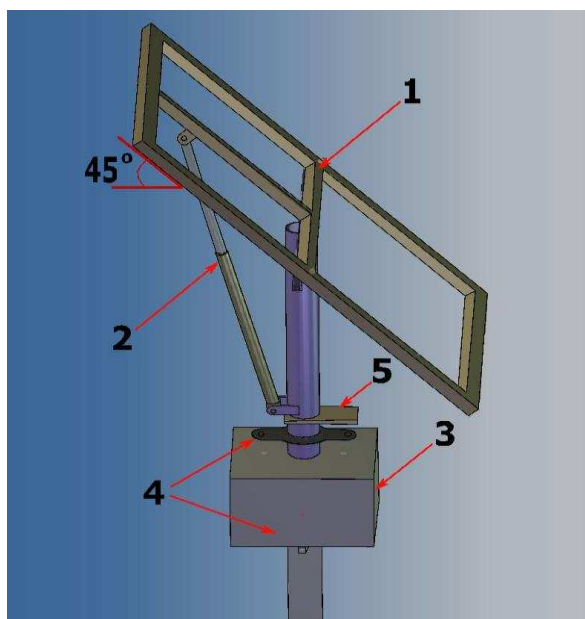
таңдаймыз. Күннің шығуы мен батуының азимут бұрыштары сәйкесінше $\gamma_{кш}=57^\circ$, $\gamma_{кб}=303^\circ$ және $\gamma_{кш}=123^\circ$, $\gamma_{кб}=237^\circ$ тең болады. Әрі қарай, (2.1) формуланы қолдана отырып оңтайлы орнатылатын азимут бұрышын табамыз. Қозғалмайтын фотоэлектрлік модуль үшін оңтайлы азимут бұрышы $\gamma_o=180^\circ$ болып таңдалды [101, 3 б.].

$$\gamma_o = \frac{\gamma_{кб} - \gamma_{кш}}{2} + \gamma_{кш} \quad (2.1)$$



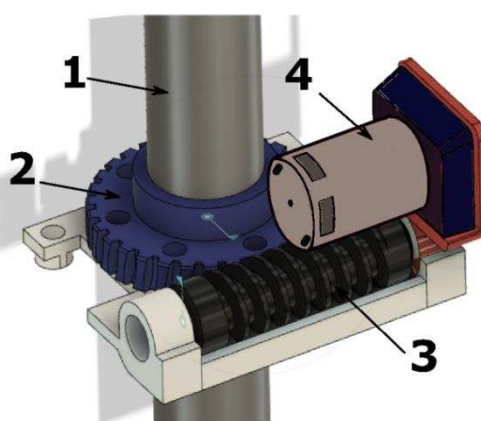
Сурет 2.1 – Әр айдағы күн қозғалысының азимуттық бұрыштары [101, 4 б.]

Сурет 2.2-де бір осьті күн трекерлерінің құрылымдық сұлбасы көрсетілген. Мұндағы: қуаттылығы 60 Вт-қа тең SAKOPOLY-60W күн панелін бекітуге арналған орын (1); фотоэлектрлік модульдің еңкею бұрышын β_o өзгертуге арналған сызықты актуатор (2); күн трекерін көлденең жазықтық бойымен 360° бұрышқа γ бұрылуына жауап беретін механикалық бөлік (3); күн панелінің дінгегін ұстап тұратын мойынтірек (подшипник) (4); мойынтіректер трекер қозғалтқышына әсер ететін күштерді азайту үшін күн панелінің айналмалы дінгегінің екі жеріне орнатылады; күн трекерінің бұрылуының азимуталды бұрышын анықтау үшін айнымалы резистор негізінде жасалған энкодер (5) [101, 4 б.; 109].



Сурет 2.2 – Бір ості күнді бақылау жүйесінің жалпы құрылымдық сұлбасы [101, 4 б.]

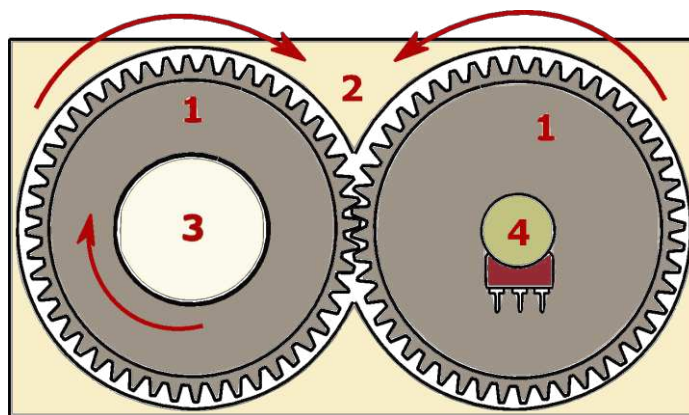
Сурет 2.3-те күнді бақылау жүйесінің бұрылу механизмінің ішкі құрылымы көрсетілген. Мұндағы: күн панелін ұстап тұратын дiңгек (1); дiңгекке бекiтiлген тiстi доңғалақ (2); тiстi доңғалақпен (2) қосылған цилиндр пiшiндес редуктор (3); цилиндр редукторының айналуын басқарушы SV35-130/HP5BFN (4) тұрақты токпен жұмыс жасайтын қозғалтқыш. Бұл механизм күн трекерін басқаруда анағұрлым берiк, өйткенi редукторлы айналу механизмі сыртқы динамикалық күштердiң әсерiне (жел, трекердi қолмен бұру және т.б.) төзiмдi. Нәтижесiнде, трекер тұрақты ток қозғалтқышы iске қосылған кезде ғана бұрылады [101, 4 б.].



Сурет 2.3 – Трекердi азимут бойымен бұрылуын қамтамасыз ететiн механизм [101, 5 б.]

Сурет 2.4-те күн трекерiнiң азимут бойынша бұрышын анықтауға арналған энкодердiң жасалу құрылымы көрсетiлген. Мұнда негiзгi элемент болып

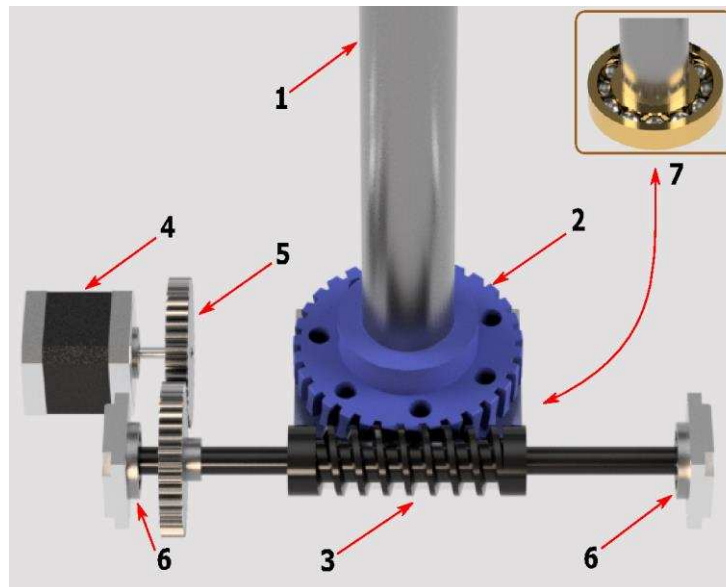
табылатын – айнымалы кедергі шамасы 1 кОм-ға тең стационарлық бір айналымды потенциометр (4). Энкодердің максималды бұрылу бұрышы 270°-қа жетеді, бұл біздің зерттеу жұмысымызға жеткілікті. Орнатылған тісті доңғалақтардың (1) көлемдері бірдей. Тісті доңғалақтардың бірі (3) трекердегі күн панелінің дiңгегiне бекітіліп, сонымен бірге айналады, ал, екіншісі айнымалы резисторға бекітіледі. Барлық құрамдас бөліктері бір корпуста (2) орналасқан [101, 5 б.].



Сурет 2.4 – Энкодердің ішкі құрылымы [101, 5 б.]

Потенциометр он разрядты аналогты-сандық түрлендіргіші бар микроконтроллердің аналогты кірісіне қосылған. Сәйкесінше, 1° азимуталды бұрыш шамамен 18,5 мВ сәйкес келеді.

Екі осьті күнді бақылау жүйелерін зерттеу барысында да алдыңғы трекерлер секілді жасалу құрылымдары бірдей болды. Сонымен қатар, екі осьті трекердің сыртқы пішімі бір осьті трекердің сыртқы пішімімен бірдей етіп жасалынды. Айырмашылығы, екі осьті трекерде фотоэлектрлік модульді күнге еңкею бұрышына бұратын механизмінің болуында. Уақыт кестесі бойынша және кіші өлшемдегі күн трекерлеріне негізделіп жұмыс жасайтын екі осьті күнді бақылау жүйелерінің жұмыс жасау тиімділігін анықтау барысында салыстырулар әртүрлі жүргізілді. Трекерлердің қозғалыс блогының құрылымы сурет 2.5-те толығырақ көрсетілген. Мұндағы: 1 – жоғарғы вертикалды металл дiңгек; 2 – вертикалды металл дiңгекті бұрушы тісті доңғалақ; 3 – тісті доңғалақты қозғаушы цилиндр пішіндес редуктор; 4 – SV35-130/HP5BFN үлгісіндегі қозғалтқыш мотор; 5 – цилиндр пішіндес редукторды қозғалтқыш мотормен байланыстыратын тісті доңғалақтар жүйесі; 6 – цилиндр пішіндес редуктордың екі жақты ұштарында орнатылған мойынтіректер; 7 – күн панелін дiңгекке қатысты бұрылуға мүмкіндік беретін вертикалды дiңгектің төменгі жағында орнатылған мойынтірек. Бұл жерде де жоғарыда айтылған бір осьті трекерлердің механизміне ұқсас, яғни, трекер сырттан әсер ететін динамикалық күштеріге төзімді болады [102, 287 б.; 104].



Сурет 2.5 – Күн трекерінің қозғалыс механизмінің ішкі құрылымы [102, 286 б.]

2.2 Жүйелерді басқарушы электронды блогының құрылымы

Күн қозғалысы траекториясын астрономиялық есептеу арқылы күнді бақылау жүйесі әдісінде келесідей шамаларды анықтау қажет болады [101, 5 б.]:

$$\delta = \sin^{-1}\left(\sin(23.45^\circ)\sin\left(\frac{360}{365}(d-81)\right)\right) \quad (2.2)$$

Мұндағы δ -күннің еңісу бұрышы, ал d -жылдың ағымдағы күнінің реттік нөмірі, сондықтан 1 қаңтар үшін $d=1$. Күн биіктігі бұрышы α келесідей есептеледі [101, 6 б.]:

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\sin(\delta)\sin(\varphi) + \cos(\delta)\cos(\varphi)\cos\left(15^\circ(LST-12)\right)\right) \quad (2.3)$$

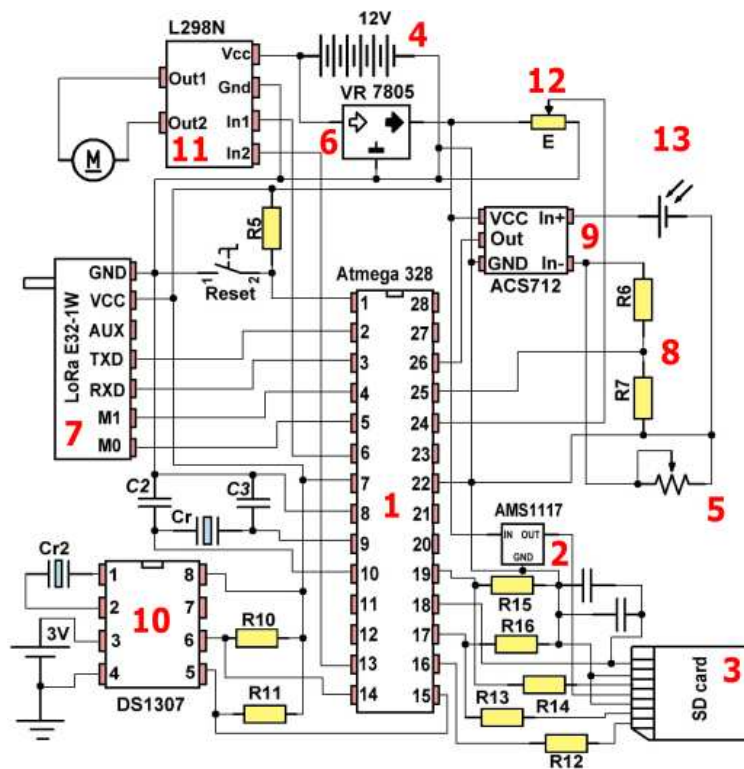
Мұндағы φ -күнді бақылау жүйесінің орналасқан жерінің ендігі, ал LST –жергілікті күн уақыты. Күннің азимут бұрышын анықтау үшін [101, 6 б.]:

$$\gamma = \sin^{-1}\left(\frac{\sin(\delta)\sin(\varphi) + \cos(\delta)\cos(\varphi)\cos\left(15^\circ(LST-12)\right)}{\cos(\alpha)}\right) \quad (2.4)$$

Сурет 2.6-да уақыт кестесіне негізделген бір осьті күнге оңтайлы бағытталушы жүйенің электронды құраушыларының сұлбасы көрсетілген. Сұлбадағы барлық электрондық элементтер 12 В (4) аккумулятордан қоректенеді. 5 В (6) және 3,3 В (2) кернеу тұрақтандырғыштары бар, олар сәйкесінше atmega328p бағдарламаланатын микроконтроллерге (1) және SD

card (3) қосылған. Күннің қозғалыс координаталары SD card-да сақталады. Деректерді сақтау жадындағы мәліметтерді және ds1307 нақты уақытты көрсететін сенсорды (10) қолдана отырып, микроконтроллер моторды L298N (11) драйвері арқылы белгілі бір бұрышқа бұрып, фотоэлектрлік панельді (13) күнге бағыттайды. Күн трекерінің бұрылу бұрышы айнымалы резисторы бар энкодер көмегімен есептеледі (12). Күн батареясының түрлендіретін кернеуін өлшеу үшін микроконтроллердің аналогты кірісіне қосылған кернеу бөлгіш сенсоры қолданылады (8). Өндірілген ток күшін өлшеу үшін күн панелінің шығысына қосылған ACS712 (9) цифрлық ток сенсоры қолданылады. Жүктеме ретінде номиналы 30 Ом болатын 750 Вт реостат (5) қолданылды. Орналастырылған сенсорлардан алынған барлық деректер LoRa E32-1W (7) сымсыз модулі көмегімен бақылау орталығына жіберіледі [101, 6 б.; 108].

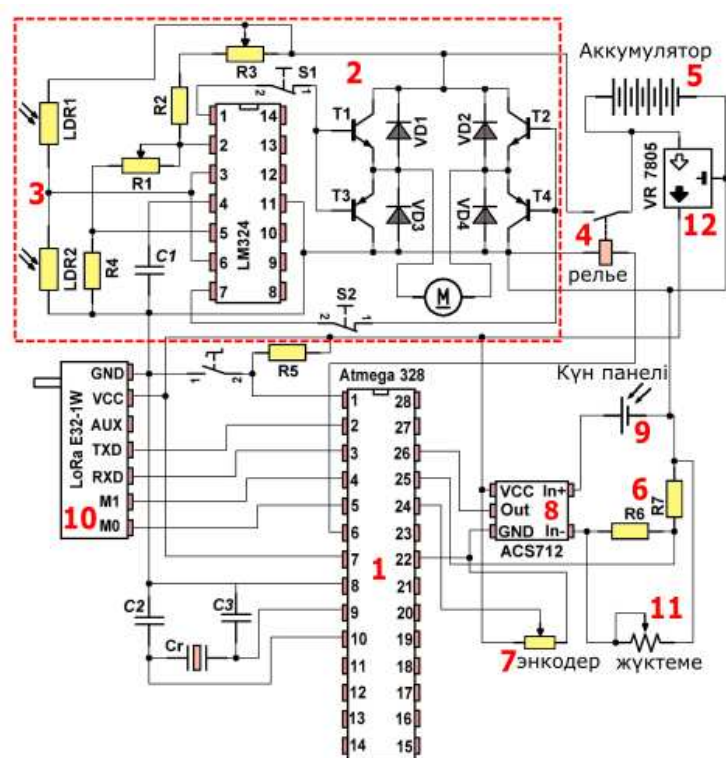
LoRa (Long Range) модуляциясы бар сымсыз модульдер шуылға қарсы төзімділігі жоғары және салыстырмалы түрде қорек көзін тұтынудың төмен деңгейіне ие.



Сурет 2.6 – Астрономиялық есептеулерге негізделген бір осьті күнді бақылау жүйесінің электронды басқару блогының функционалды сұлбасы [101, 6 б.]

Зерттелген бір осьті күнді бақылау жүйесінің екінші әдісі фоторезисторларды (LDR) қолдануға негізделген. Сурет 2.7-де фоторезисторларға негізделген бір осьті күн бақылау жүйесінің басқару блогының электронды сұлбасы көрсетілген. Трекерді іске қосу atmega328p (1) микроконтроллерінің көмегімен жүзеге асырылады. Бүкіл жүйе 12 В аккумулятормен (5) қорек алады. Микроконтроллер қорек көзін LM7805 (12) кернеу тұрақтандырғышы арқылы алады. Сұлбаның жоғарғы бөлігінде

орналасқан LM324 операциялық күшейткіші (2) тұрақты ток қозғалтқышын басқарады. Мұнда күн сәулесінің қарқындылығын анықтау үшін 2 фоторезистор (3) орнатылған. Фоторезисторлар шығысындағы сигналдар операциялық күшейткішпен күшейтіліп транзисторлардың базасын басқарады. Олар өз кезегінде моторды қосқыш кілт рөлін атқарады. Артық энергия шығынын болдырмау үшін қозғалтқыш мотор мен батарея арасында реле (4) орнатылған. Сондай-ақ, жүйеде ACS712 (8) сандық ток сенсоры және кернеу бөлгіші негізінде жасалған вольтметр (6) орнатылған. Олар күн панелінің өндірген электр тогының қуатын өлшейді (9). Күн панелінің жүктемесі ретінде кедергісі 30 Ом және қуат төзімділігі 750 Вт болатын реостат (11) алынды. Фотоэлектрлік панельдің күнге бағытталу дәлдігін анықтау үшін энкодер (7) орнатылды, бірақ бұл трекердің жұмысына әсер етпейді. Энкодер кесте бойынша жұмыс жасайтын трекер мен фоторезисторға негізделген трекерлердің күнге бағытталу бұрыштарын салыстыру үшін қажет. Орнатылған сенсорлардың барлық деректері микроконтроллерге келіп түседі және LoRa E32-1W (10) сымсыз модулінің көмегімен диспетчерге жіберіледі [101, 7 б.; 108].

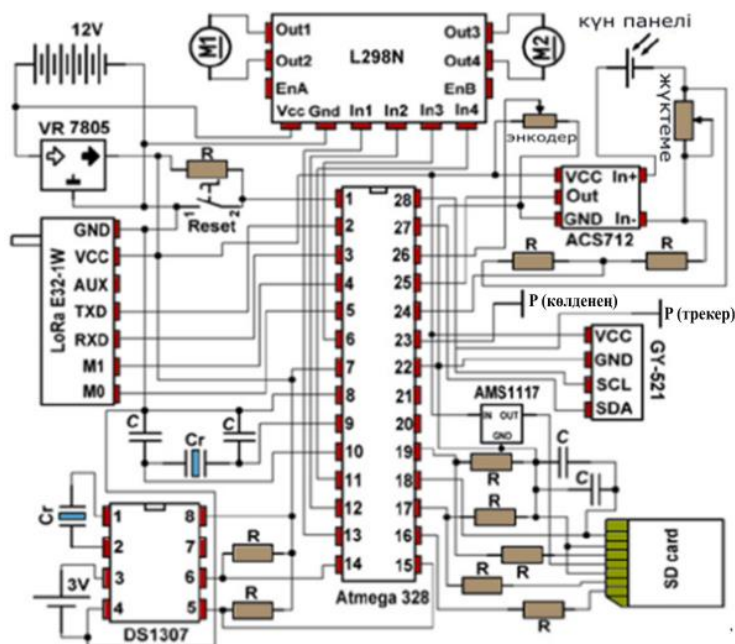


Сурет 2.7 – Фоторезисторларға негізделген бір осьті күнді бақылау жүйесінің электронды басқару блогының функционалды сұлбасы [101, 7 б.]

Жасалған трекерлердің электронды басқару блоктары жұмыс жасау алгоритмдерімен, құрылымымен және мақсатымен ерекшеленеді.

Сурет 2.8-де уақыт кестесі бойынша жұмыс жасайтын екі осьті күн трекерінің электр тізбегінің сұлбасы көрсетілген. Бір осьті күнді бақылау жүйесінің электр тізбегіне ұқсағанымен, мұнда күннің биіктік бұрышын

бақылауға негізделген екінші бір қозғалтқыш моторы мен L298N драйвері іске қосылады. Сонымен қатар, фотоэлектрлік модульдің еңкею бұрышын қадағалап отырушы GY-521 гироскопы қосылған [102, 287 б.; 108].



Сурет 2.8 – Уақыт кестесі бойынша жұмыс жасайтын екі осьті күнді бақылау жүйесінің электронды басқару блогының сұлбасы [102, 287 б.]

Бұлтты ауа-райы үшін жасалған, уақыт кестесі бойынша жұмыс жасайтын екі осьті трекердің электронды компоненттері сурет 2.8-де көрсетілген электр тізбегінің сұлбасына ұқсас келеді. Айырмашылығы, берілген электр тізбегінде кіші фотоэлектрлік қондырғылардың қуатын анықтаушы 2 байланыс контактісі орналасқан ($P_{\text{көлденең}}$, $P_{\text{трекер}}$). Осылардан алынған деректер арқылы трекердің күн панелі оңтайлы күйге орнатылады.

2.3 Басқару алгоритмдерінің ерекшеліктері

Сурет 2.9-да уақыт кестесіне негізделген бір осьті күнді бақылау жүйесінің жұмыс жасау алгоритмінің блок диаграммасы көрсетілген. Жүйе автономды болып табылады. Күн қозғалысының координатсы сақталған SD card және нақты уақыт сенсоры көмегімен жүйе тиісті азимут бұрыштарын автоматты түрде орнатады.

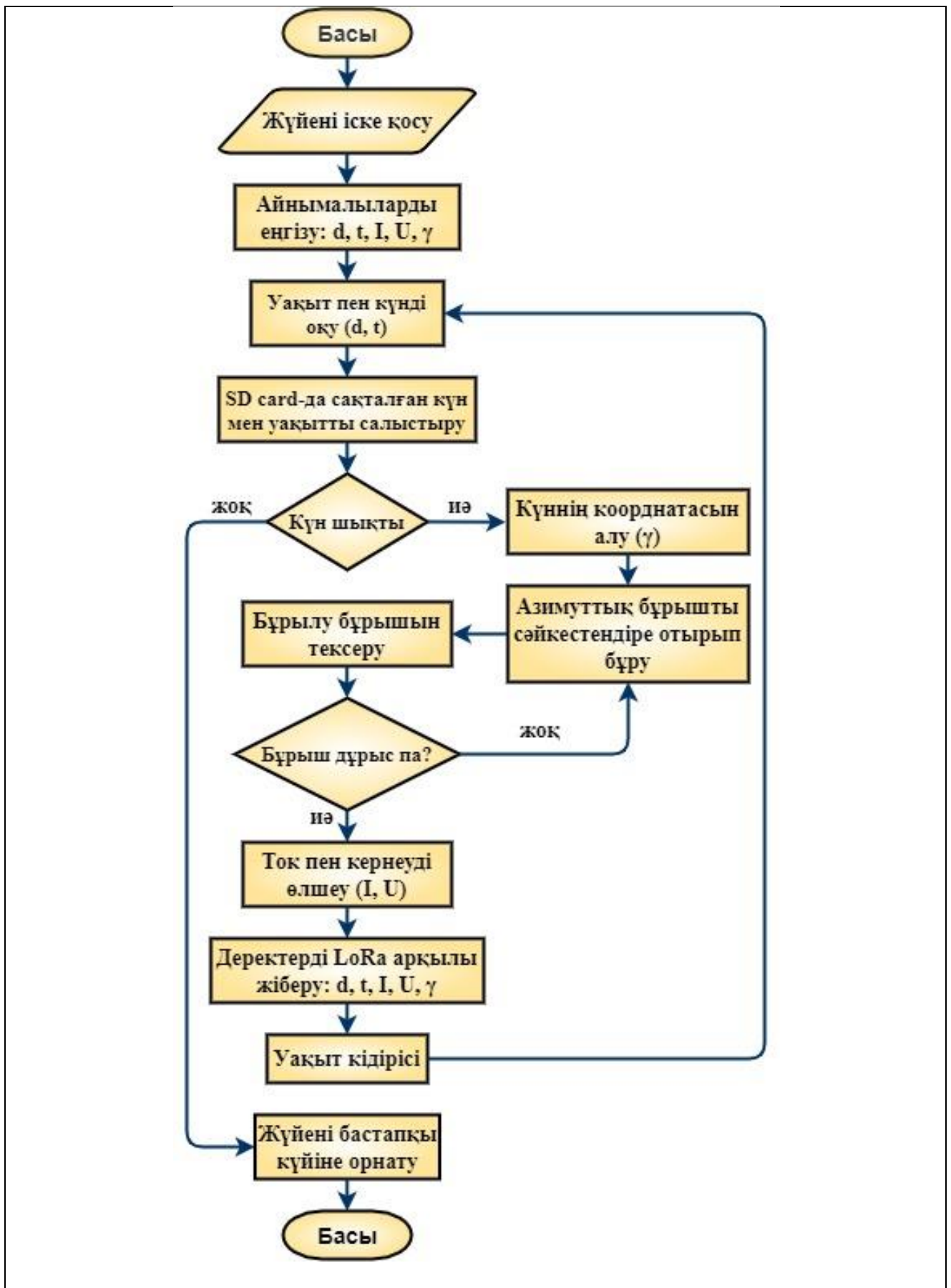
Жүйені іске қосқаннан кейін микроконтроллер DS1307 нақты уақыт сенсорына жүгінеді. Күнді (d), уақытты (t) және SD card сақтаған деректерін қолдану арқылы контроллер күннің азимуты мен көкжиектегі биіктігін анықтайды. Егер күн шықпаса, онда жүйе бастапқы күйінде қалады. Егер күн шықса, контроллер белгілі бір уақытта күннің азимуттық бұрышын анықтайды және трекерді қажетті бұрышқа бұра бастайды. Энкодерден алынған сигнал деректер жадында сақталған ақпарат мәніне тең болғанша трекер бұрылуын тоқтатпайды. Қажетті күйге орнатқаннан кейін жүйе күн панелінің тогын (I)

және кернеуін (U) өлшейді. Әрі қарай, жинақталған деректер LoRa модулі арқылы сымсыз байланыс арнасымен диспетчерге жіберіледі. Содан кейін, жүйе ұйқы режиміне өтеді. Жұмыс барысы белгілі бір уақыт мезетімен күн батқанша қайталанып отырады [101, 8 б.].

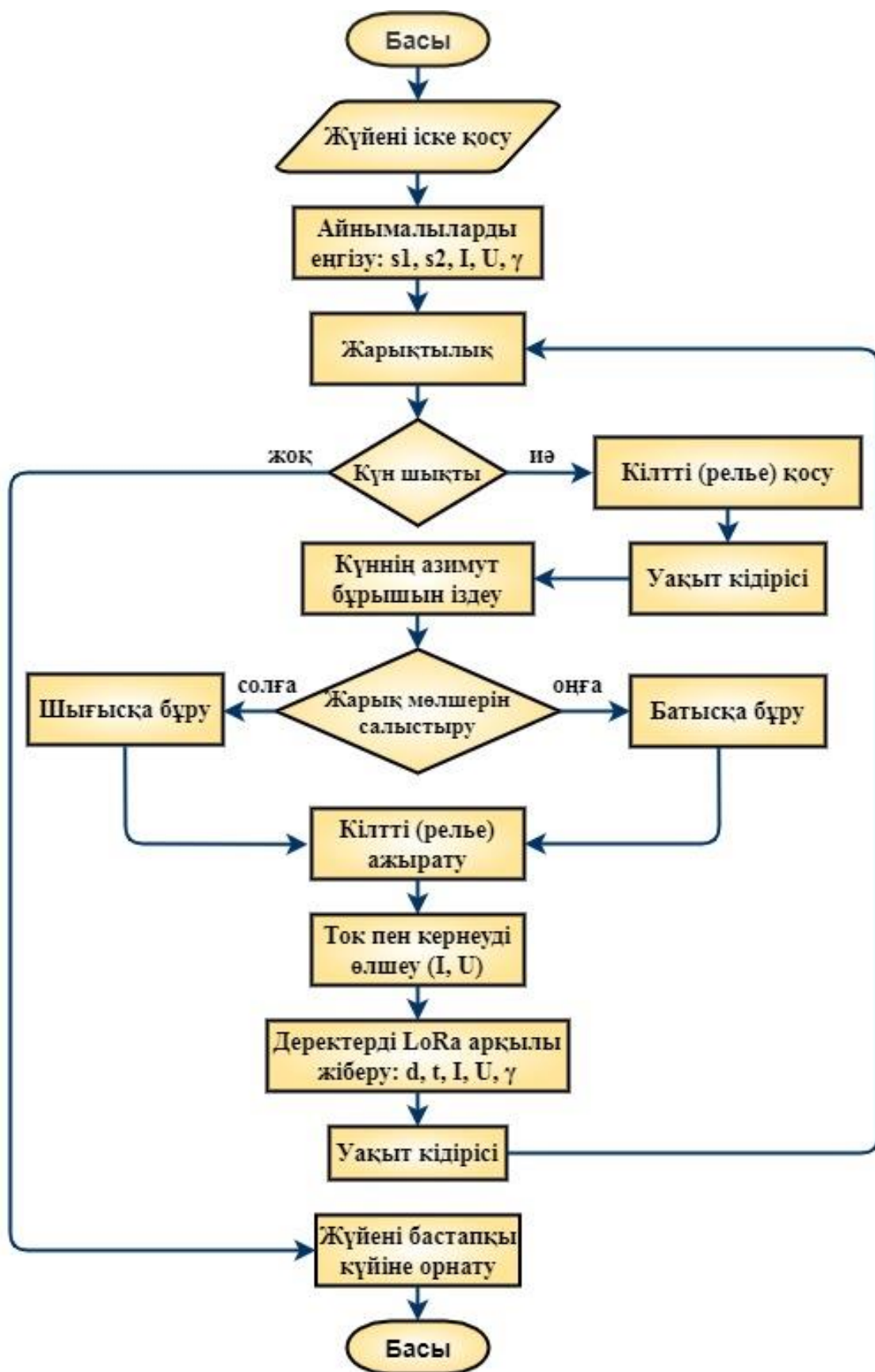
Сурет 2.10-да фоторезисторларға негізделген бір осьті күнді бақылау жүйесінің алгоритмі көрсетілген. Микроконтроллер жарық сенсорының көмегімен күннің шығысын анықтаған кезде ғана жүйені іске қосады. Егер күн шыққан болса, контроллер релені 1 минут уақыт аралығына қосып, трекерді қозғалысқа келтіреді. Фоторезисторларға түсіп жатқан сәуле қарқындылығы теңескен кезде ғана трекер қозғалысын тоқтатады. 1 минут уақыт өткеннен кейін микроконтроллер релені өшіреді. Жүйе қажетті күйге орнатылғаннан кейін фотоэлектрлік модульдің шығыс тогын (I) және кернеуін (U) өлшеп, трекердің азимуталды бұрышын энкодер көмегімен анықтайды. Жинақталған барлық деректер LoRa сымсыз модулінің көмегімен басқару орталығына жіберіледі. Әрі қарай жүйе ұйқы режиміне өтеді. Жүйеде күннің шығуы мен батуының азимутының максималды бұрышын көрсететін екі қондырғы бар (батырма). Күннің азимут бойымен қозғалыс бұрыштарының максималды мәндері 22 маусым мен 21 желтоқсан, сәйкесінше жазғы және қысқы күн тоқыраулары күндерімен алынды. Аталған күндерде Алматы қаласы үшін күннің шығуы мен батуының азимуттық бұрыштары тиісінше 57° және 303° тең [101, 9 б.].

Уақыт кестесі бойынша жұмыс жасайтын екі осьті күнді бақылау жүйесінің алгоритмі сурет 2.11-де көрсетілген. Жүйенің алгоритмі жоғарыда атап өтілген уақыт кестесі бойынша қозғалатын бір осьті күн трекерінің жұмыс жасау алгоритміне ұқсас. Екеуінің айырмашылығы – екі осьті трекерде күн биіктігі бұрышын анықтаушы GY-521 гироскопы іске қосылады. Нәтижесінде электр қозғалтқыштары артып, жүйенің механикалық құрылымы күрделене түседі. Сонымен қатар, SD card-та күннің көкжиектегі биіктік бұрышының мәндері сақталады [102, 288 б.].

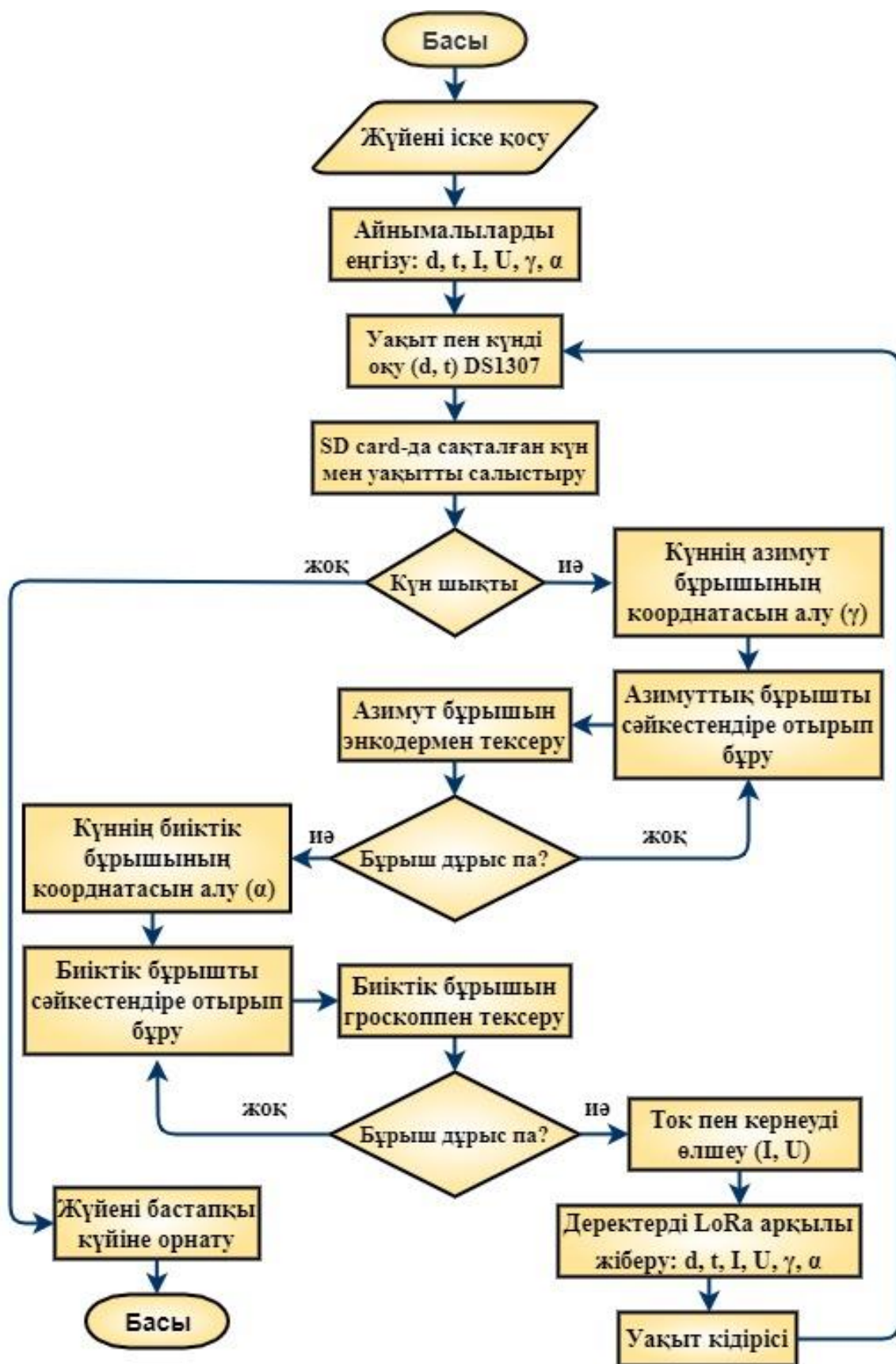
Сурет 2.12-де ауа-райы қолайсыз жағдайларда жарық сәулесінің қатты шашырауы кезінде тиімді жұмыс жасайтын екі осьті күнді бақылау жүйесінің алгоритмі көрсетілген [102, 105]. Қондырғының азимут бұрышын орнатуы барысында жоғарыда келтірген алгоритм ретін қайталап шығады. Жүйе күн панелінің көлбеулік бұрышын түзетпес бұрын, шағын фотоэлектрлік қондырғылардың түрлендірген қуат мөлшерлерін салыстырады. Егер көлденең орналасқан бірінші шағын қондырғының шығыс қуаты P_h , қарапайым екі осьті трекердің жұмыс жасау қағидасына негізделген екінші шағын қондырғының шығыс қуатынан P_i үлкен болса, онда трекер күн панелін көлденең күйге орнатады. Егер керісінше екінші қондырғының түрлендірген шығыс қуаты үлкен болса, онда трекер күн панелінің көлбеулік бұрышын SD card-та сақталған ақпаратқа сәйкес орнатады. Әрі қарайғы әрекеттер сурет 2.11-де көрсетілген алгоритмге ұқсас болып табылады [102, 288 б.].



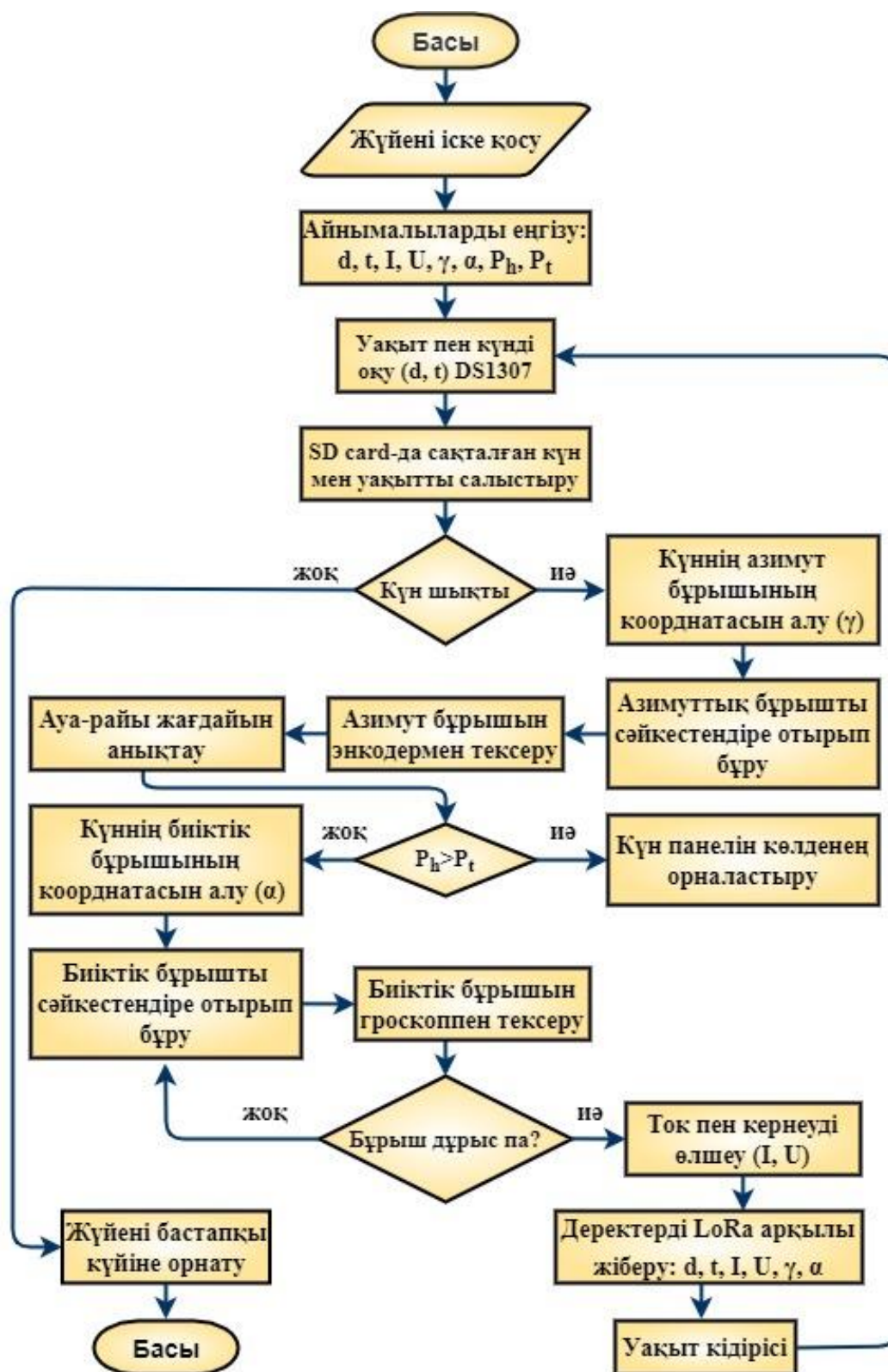
Сурет 2.9 – Уақыт кестесіне негізделген бір осьті күн трекерінің жұмыс жасау алгоритмі [101, 8 б.]



Сурет 2.10 – Фоторезисторларға негізделген бір осьті күнді бақылау жүйесінің жұмыс жасау алгоритмі [101, 9 б.]



Сурет 2.11 – Уақыт кестесі бойынша жұмыс жасайтын екі осьті күнді бақылау жүйесінің алгоритмі [102, 288 б.]



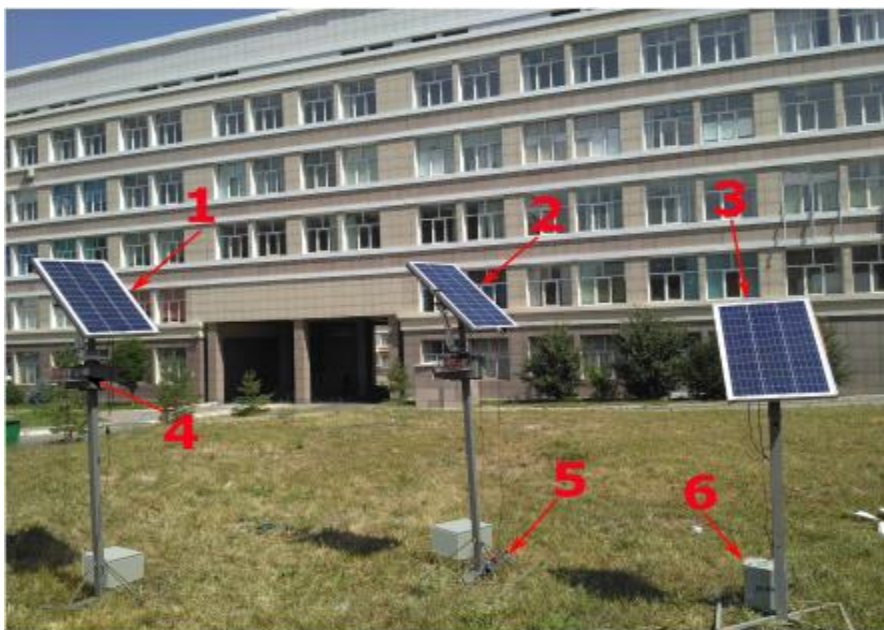
Сурет 2.12 – Қолайсыз ауа-райы жағдайларында оңтайлы жұмыс жасайтын екі осьті күнді бақылау жүйесінің алгоритмі [102, 288 б.]

Берілген әдіс көлденең координаттар жүйесіндегі күннің жерге қатысты траекториясын астрономиялық есептеулерге негізделіп, жоғарыда келтірілген 2-4 формулаларға байланысты жүзеге асады.

2.4 Тәжірибе нәтижелері. Бір осьті және екі осьті күнге бағытталушы жүйелердің жұмыс жасау тиімділігін есептеу

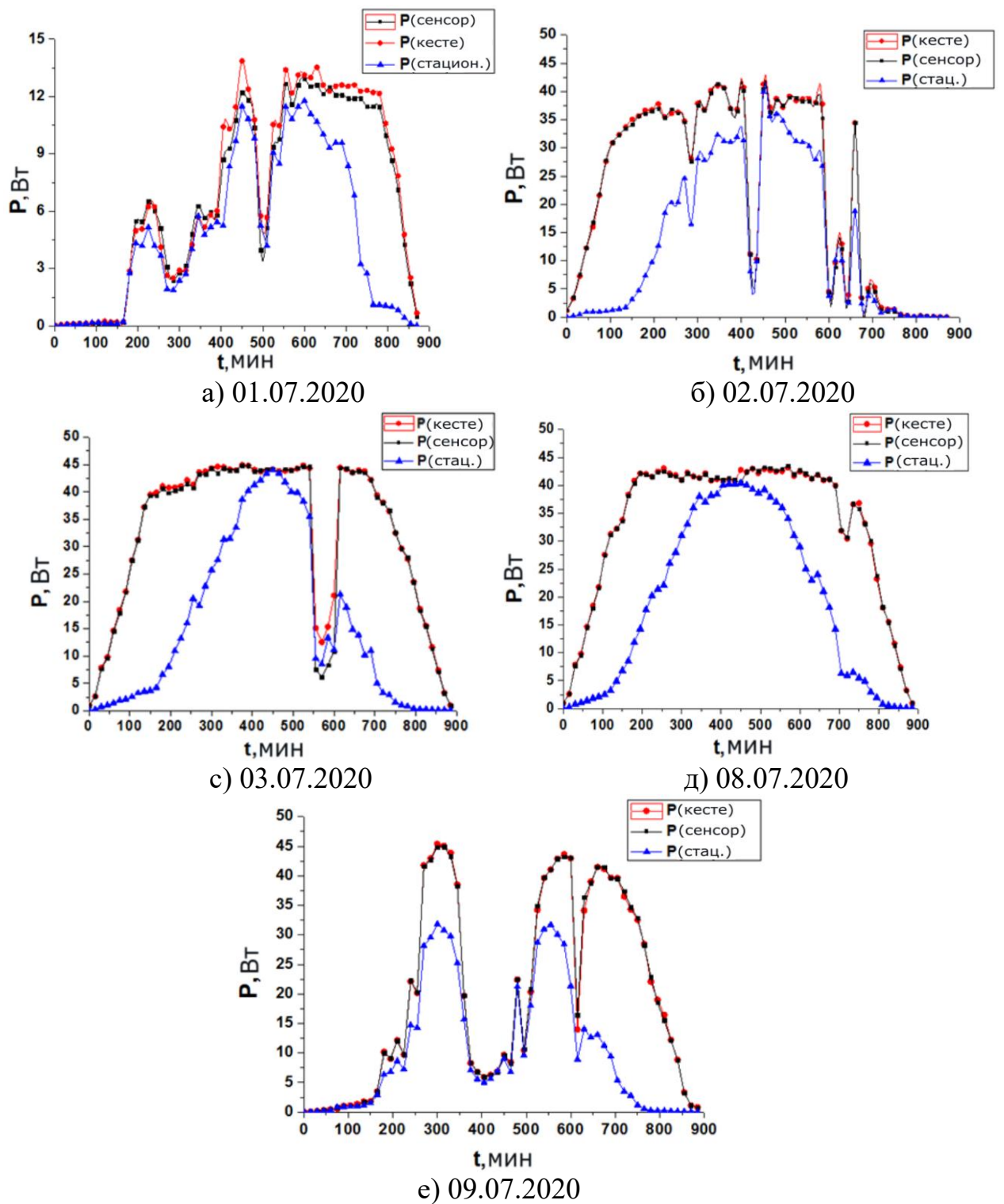
Уақыт кестесі бойынша және фоторезисторға негізделген бір осьті күнді бақылау жүйелерінің энергия түрлендірулерін салыстыру тәжірибелік жұмыстары әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-нің аумағында жүргізілді [101, 10 б.].

Сурет 2.13-те бір осьті күн трекерлерінің тәжірибелік қондырғылары көрсетілген. Мұндағы: уақыт кестесі бойынша жұмыс жасайтын трекер (1); фоторезистор негізінде жұмыс жасайтын трекер (2); стационарлы фотоэлектрлік қондырғы (3); электрондық басқару блогы (4); фотоэлектрлік қондырғыға арналған жүктеме (5); электрондық басқару блогы үшін қорек көзі (6).



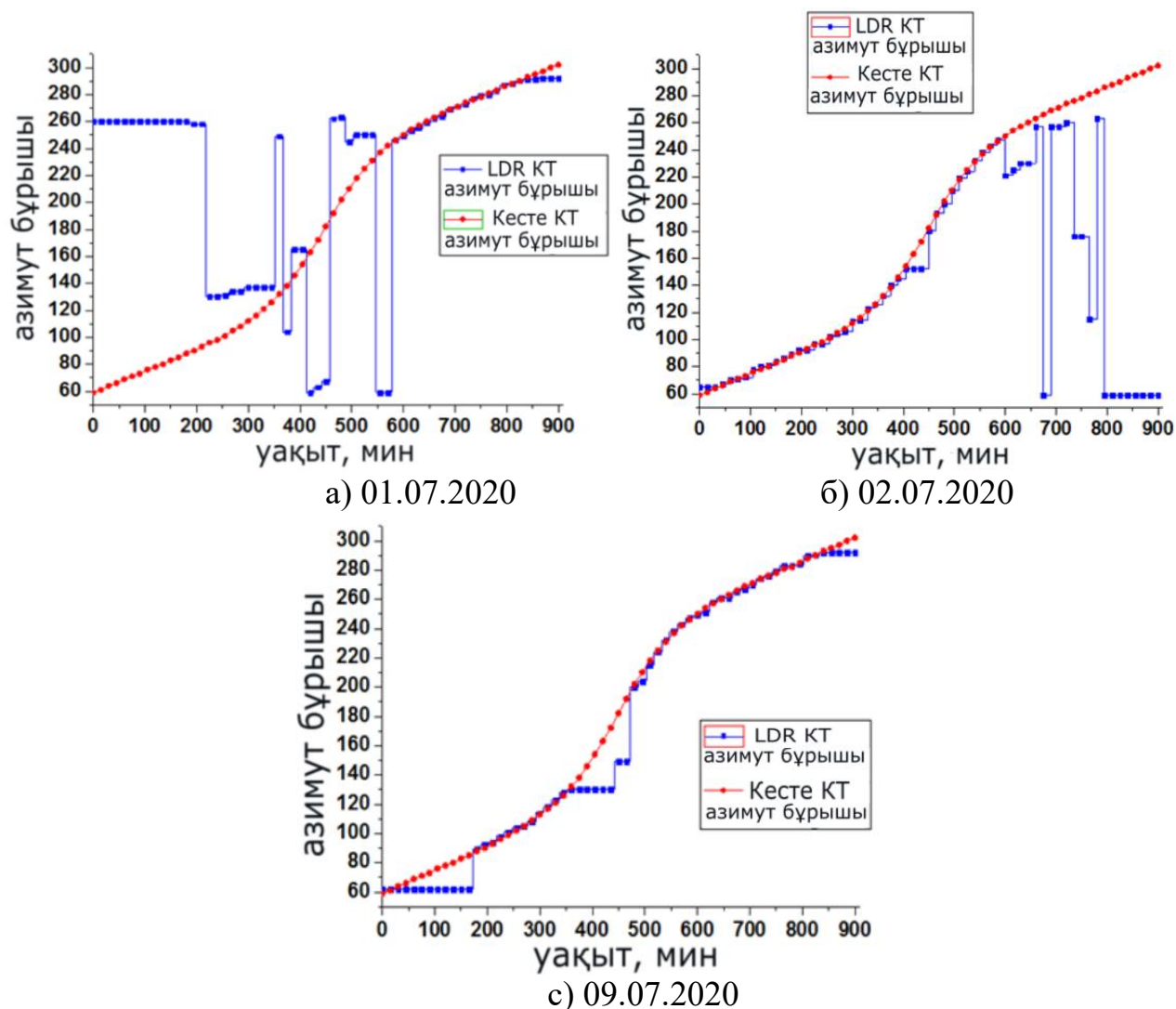
Сурет 2.13 – Тәжірибелік қондырғылар [101, 10 б.]

Тәжірибе жұмыстары бес күн бойы, әр түрлі ауа-райы жағдайларында жүргізілді. Суретт 2.14 а-е-де 2020 жылдың шілде айының 5 күнінде алынған фотоэлектрлік модулдердің энергия түрлендірулерінің графиктері көрсетілген. Бұлтты ауа-райында күн сәулесінің қатты шашырауы графиктердегі күрт төмен түскен сызықтарға сәйкес келеді. Графиктерден көрініп тұрғандай, егер ауа-райы қолайлы болса, яғни бұлтсыз болса, екі трекер де бірдей энергия өндіреді. Алайда, ауа-райының нашарлауымен, бұлт, жаңбыр немесе тұман пайда болғанда энергия түрлендіру графиктерінде айырмашылықтар байқалады. Уақыт кестесі бойынша жұмыс жасайтын трекер қолайсыз ауа-райы жағдайларында біршама жақсы нәтиже көрсетеді. Себебі, күн сәулесі бұлттардан шашыраңқы өткен кезде фоторезисторлар күннің орнын нақты анықтай алмайды. Бұл жағдайда бақылау жүйесі күн панелін басқа бағыттарға бұрып, энергия түрлендіруде кемшіліктер туындатуы мүмкін [101, 10 б.].



Сурет 2.14 – Фотоэлектрлік модульдердің энергия түрлендірулерінің графиктері [101, 10 б.]

Сурет 2.15 а-с-да бұлтты ауа-райы жағдайлары нәтижесінде күн сәулесінің қатты шашырауы кезінде энкодер құрылғысымен алынған фотоэлектрлік модульдердің азимут бойынша айналу бұрыштарының графиктері көрсетілген. Бұл графиктерден фоторезисторларға негізделген күн трекерінің азимут бойынша айналу бұрыштарының қателіктерін көре аламыз [101, 10 б.].



Сурет 2.15 – Трекерлердің азимут бойынша қозғалыс бұрыштары [101, 11 б.].

Тәжірибелік қондырғылардың тиімділігін анықтау үшін кесте 2.1-де көрсетілгендей тәулік бойына түрлендіретін жалпы энергияға есептеулер жүргізілді [101, 11 б.].

Кесте 2.1 – Трекерлердің түрлендіретін жалпы энергия мөлшері

Күн	E_{sc} , Вт*сағ	E_{LDR} , Вт*сағ	E_{fix} , Вт*сағ
01.07.2020	372	357	270
02.07.2020	1220	1206	785
03.07.2020	1757	1748	1098
08.07.2020	1775	1776	1111
09.07.2020	1158	1145	725
Σ	6282	6232	3989

Трекердің тиімділігін η (2.5) формуланы қолдана отырып табуға болады. Мұндағы: E_T күн трекері өндіретін энергия мөлшері, E_{PV} эквивалентті фотоэлектрлік модулі бар қозғалыссыз бекітілген жүйе және E_C трекердің қозғалыс механизмі үшін энергия шығыны [99,100]:

$$\eta = \frac{(E_T - (E_{PV} + E_C)) * 100}{E_F} \quad (2.5)$$

Күн трекерлерінің тиімділігін есептеу үшін сонымен қатар олардың моторларының тұтынатын энергиясын есептеу қажет. Кесте 2.2-де көрсетілген шамалар арқылы тұтынатын энергиясын анықтауға болады [101, 12 б.].

Кесте 2.2 – Трекер қозғалтқышының сипаттамалары

V, В	I, А	P, Вт	1° бұруға жұмсалатын t, сек	1° бұруға жұмсалатын E, Дж/°
12,3	0,33	4,059	0,203	0,823

Трекерді 1 градусқа бұру үшін қозғалыс механизмі 0,823 Дж энергия тұтынады. Кесте 2.3-те уақыт кестесіне негізделген бір осьті күн трекері моторының тұтынатын энергия мөлшері көрсетілген. Мұндағы: γ_s – тәулік бойы күн қозғалысының жалпы азимуттық бұрышы; E–трекердің азимут бойынша қозғалысының жалпы бұрылу бұрышына жұмсалған энергия; t_r –трекердің азимут бойымен бұрылуына кеткен уақыты; P_r -трекер механизмінің тұтынатын қуаты. Жұмсалған энергия мөлшерін екі есе көбейту керек, өйткені трекер әр күннің соңында бастапқы күйіне оралады [101, 12 б.].

Кесте 2.3 – Трекердің қозғалыс механизмі тұтынатын энергия мөлшері

Күн	01.07	02.07	03.07	08.07	09.07
$\gamma_s, ^\circ$	245	244	244	243	242
t_r , сек	49,735	49,532	49,532	49,329	49,126
P_r , Вт	4,0542	4,0542	4,0542	4,0542	4,0542
E, Дж	201,635	200,812	200,812	199,989	199,166

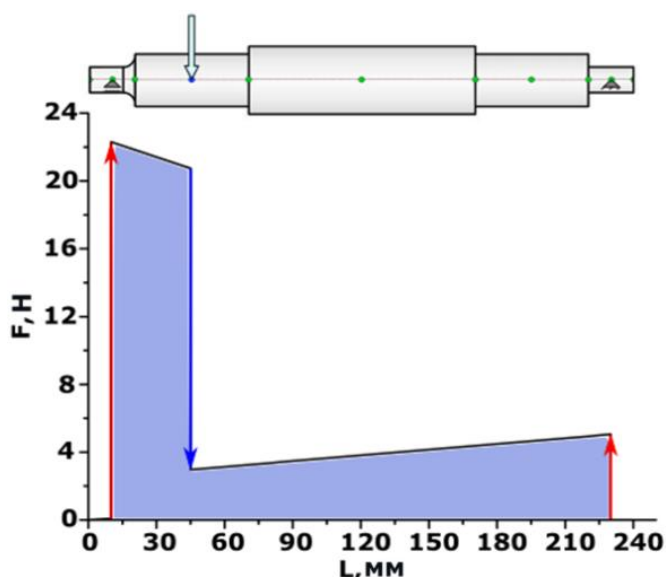
Жүргізілген 5 күндік тәжірибе нәтижесінде қозғалтқыш моторға жұмсалатын энергия мөлшері 0,557 W*h құрады. Қозғалыс механизміне жұмсалатын энергия шығындарын ескере отырып уақыт бойынша жұмыс жасайтын трекердің тиімділігі 57,4% болатындығы анықталды.

Әрі қарай, (5) өрнекті қолданып, екі трекерді салыстырамыз. Уақыт бойынша жұмыс жасайтын күнді бақылау жүйесі фоторезисторға негізделген трекерге қарағанда тиімділігі: ауа-райы бұлтты және жаңбырлы күндері 4,2%, ал көшпелі бұлтты күндері 1,15% құрады. Сонымен қатар, уақыт бойынша жұмыс жасайтын трекердің қозғалыс механизмі 60% - ға аз энергия жұмсайды, өйткені фоторезисторларға негізделген трекерлер бұлтты ауа-райында күнді нақты бақылай алмайды. Кесте 2.4-те күнді бақылау жүйелері мен стационарлы фотоэлектрлік модульдер арасындағы салыстырмалы сипаттамалары келтірілген [101, 3 б.].

Кесте 2.4 – Бір осьті күн трекерлері мен стационар жүйе арасындағы салыстырмалы көрсеткіштер

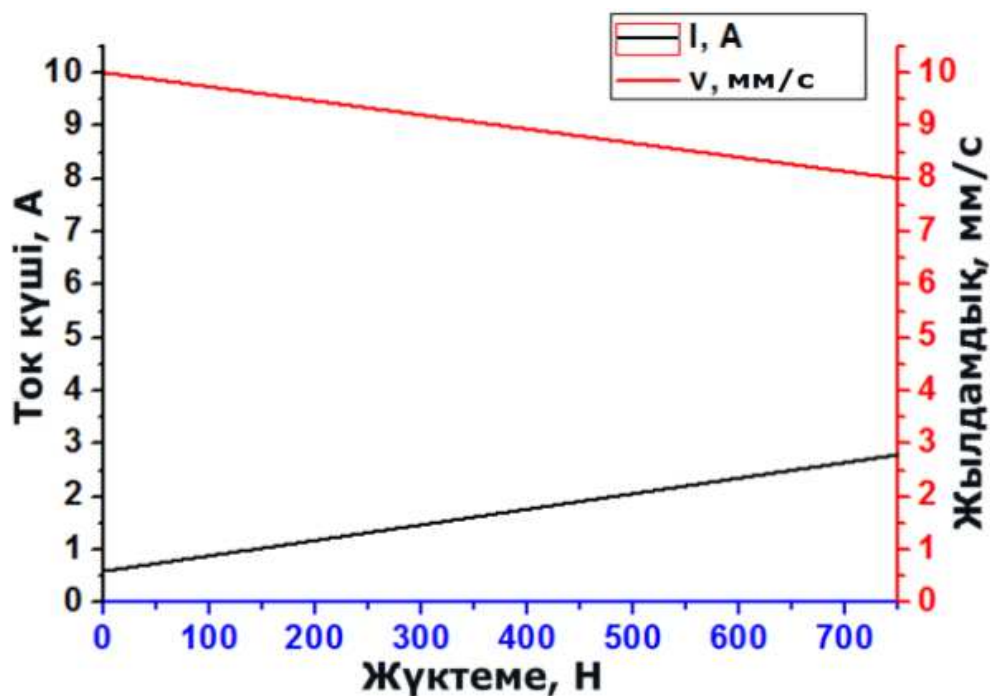
Сипаттамалар	Стационар	LDR КТ	Кесте КТ
Құрастыру	Жеңіл	Орташа	Орташа
Механизм	Жоқ	Қарапайым	Қарапайым
Бағасы	Арзан	Орташа	Орташа
Құрылымы	Қарапайым	Орташа	Орташа
Техникалық қызмет көрсету	Жеңіл	Орташа	Орташа
Күн шуағы бар ауа-райындағы тиімділік	Эталонды тиімділік	57,4% > стационар жүйе	57,4% > стационар жүйе
Бұлтты/жаңбырлы ауа-райындағы тиімділік	Эталонды тиімділік	>32,2% стационар жүйе	>37,7% стационар жүйе >4,2% LDR КТ

Екі осьті трекерде есептеулер бөлек жолмен жүргізілді. Алдымен жүйе қозғалтқыш моторының және сызықты актуаторының тұтыну қуаты есептелді. Сурет 2.16-да бір күн панелімен жабдықталған трекер үшін бұрамда білігінің механизмі және оған әсер ететін күштің тәуелділік графигі көрсетілген. Autodesk Inventor бағдарламалық жасақтамасының көмегімен трекердің көлденең жазықтықпен бұрылуы үшін қажетті күш мәні алынды. Тиісті жүктеме кезінде электр қозғалтқышы тұтынатын энергия тәжірибе жүзінде өлшенді [102, 289 б.].



Сурет 2.16 – Бір ғана күн панелімен жабдықталған трекерді көлденең жазықтықта айналдыру үшін бұрамда білігінің механизміне әсер ететін күш [102, 289 б.]

Сурет 2.17-де сызықты актуатордың сипаттамалары көрсетілген. Координата жүйесінде токтың жүктемеге және жылдамдықтың жүктемеге тәуелділік графиктері көрсетілген [102, 289 б.].



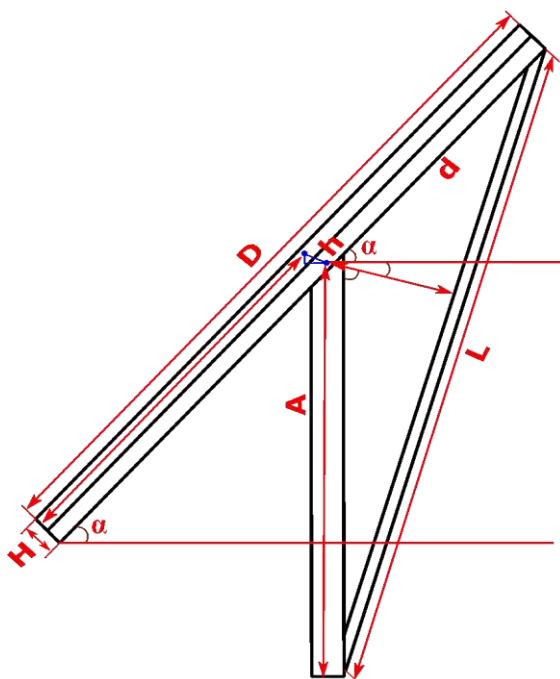
Сурет 2.17 – Сызықты актуатордың сипаттамалары [102, 289 б.]

Сурет 2.18-де көрсетілген геометриялық құрылымдарды қолдана отырып, сызықты актуаторға өзекшені тарту кезіндегі әсер ететін жүктеме күшін есептейміз. Мұндағы: D – күн батареясының ұзындығы, H – металл жақтаумен есепке алғандағы күн батареясының қалыңдығы, d – күн батареясы ұзындығының жартысы, A – күн батареясының көлбеулік бұрылу осінен сызықтық актуатордың бекіту нүктесіне дейінгі қашықтық, L – актуатордың ұзындығы, α – күн батареясының көкжиекке қатысты көлбеулік бұрышы, h – күн батареясын металл жақтауымен есепке алғандағы масса центрінен оның айналу осіне дейінгі қашықтық.

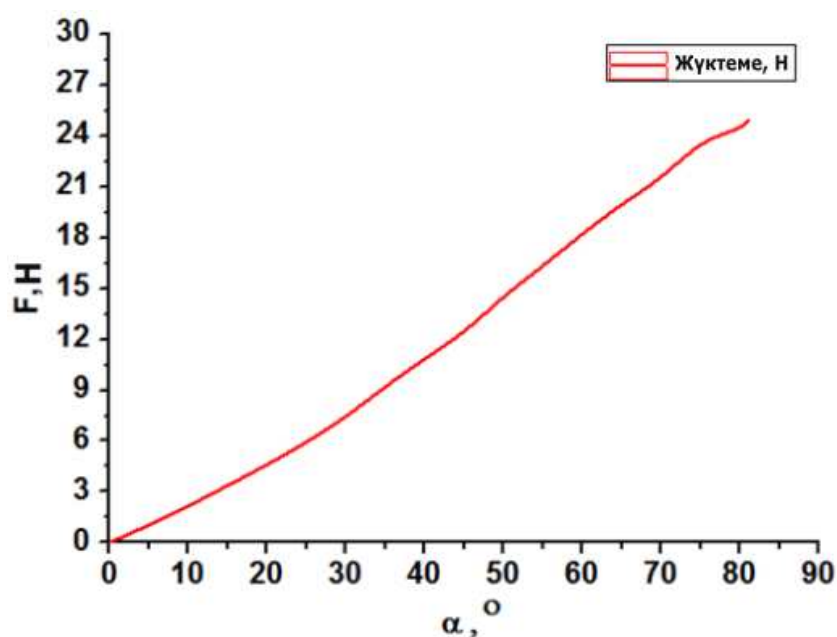
Осыдан, сызықтық актуаторға өзекшені тарту кезінде әсер ететін жүктеме күші төмендегі (2.6) формуламен анықталады [102, 289 б.]:

$$F = \frac{(F_f + mg)h \sin \alpha}{d \sin \left(\left(\frac{d^2 + L^2 - A^2}{2dL} \right) \right)} \quad (2.6)$$

Мұндағы: m – металл жақтауы бар күн батареясының массасы, F_f – тыныштық күйдегі үйкеліс күші. (2.6) формула негізінде күн батареясы үшін көкжиекке көлбеу орналасу бұрыштарына байланысты актуатордың өзекшені тарту күшінің графигін саламыз (сурет 2.19).



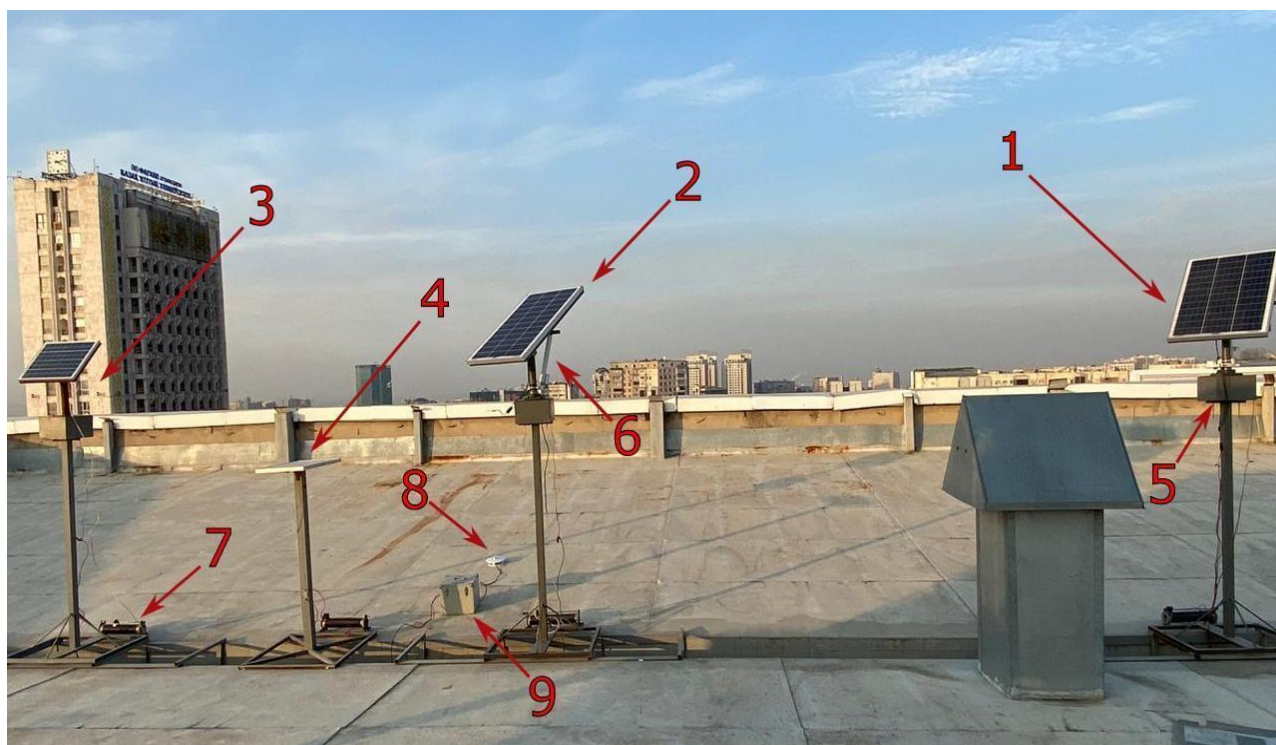
Сурет 2.18 – Актуатордың жүктемесін есептеуге арналған геометриялық құрылымдар [102, 289 б.]



Сурет 2.19 – Бір күн батареясы бар сызықтық актуатордың көлбеу бұрышына сәйкесінше әсер ететін күштердің тәуелділік графигі [102, 289 б.]

Екі осьті күн трекерлерінің өнімділігін анықтау үшін тәжірибе жұмыстары 2019 жылдың 28, 29 қазанында және 13 қараша күндері әл-Фараби атындағы ҚазҰУ аумағында жүргізілді. Сурет 2.20-да шағын фотоэлектрлік қондырғылармен бірге екі осьті күн трекерлердің тәжірибелік қондырғылары көрсетілген. Мұндағы: 1 – уақыт кестесімен жұмыс жасайтын екі осьті трекер (бұдан әрі оны "трекер 1" деп атаймыз); 2 – уақыт кестесімен бұлтты ауа-

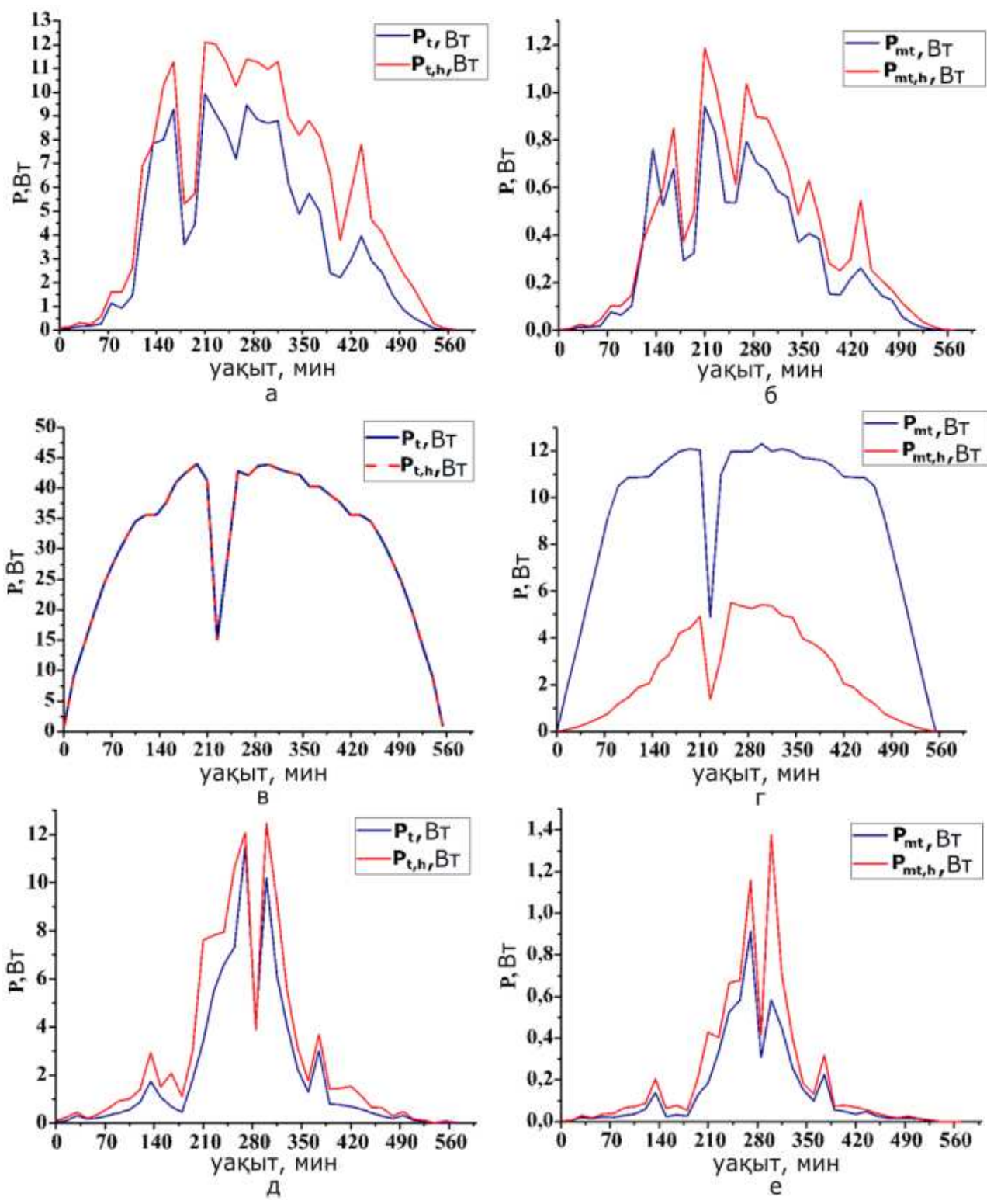
райында тиімді жұмыс жасайтын екі осьті трекер (бұдан әрі оны "трекер 2" деп атаймыз); 3 – шағын екі осьті күн трекері (бұдан әрі оны "шағын қондырғы 1" деп атаймыз); 4 – көлденең орнатылған шағын, қозғалыссыз қондырғы (бұдан әрі оны "шағын қондырғы 2" деп атаймыз); 5 – азимуталды бұрышпен бұрылу механизмі; 6 – күн батареясының көлбеулігін түзететін сызықтық актуатор; 7 – фотоэлектрлік модульдерге қосылған жүктеме; 8 – пиранометр құрылғысы; 9 – электронды басқару блогы [102, 290 б.].



Сурет 2.20 – Тәжірибелік қондырғылар [102, 290 б.]

Тәжірибе жүргізу үшін күзгі маусымның тәулік бойына өзгеріссіз ауа-райы бұлтты болатын екі күн және ауа-райы ашық болатын бір күн таңдап алынды.

Сурет 2.21-де күн трекерлері мен шағын қондырғылардың энергия түрлендірулерінің графигі көрсетілген. Сурет 2.21 а, б графиктері 28 қазанда алынған қуаттың тәулік ішінде өзгеріс графигі көрсетілген. Шағын қондырғы 2-нің түрлендіретін қуаты тәулік ішінде жоғары мәнді көрсеткендіктен, трекер 2 фотоэлектрлік модульді көлденең орнатады. Қызыл сызық трекер 2-нің және шағын қондырғы 2-нің шығыс қуатын білдіреді, ал көк сызық трекер 1-дің және шағын қондырғы 1-дің қуатын білдіреді. Сурет 2.21 в, г графиктерінде 29 қазанда ауа-райы ашық және түс мезгілі уақытында көшпелі бұлтты болғандағы тәжірибелік мәндер көрсетілген. Мұндағы күн трекерлері стандартты жұмыс режимінде жұмыс жасайды. Шағын қондырғы 2 энергияны аз өндіретіні көрсетілген, ал трекер 2 алгоритмі трекер 1 алгоритмін қайталайды. Сурет 2.21 д, е 13 қарашада бұлтты ауа-райында алынған мәліметтер көрсетілген. 28 қазандағы секілді, бұл күні шағын қондырғы 2 және сәйкесінше трекер 2 энергияны түрлендірулері үлкен екені көрсетілген [102, 290 б.].



Сурет 2.21 – Күн трекерлері мен шағын қондырғылардың энергия түрлендірулері [102, 290 б.]

Кесте 2.5-те фотоэлектрлік панельдердің энергия түрлендірулерінің салыстырмалы көрсеткіштері берілген.

Кесте 2.5 – Фотоэлектрлік панельдердің энергия түрлендірулерінің мөлшері

Күн	28 қазан	29 қазан	13 қазан	Σ, Вт*сағ
E_t , Вт*сағ	39	293,54	19,55	352,09
$E_{t,h}$, Вт*сағ	55,2	293,54	27,34	376,08
E_{mt} , Вт*сағ	3	86,45	1,36	90,81
$E_{mt,h}$, Вт*сағ	3,85	23	2,06	28,91

Бұлтты ауа-райы күндері, 28 қазанда және 13 қарашада, трекер 1 және трекер 2 түрлендіретін энергия мөлшерлері сәйкесінше E_t – 58,55 Вт*сағ және $E_{t,h}$ – 82,54 Вт*сағ тең. Трекер механизмдерін бұруға жұмсалатын энергия мөлшерін ескере отырып, жүйенің тиімділігін η (2.7) формуласын қолдана отырып бағалауға болады [45, 100]:

$$\eta = \frac{(E_{t,h} - (E_t + (E_{c,t,h} - E_{c,t}))) * 100}{E_t} \quad (2.7)$$

мұндағы: $E_{t,h}$ – трекер 2-нің түрлендірген энергиясы, E_t – трекер 1-дің түрлендірген энергиясы, $E_{c,t,h}$ – трекер 2-нің қозғалтқышының энергия тұтыну мөлшері, $E_{c,t}$ – трекер 1-дің қозғалтқышының энергия тұтыну мөлшері. Трекер 2 қозғалтқышының энергия тұтынуы біршама үлкен болады, өйткені алгоритм бойынша ауа-райы бұлтты және жарық сәулесі қатты шашырау кезінде көлденең күйге орнығу қажет және трекер 1 мен салыстырғанда біршама энергияны қажет етеді.

Әзірленген трекердің тиімділігін бағалау үшін трекер қозғалтқыштарының энергия тұтынуларын есептеу қажет. Кесте 2.6-да азимуталды бұрыш бойынша бұрып отыратын трекер 1 және трекер 2 қозғалтқыштары энергия тұтынуларының тәжірибе жүзінде өлшеніп алынған шамалары көрсетілген [102, 291 б.].

Кесте 2.6 – Трекер қозғалтқышының электрлік сипаттамалары

U, В	I, А	P, Вт	1° бұрылуға жұмсалған уақыт, сек.	1° бұрылуға жұмсалған E, Дж/°
12	0.17	2.04	0.203	0,414

Трекерлерді азимут бойынша 1 градусқа бұру үшін 0,414 Дж қажет энергия жұмсалатыны анықталды. Кесте 2.7-де мотордың энергия тұтыну мөлшері көрсетілген. Мұндағы: γ_s -күннің шығуынан, батқанға дейінгі аралықтағы жалпы азимуттық бұрыш; E_c -трекерді күннің орналасқан азимуттық бұрышына оңтайлы бағыттау үшін жұмсалған энергия; t_t -трекерді азимут бұрышымен бұруға жұмсалған жалпы уақыты; P_t -трекер механизмі тұтынатын қуат мөлшері. Алынған энергия мәндерін екі есе көбейту керек, өйткені трекер әрбір жұмыс күнінің соңында бастапқы күйіне оралады.

Кесте 2.7 – Тәулік ішіндегі мотордың энергия тұтынулары: тәжірибе және модель

Күн	Тәжірибе				Модель			
	28 қазан	29 қазан	13 қараша	Σ	28 қазан	29 қазан	13 қараша	Σ
$\gamma_s, ^\circ$	142	141	129	412	142	141	129	412
$t_r, \text{сек.}$	28,826	28,623	26,187	83,636	28,826	28,623	26,187	83,636
$P_r, \text{Вт}$	2,04	2,04	2,04	6,12	2,16	2,16	2,16	6,48
$E_c, \text{Дж}$	58,8	58,39	53,42	170,61	62,26	61,82	56,56	180,64

Тәжірибе жүргізілген күндері көлденең жазықтық бойымен трекерді бұрып отырушы қозғалтқыш механизмінің тұтынатын энергия мөлшері 170 Дж немесе 0,095 Вт*сағ құрады. Осы орайда есептеп шығарылған тұтынылатын энергия 180,64 Дж немесе 0,1 Вт*сағ құрады. Тәжірибе және модель жүзінде алынған мәліметтерді салыстыра отырып, айырмашылық 6% құрайтындығын анықтадық.

Трекер панелінің көлбеулік бұрышын өзгерту үшін сызықтық актуатор қолданылды. Кесте 2.8-де сызықтық актуатордың негізгі сипаттамалары келтірілген [102, 292 б.].

Кесте 2.8 – Сызықтық актуатордың сипаттамалары

Созылған күйдегі ұзындық, мм	Екпін күші (макс.), Н	Тарту күші (макс.), Н	Жылдамдық, мм/сек.	Кернеу, В	Ток, А
350	750	750	8-10	12	0,6-2,8

Кесте 2.9-да сызықтық актуатордың энергияны тұтынуы көрсетілген. Мұндағы: α_t – трекер 1 үшін тәулік бойы көлбеулік бұрышының өзгеруінің жалпы сомасы, $\alpha_{t,h}$ – трекер 2 үшін тәулік бойы көлбеулік бұрышының өзгеруінің жалпы сомасы. $P_{\alpha,t}$, $P_{\alpha,t,h}$ – сәйкесінше трекер 1 және трекер 2-де орнатылған сызықтық актуаторлардың жұмыс жасау қуаты. Сызықтық актуатордың жұмыс қуатын және оған жұмсалған уақытын біле отырып, трекер 1 және трекер 2-нің энергия тұтынуын есептейміз. $E_{c,t}$ және $E_{c,t,h}$ – сәйкесінше трекер 1 және трекер 2-нің сызықтық актуаторларының энергия тұтынулары; $t_{\alpha,t}$, $t_{\alpha,t,h}$ – сәйкесінше трекер 1 және трекер 2 үшін тәжірибе барысы кезіндегі күн батареяларын еңкеюіне жұмсалған жалпы уақыт.

Ауа-райы бұлтты күндері жүргізілген тәжірибе барысында күн батареясының көлбеулігін өзгертетін механизмдері тұтынатын энергия мөлшері трекер 1 және трекер 2 үшін сәйкесінше – $E_{c,t}$ – 177,584 Дж немесе 0,0494 Вт*сағ және $E_{c,t,h}$ – 421,72 Дж немесе 0,117 Вт*сағ құрайды. Дәл осы аралықта энергия тұтынуларын модельдеу нәтижесінде трекер 1 және трекер 2 үшін сәйкесінше $E_{c,t}$ – 177,276 Дж немесе 0,0491 Вт*сағ және $E_{c,t,h}$ – 419,64 Дж немесе 0,1165 Вт*сағ құрайды. Тәжірибе мен модельдеуден алынған мәндерін салыстыра отырып, шамамен 1% айырмашылық анықталды. Әрі қарай (2.7) формуланы қолдана отырып, әзірленген трекердің тиімділігі $\eta=41\%$ құрайтыны дәлелденді [102, 292 б.].

Кесте 2.9 – Тәулік ішіндегі сызықтық актуатордың энергия тұтынуы

Күн	Тәжірибе				Модель			
	28 қазан	29 қазан	13 қараша	Σ	28 қазан	29 қазан	13 қараша	Σ
$\alpha_t, ^\circ$	66	66	58	190	66	66	58	190
$\alpha_{t,h}, ^\circ$	114	66	122	302	114	66	122	302
$t_{\alpha,t}, \text{сек.}$	13	13	9	35	13	13	9	35
$t_{\alpha,t,h}, \text{сек.}$	24	13	28	65	24	13	28	65
$P_{\alpha,t}, \text{Вт}$	8,072	8,072	8,072	24,216	8,058	8,058	8,058	24,174
$P_{\alpha,t,h}, \text{Вт}$	8,11	8,072	8,11	24,292	8,07	8,058	8,07	24,198
$E_{c,t}, \text{Дж}$	104,936	104,936	72,648	282,52	104,754	104,754	72,522	282,03
$E_{c,t,h}, \text{Дж}$	194,64	104,936	227,08	526,656	193,68	104,754	225,96	524,394

2.5 Бағдарламалық есептеулер жүргізу арқылы жүйелерді модельдеу

Алматы қаласының ауа-райы шұғыл құбылмалы болғандықтан мұнда жылдың барлық төрт мезгілі және жиі бұлттану айқын көрінеді. Нәтижесінде, бір осьті трекерлер негізінде құрылған күн электр станцияларын жобалау үшін олардың өнімділігін алдын-ала бағалау қажет. Модельдеуде қолданылатын күн батареясының қуатын 60 Вт деп қарастырамыз. Уақыт кестесіне және фоторезисторларға негізделген трекерлердің өнімділігін модельдеу үшін ауа-райының түрлі жағдайларындағы күн радиациясы деңгейінің өзгеруін бағалау қажет. Тәулік ішінде жер бетіне түсетін күн радиациясын анықтау үшін 2020 жылдың тамыз айының 5 күнінде пиранометр құрылғысын және автономды сымсыз модульдерді қолдана отырып тәжірибелік жұмыстар жүргізілді. Алынған мәліметтер бұлтты және жаңбырлы ауа-райында радиация қуаты деңгейінің өзгеріс мөлшерін бағалау үшін пайдаланылды. Әр түрлі ауа-райы жағдайларында фотоэлектрлік жүйелердің өнімділігі қаншалықты төмендейтінін анықтау үшін жыл бойы жердің көлденең ауданының шаршы метріне түсетін күн радиациясының моделі қолданылды. Жер бетіне түсетін толық радиацияны (G) төмендегі (2.8) формула бойынша анықтауға болады [101-103]:

$$G = \int_0^T \int_0^{2\pi} k \eta_c I_0 f(w) g(w) \sin h_s \, dndT \quad (2.8)$$

мұндағы, n – жыл ішіндегі күннің реттік нөмірі, T – жергілікті уақыт, k – климаттық жағдайларға байланысты түзету коэффициенті [17], η_c – жерден күнге дейінгі қашықтықтың түзету коэффициенті, I_0 – күн радиациясының тұрақты мәні $1,37 \text{ кВт/м}^2$, $f(w)$ – күн модулі көлбеу бұрышының әсер ету факторы, $g(w)$ – азимуталды бұрыштың әсер ету факторы, h_s – күн биіктігі.

Сурет 2.22-де пиранометрден алынған күн радиациясының графиктері, сондай-ақ, дәл сол күндердегі радиацияның модельдері көрсетілген. 18-24 тамыз аралығында күн радиациясының математикалық моделінің графигі

өзгермейді. Ал, пиранометр көмегімен алынған графиктер ауа-райына байланысты өзгеріп отырады. Тәжірибелік деректер мен математикалық модельді пайдалана отырып, бұлтты ауа-райы жағдайларында радиация мөлшерін болжау үшін күн сәулесі қуатын төмендетудің орташа дәрежесі $\Delta\chi$ есептелді. Егер бір тәулік ішінде өлшенетін радиация мөлшерін j бағаналардан және қарастырылатын күндер санын i жолдардан тұратын массив ретінде қарастырсақ, онда матрицаны аламыз (2.9) [101, 13 б.]:

$$G_{\text{exp}} = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} & \cdots & G_{1j} \\ G_{21} & G_{22} & \cdots & G_{2j} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ G_{i1} & G_{i2} & \cdots & G_{ij} \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

Сол сияқты, (2.8) формуладан алынған қуат мәндері үшін матрицаны құрамыз.

$$G_{\text{model}} = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} & \cdots & G_{1j} \\ G_{21} & G_{22} & \cdots & G_{2j} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ G_{i1} & G_{i2} & \cdots & G_{ij} \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

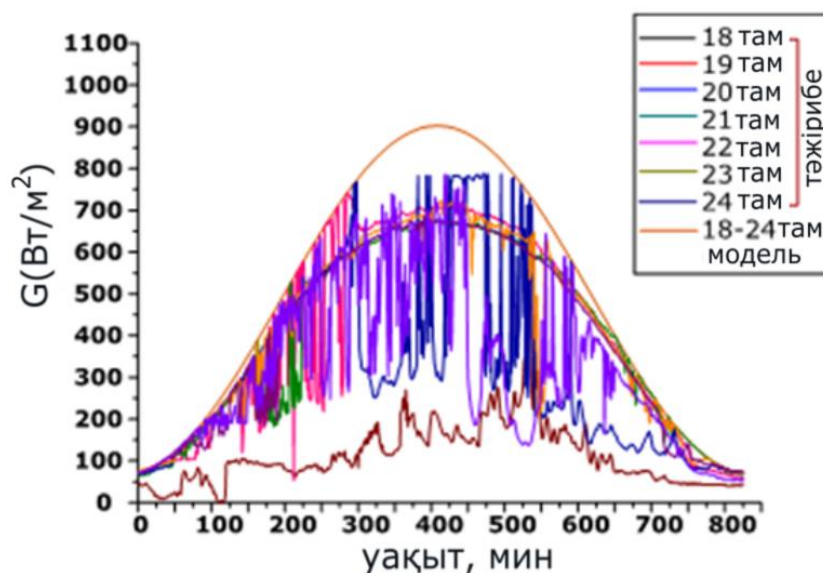
Сондықтан, (2.9) және (2.10) матрицаның уақыт аралықтары сәйкес келеді. Әрі қарай, бұлттың салдарынан күн сәулесінің мөлшері төмен болатын (2.9) матрицаның әрбір жолында орналасқан көптеген элементтерін таңдап, n элемент мөлшері бар g_{exp} массивін аламыз. g_{model} массиві үшін (2.10) матрицасынан дәл сондай элементтерді таңдап аламыз. Нәтижесінде, бұлтты ауа-райы жағдайларында тәулік ішіндегі күн радиациясының орташа үлесі $\Delta\chi$ мынадай болады [101, 13 б.]:

$$\Delta\chi = \frac{\sum_{k=1}^n (g_{\text{model}} - g_{\text{exp}})}{\sum_{k=1}^n g_{\text{model}}} \quad (2.11)$$

мұндағы, $\Delta\chi$ - бұлтты ауа-райы жағдайлары үшін орташа коэффициент.

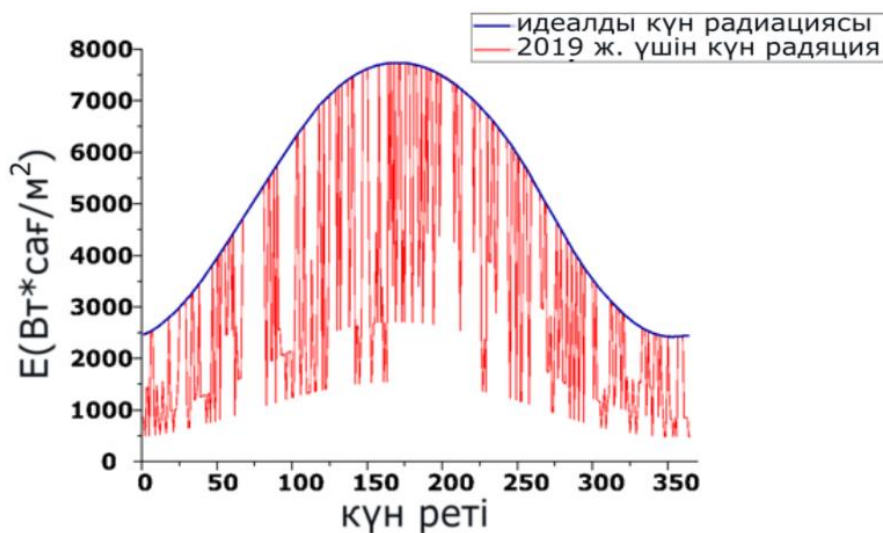
Есептеулер нәтижесінде келесі коэффициент мәндері алынды:

- жаңбырлы ауа-райы жағдайында күн сәулесінің деңгейі тиісті күнде есептелген G_{model} мәнінің 0,2 құрайды;
- бұлтты ауа-райында күн радиациясының деңгейі тиісті күнде есептелген G_{model} мәнінің 0,45 құрайды;
- көшпелі бұлтты ауа-райында күн сәулесінің деңгейі тиісті күнде есептелген G_{model} мәнінің 0,66 құрайды.



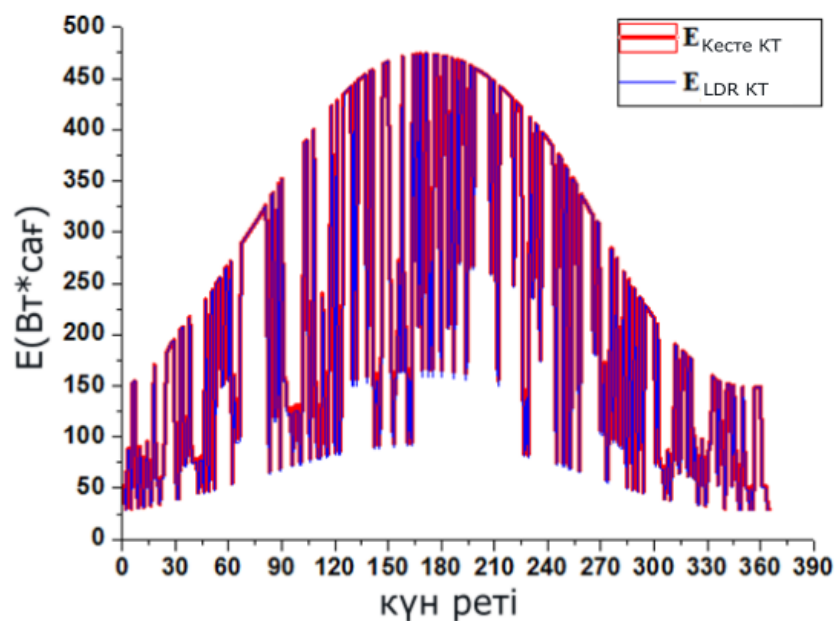
Сурет 2.22 – 18-24 тамыз аралығында тәжірибе және модель бойынша алынған күн радиациясы шамалар [101, 13 б.]

Әр түрлі ауа-райы жағдайлары үшін алынған коэффициенттерді қолдана отырып, 2019 жылдағы күн радиациясының деңгейін есептейміз. Ауа-райы болжамы интернет желісінен алынды. Сурет 2.23-те 2019 жылдың күн радиациясы графигі идеалды жағдайдағы және ауа-райының әртүрлі жағдайларына арналған коэффициенттері ескере отырып көрсетілген [101, 14 б.].



Сурет 2.23 – Әр түрлі ауа-райы жағдайларын ескере отырып алынған күн сәулесі энергиясының жылдық көрсеткіші [101, 14 б.]

Жыл бойындағы күн радиациясының мәліметтерін қолдана отырып, бір осьті күн трекерлері түрлендіретін электр энергиясының мөлшерін есептейміз. Сурет 2.24-те әр түрлі ауа-райының коэффициенттерін ескере отырып, 2019 жылдағы бір осьті трекердің түрлендіретін энергиясының графигі көрсетілген.



Сурет 2.24 – Әр түрлі ауа-райындағы күн трекері түрлендіретін энергия мөлшерінің жылдық көрсеткіші [101, 14 б.]

Кесте 2.10-да әр түрлі ауа-райы жағдайларында бір осьті күн трекерлері өндіретін энергияның мөлшері көрсетілген [101, 14 б.].

Кесте 2.10 – Энергия мөлшері

Ауа-райы	Күндер саны	$E_{\text{кесте}}$, кВт*сағ	E_{LDR} , кВт*сағ
Жаңбыр/бұлт	142	194,8	186,6
Көшпелі бұлт	59	175,13	173,12
Күн ашық	164	905,86	905,86

Кесте 2.10-нан көрініп тұрғандай, ашық күндер саны бұлтты және жаңбырлы күндер санынан көп. Сондықтан осы күндері трекерлер өндіретін энергия мөлшері әртүрлі болады.

Екі осьті күн трекерінің моделін құрастыру барысында бір осьті күн трекерін модельдеуде қолданғандай қуаттылығы 60 Вт болатын күн батареясының сипаттамалары алынды және олардың 6 данасы қолданылды. Бұндай жүйенің моделін құрастырудың негізгі мақсаты – күн батареяларын арттырғанда трекердің түрлендіретін энергиясын бағалау. Модельдеу барысында трекердің көлденең жазықтық бойымен бұрылатын механизміндегі қозғалтқыштың сипаттамасы тәжірибе барысында қолданған қозғалтқыштың көрсеткіштерімен бірдей етіп алынды. Трекердің жылжымалы бөлігінің өлшемдері, массасы және инертті қасиеттері өзгереді. Тәжірибелік жұмыстардағы дәл сол материалдарды, механизмді және қозғалтқышты динамикалық модельдеу кезінде күн батареяларын қолдануға болатын максималды саны алтыға тең екендігі анықталды. Қондырғының моделі сурет 2.25-те көрсетілген. Модельдеу үш өлшемді Autodesk Inventor бағдарламалық жасақтамасында жасалды. Бағдарлама үш өлшемді қатты күйдегі және беттік

сипаттамалық жобалауға және өнеркәсіптік өнімдердің сандық прототиптерін жасауға арналған. Кесте 2.11-де тәжірибелік жұмыстарда болған ауа-райы жағдайлары ескеріліп 6 күн баатареясы түрлендіретін энергия мөлшерінің моделі есептелініп көрсетілген [102, 293 б.].

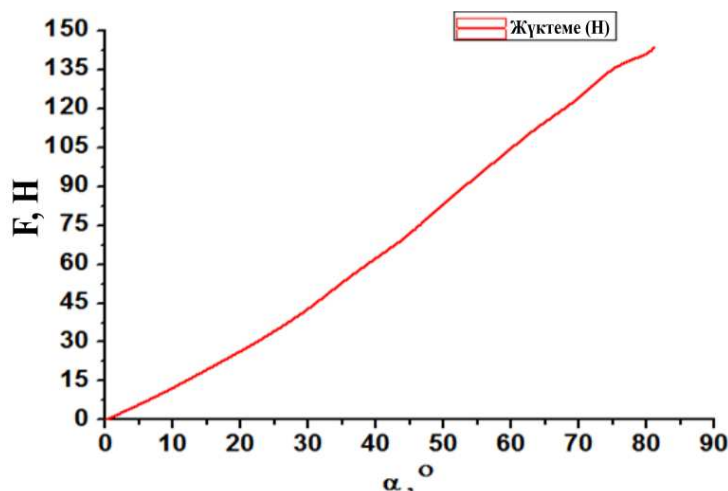
Кесте 2.11 – Тәжірибе жасау күндері 6 күн батареясының түрлендіретін энергиясының мөлшері

Күн	28 қазан	29 қазан	13 қараша	Σ , Вт*сағ
E_t , Вт*сағ	234	1761,24	117,3	2112,54
$E_{t,h}$, Вт*сағ	331,2	1761,24	164,04	2256,48



Сурет 2.25 – Autodesk Inventor бағдарламасында жасалған 6 күн батареясынан тұратын трекердің моделі [102, 293 б.]

Трекердің энергия тұтынуының моделін қолдана отырып, қондырғының 6 күн батареясымен энергия түрлендіруін есептейміз. Сурет 2.26-да 6 күн батареясының көлбеулік бұрыштары өзгерісінің актуаторға әсер ететін жүктеме күшке тәуелділік графигі көрсетілген. Кесте 2.12-де сызықты актуатордың тәулік ішінде тұтынатын энергия мөлшері көрсетілген [102].

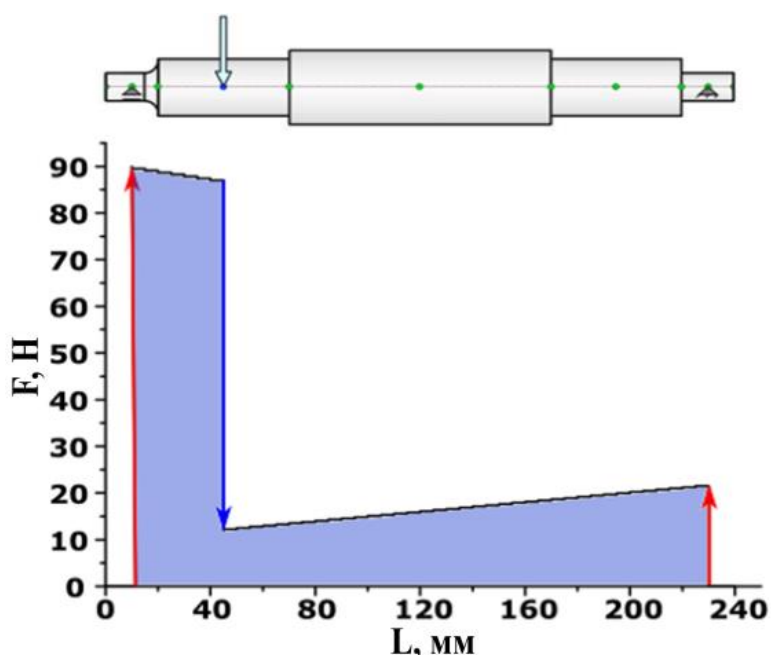


Сурет 2.26 – Алты күн батареясы бар сызықтық актуаторға әсер ететін жүктеме күшінің көлбеулік бұрышына тәуелділік графигі [102, 293 б.]

Кесте 2.12 – СЫЗЫҚТЫҚ АКТУАТОРДЫҢ ТӘУЛІК ІШІНДЕ ТҰТЫНАТЫН ЭНЕРГИЯ МӨЛШЕРІ

Күн	28 қазан	29 қазан	13 қараша	Σ
$\alpha_t, ^\circ$	66	66	58	190
$\alpha_{t,h}, ^\circ$	114	66	122	302
$t_{\alpha,t}, \text{сек.}$	21	21	17	59
$t_{\alpha,t,h}, \text{сек.}$	41	21	46	108
$P_{\alpha,t}, \text{Вт}$	11,5	11,5	11,5	34,5
$P_{\alpha,t,h}, \text{Вт}$	11,63	11,5	11,63	34,76
$E_{c,t}, \text{Дж}$	241,5	241,5	195,5	678,5
$E_{c,t,h}, \text{Дж}$	476,83	241,5	534,98	1258,31

Модельде 6 күн батареясы орнатылған трекер 1 мен трекер 2-нің энергия тұтынуларын салыстырамыз. Трекерде орнатылған актуатор күн батареясының көлбеулігін өзгерту үшін келесідей энергия мөлшерін тұтынады: трекер 1 және трекер 2 үшін сәйкесінше $E_{c,t} - 534,98$ Дж немесе $0,188 \text{ Вт*сағ}$ және $E_{c,t,h} - 1258,31$ Дж немесе $0,3495 \text{ Вт*сағ}$ құрады. Autodesk Inventor бағдарламалық ортасында көлденең жазықтықта бұрылуды қамтамасыз ететін трекерлердің механизмінің тұтынатын энергиясын анықтау үшін динамикалық модель жасалды. Трекердің біркелкі бұрылуы кезінде қозғалтқыш жағынан редуктор механизміне әсер ететін жүктеме күші 90 Н құрады. Сурет 2.27-де редуктор механизмі және оған әсер ететін 6 күн панелін бұруға жұмсалған жүктеме күшінің графигі көрестелген. Әрі қарай қозғалтқыш моторына 90 Н жүктеме күші түскендегі тұтынатын электр энергиясының мөлшері тәжірибе жүзінде анықталды. Кесте 2.13-те қозғалтқыш моторының электрлік сипаттамалары көрсетілген.



Сурет 2.27 – Алты күн батареясы бар трекер механизмі үшін әсер ететін жүктеме күшінің моделі [102, 293 б.]

Кесте 2.13 – 6 күн батареясы орналасқан трекер моторының электрлік сипаттамасы

U, В	I, А	P, Вт	1° бұруға жұмсалатын уақыт, сек	1° бұруға жұмсалатын E, Дж/°
12	0,52	6,24	0,203	1,267

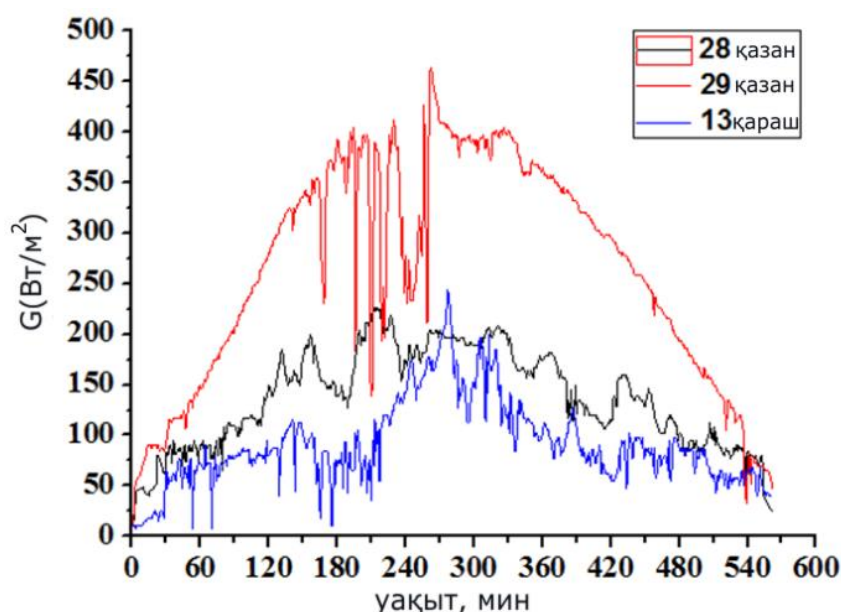
Трекерді көлденең жазықтықта 1°-қа бұру үшін қозғалтқыш мотордың энергия тұтынуын анықтай отырып, белгілі ауа-райы жағдайларында тәжірибе жұмыстары жүргізілген күндері осы мотордың жалпы жұмсайтын шығынын анықтаймыз. Кесте 2.14-те алты күн батареясы орнатылған трекердің қозғалтқыш моторы тұтынатын энергия мөлшері көрсетілген [102, 293 б.].

Кесте 2.14 – 6 күн батареясы орнатылған трекер моторының энергия тұтынуы

Күн	28 қазан	29 қазан	13 қараша	Σ
$\gamma_s, ^\circ$	142	141	129	412
$t_r, \text{сек}$	28,826	28,623	26,187	83,636
$P_r, \text{Вт}$	6,24	6,24	6,24	18,72
$E_c, \text{Дж}$	179,87	178,61	163,41	521,89

Тәжірибе жасалған күндері трекердің азимут бойынша бұру механизмдері тұтынатын энергия мөлшері 521 Дж немесе 0,145 Вт*сағ құрады.

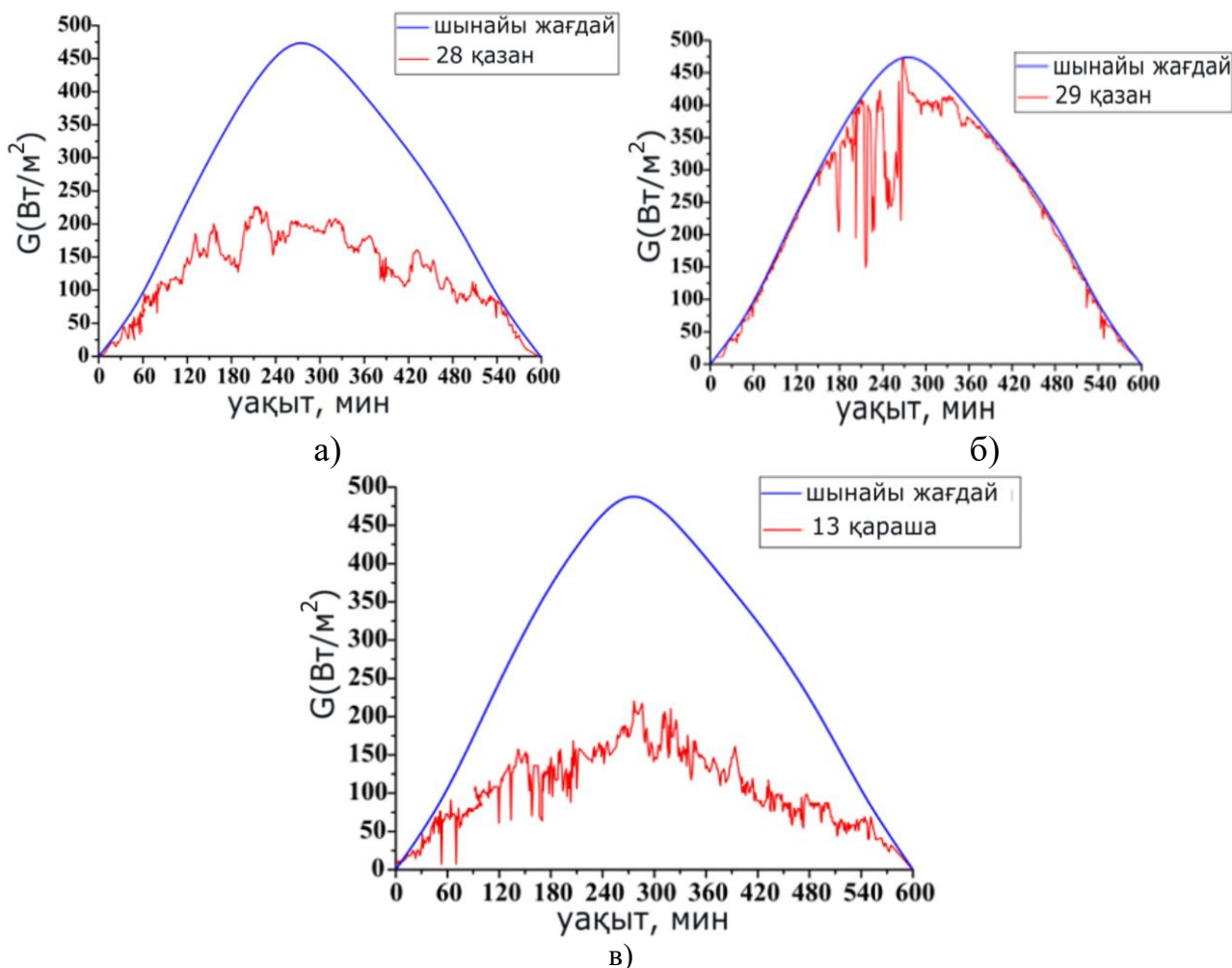
Алты күн батареясы бар трекерлердің энергия түрлендірулерінің моделі Алматы қаласы үшін жүргізілді. Тәулік ішінде күн батареяларының бетіне түсетін радиация мөлшерін анықтаймыз. Сурет 2.28-де 2020 жылдың 28, 29 қазан және 13 қараша күндері пиранометр көмегімен алынған радиация мөлшерінің графиктері көрсетілген. Графиктен көріп отырғанымыздай қатты бұлтты ауа-райында күн сәулесі энергиясының жалпы мөлшері 41-64%-ға азаяды. Тәулік ішінде жер бетіне түсетін күн радиациясының мөлшерін анықтау үшін (2.8) формуланы қолданамыз [30]:



Сурет 2.28 – Күн радиациясының графигі [102, 293 б.]

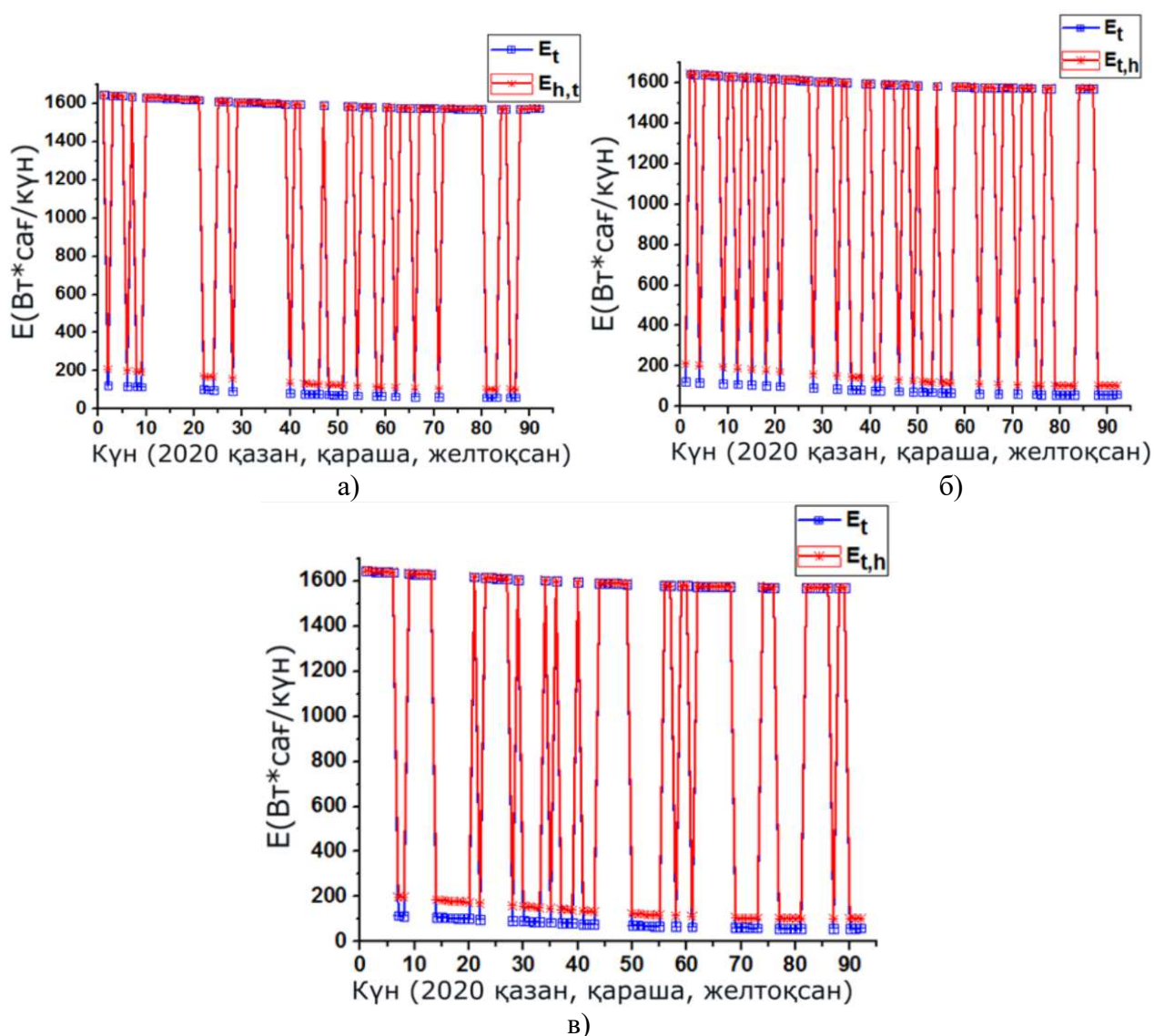
Тәжірибе жұмыстарында алынған және (2.8) формула бойынша есептелген күн радиациясының деңгейлерін салыстырамыз. Сурет 2.29-да тәжірибе жүзінде және есептеулер жүргізу нәтижесінде алынған бір шаршы метрге түсетін күн сәулесінің қуаты көрсетілген. Жоғарыда айтылғандай, 28 қазанда және 13 қарашада бұлтты ауа-райы нәтижесінде күн сәулесі қатты шашырауы байқалды. Нәтижесінде тәжірибе жүзінде алынған күн радиациясының деңгейі модельмен салыстырғанда 74-78% төмендеді (сурет 2.29 а, в). 29 қазанда ауа-райы ашық болды және тәжірибеде алынған шамалары модельді іс жүзінде қайталайды (сурет 2.29 б). Бұл нәтижелерді күн сәулесінің қатты шашырауы кезінде күн трекерлерінің энергия түрлендірулерін модельдеу үшін қолдануға болады. Күн батареясының ПӘК-ін ескере отырып, түрлендіретін электр қуаты мөлшерін есептеу үшін төменде көрсетілген (2.12) формуланы қолдану арқылы жүзеге асады [102, 294 б.]:

$$P = \frac{\eta GA}{100\%} \quad (2.12)$$



Сурет 2.29 – Күн радиациясының тәжірибе және модельдеу мәндерін салыстыру: а) 28 қазан, б) 29 қазан, в) 13 қараша [102, 294 б.]

Әрі қарай, қазан, қараша және желтоқсан айлары үшін алдыңғы үш жылдағы ауа-райы туралы мәліметтерді және (2.9) формуланы қолдана отырып, жасалған трекер 2 алгоритмінің жұмысы бағаланды және қарапайым трекер 1 мен энергия түрлендіруі бойынша салыстырулар жүргізілді. Соңғы 3 жылдың ауа-райы мәліметінен күн сәулесінің қатты шашырауы байқалған күндерді таңдап, қалған күндерді көшпелі бұлтты және ауа-райы ашық деп қарастырдық. Қондырғылардың энергия тұтынуларын және тәжірибе нәтижелерін пайдалана отырып, трекер 1 және трекер 2 арқылы өндірілетін энергия есептелді. Сурет 2.30 а, б, в сәйкесінше 2020, 2019 және 2018 жылдардағы 3 ай ішінде трекерлердің түрлендіретін энергиясының модельдеу нәтижелері көрсетілген. Графиктерде энергия өндірісінің күрт төмендеуі бұлтты күндерге сәйкес келеді. Бұндай күндері ұсынылған трекер 2 трекер 1-ге қарағанда үлкен өнімділікті көрсетеді [102, 294 б.].



Сурет 2.30 – Трекерлердің энергия түрлендірулерінің графигі: а) 2020 ж., б) 2019 ж., в) 2018 ж. [102, 295 б.]

Модельдеу нәтижесінде 2020 жылдың қазан, қараша және желтоқсан айларында трекер 1-дің энергиясы E_t және трекер 2-нің энергиясы $E_{t,h}$ сәйкесінше 2250 Вт*сағ/күн және 3813 Вт*сағ/күн құрайды. 2019 жылы $E_t=2872$ Вт*сағ/күн және $E_{t,h}=4868$ Вт*сағ/күн, 2018 жылы $E_t=3525$ Вт*сағ/күн және $E_{t,h}=5975$ Вт*сағ/күн құрады [102, 295].

3 ЖҮЙЕНІҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ЖӘНЕ СЫМСЫЗ МОНИТОРИНГТІК БАСҚАРУ

3.1 Фотоэлектрлік жүйелерден өндірілген энергияны тиімді түрлендіруді жүзеге асыру

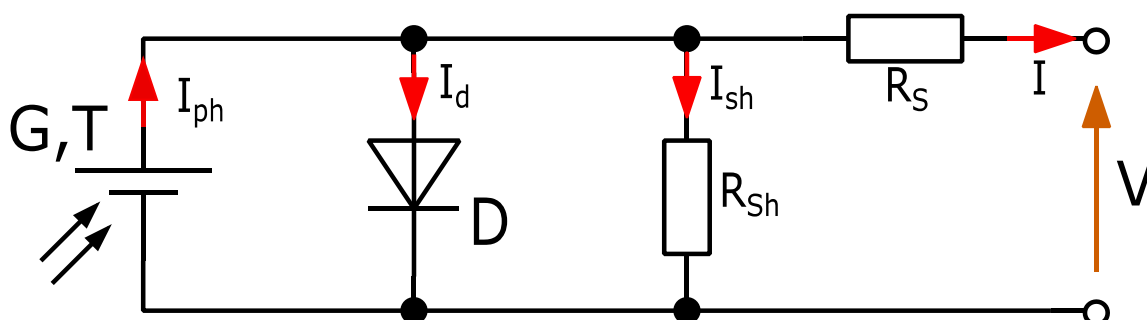
Фотоэлектрлік жүйелер тікелей жүктемеге қосылған кезде күн батареясы қуаттың кернеуге тәуелділігі P-U сипаттамасы бойынша жұмыс нүктесі максималды қуат нүктесінде орналасуы әдетте сирек кездеседі. Сонымен қатар, күн элементінің вольт-амперлік сипаттамасы сызықты емес және сәулелену мен температураға байланысты өзгеріп отырады. Қоршаған ортаның әр түрлі өзгерістеріне (күн сәулесі, температура) қарамастан, тұрақты ток түрлендіргіші негізінде максималды қуат нүктесін үздіксіз бақылау арқылы фотоэлектрлік модульдерден жоғары қуат мөлшерін түрлендіруге болады. Фотоэлектрлік модульдің максималды қуат нүктесінің орналасқан жері белгісіз, бірақ оны іздестіру алгоритмдері және әдістері арқылы анықтауға болады. Бұл әдістер фотоэлектрлік жүйелерді максималды қуат нүктесінде жұмыс жасауларын қамтамасыз ету үшін қолданылады.

3.1.1 Фотоэлектрлік модульдің моделін құрастыру және сипаттамаларын қарастыру

Фотоэлектрлік модульдің моделі бір диодтан құралған күн элементінің моделіне негізделген (сурет 3.1). Мұндағы: G және T – сәйкесінше күн радиация мөлшері мен температурасы, I_{ph} – температура мен күн радиациясының өзгерісіне тәуелді фототүрлендіргіштің тогы, D – күн элементінің p-n өткелін моделдеуші диод, R_{sh} и R_s – құрылғыдағы қуат шығынын моделдеуші сәйкесінше шунттаушы және тізбектей қосылған кедергілерді білдіреді. Күн элементінің I шығыс тогын былай жазуымызға болады:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (3.1)$$

Мұндағы, I_{ph} – фототүрлендіргіш тогы, I_d – диодтағы ток және I_{sh} – шунттаушы кедергі R_{sh} арқылы өткен ток.



Сурет 3.1 – Фотоэлектрлік модульдің моделі

Токтарды төменде келтірілген формулалар бойынша анықтаймыз:

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} \left(I_{ph,ref} + \mu_{Icc} (T - T_{ref}) \right) \quad (3.2)$$

Мұндағы, G және T – сәйкесінше күн радиация мөлшері мен фотоэлемент температурасы, G_{ref} және T_{ref} – қалыпты жағдайда тестілеу кезіндегі күн радиациясы мен фотоэлемент температура мөлшері, олар сәйкесінше 1000 Вт/м^2 және 25°C құрайды, $I_{ph,ref}$ – қалыпты жағдайда тестілеу кезіндегі фотоэлектрлік түрлендіргіш тогы және μ_{Icc} – токтың температуралық коэффициенті.

$$I_d = I_{sat} \left(\exp \left(\frac{U + R_s I}{n U_t} \right) - 1 \right) \quad (3.3)$$

Мұндағы, I_{sat} – диодтың кері қанығу тогы, n – идеал диодтың коэффициенті, U_t – жылулық кернеу.

$$I_{sh} = \frac{U + R_s I}{R_{sh}} \quad (3.4)$$

(3.1) теңдеуді (3.2)-(3.4) теңдеулерін ескере отырып келесідей жазуға болады:

$$I = I_{ph} - I_{sat} \left(\exp \left(\frac{U + R_s I}{n U_t} \right) - 1 \right) - \left(\frac{U + R_s I}{R_{sh}} \right) \quad (3.5)$$

(3.5) теңдеу күн элементі тогының кернеуге I - U тәуелділік сипаттамасын бермейді және сызықты емес теңдеу болып табылады. Коммерциялық фотоэлектрлік модульдер тізбектей қосылған күн элементтерінен тұрады. Кейбір жоғары қуатты түрлендіруші фотоэлектрлік модульдер бірнеше параллель тармақтарды қамтиды. Егер біз әр тармаққа тізбектелген күн элементтерін N_s және фотоэлектрлік модуль үшін N_p тармақтарының жалпы санын қарастыратын болсақ, онда фотоэлектрлік модульді құрайтын күн элементтерінің жалпы саны $N_s * N_p$ болады. Сонымен, (3.5) өрнегін төменде келтірілген теңдеулермен байланыстыра отырып, фотоэлектрлік модульдің I - U сипаттамаларына ұқсас теңдеуді алу үшін ыңғайлы масштабтауға болады

$$I_m = N_p I \quad (3.6)$$

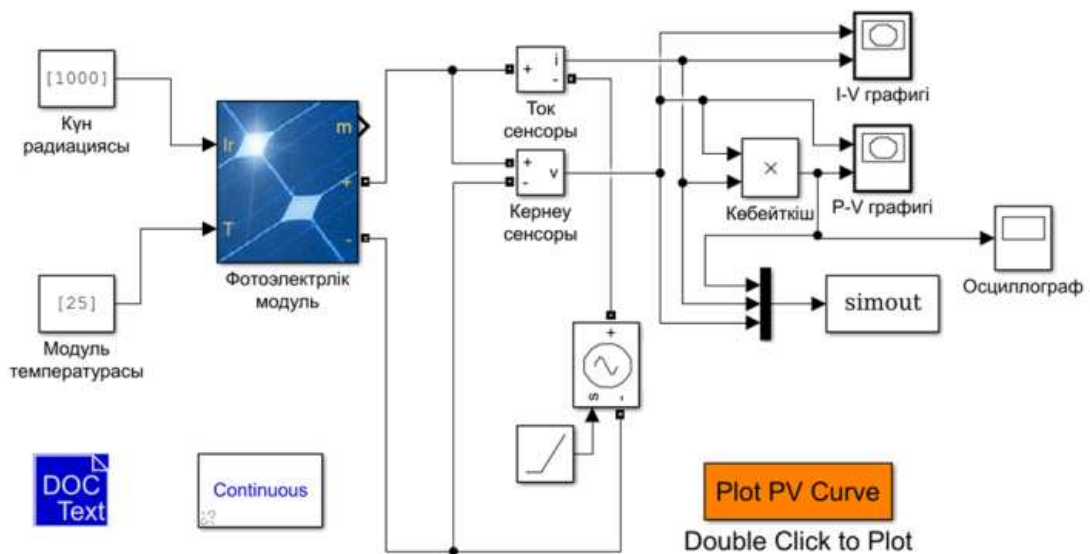
$$V_m = N_s I \quad (3.7)$$

$$R_{sm} = \frac{N_s}{N_p} R_s \quad (3.8)$$

$$R_{shm} = \frac{N_s}{N_p} R_{sh} \quad (3.9)$$

Мұндағы, m индексі бар көрсеткіштер фотоэлектрлік модульге тәуелділікті көрсетеді.

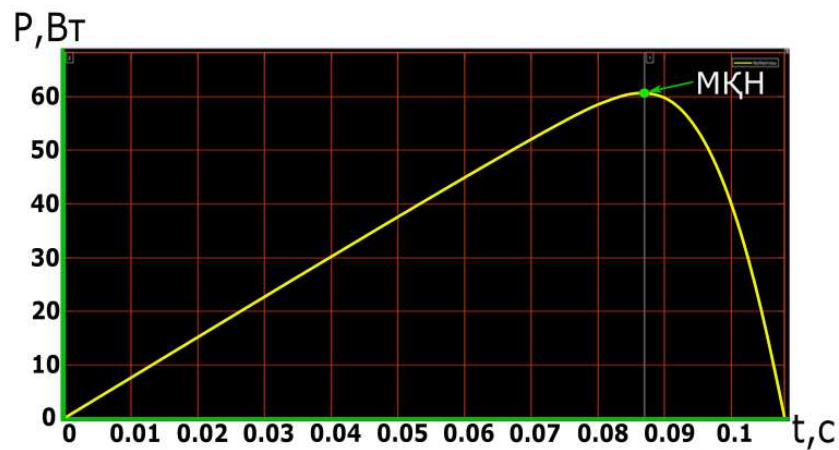
Қолданылатын күн панелінің моделі Matlab Simulink бағдарламасында құрастырылды. Яғни, әр түрлі күн радиациясы және сыртқы температураның өзгерістерінде фотоэлектрлік модульдің түрлендіретін электр энергиясының мөлшері есептеп алынды. Сурет 3.2-де Simulink бағдарламасында фотоэлектрлік модульдің қуатының керенуге (P-U) тәуелділік графигін салуға негізделген электр сұлбасы көрсетілген. Фотоэлектрлік модуль блогына екі түрлі параметрді – күн сәулесі радиациясын және модульдің температурасын еңгізу қажет. Шығысында ток және кернеу сенсорлары орналастырылған. Осы екі сенсордың көбейтіндісінен модульдің өндіретін қуаты шығады. Электр сұлбасын тұйықтау үшін ток және кернеу сенсорларынан кейін жүктеме орнатылған. Фотоэлектрлік панельдің қуатының керенуге тәуелділік графигін соңғы жалғанатын құрылғы – осциллограф көрсетеді. Қуаттың керенуге тәуелділік графигі негізінде фотоэлектрлік модульдің максималды қуат нүктесін анықтап, оның тиімді жұмыс жасауына ықпал жасайды.



Сурет 3.2 – Фотоэлектрлік панельдің жұмыс жасауын сипаттайтын Matlab Simulink бағдарламасындағы моделі

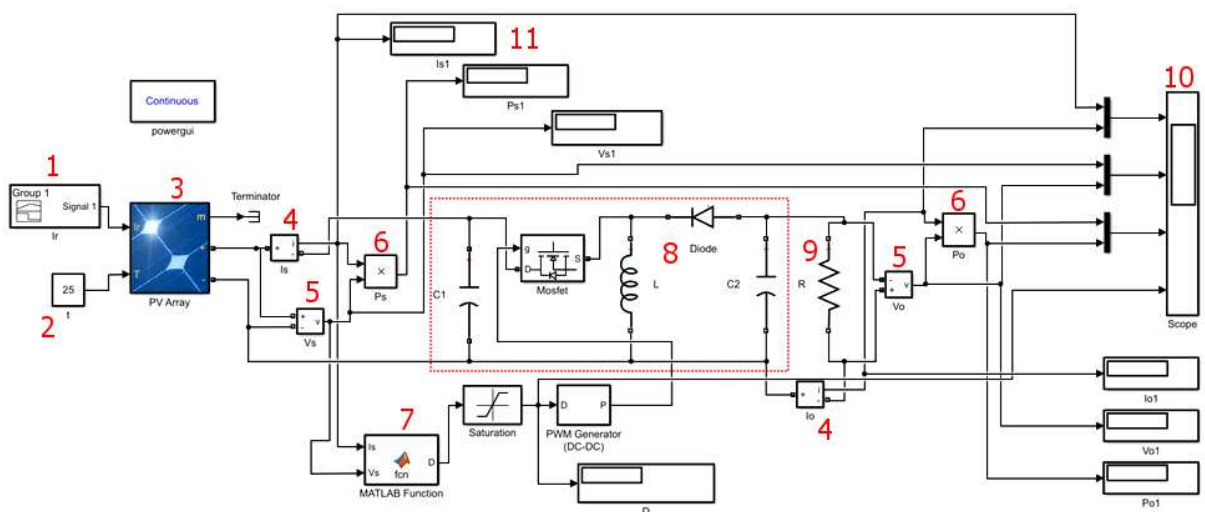
Сурет 3.3-те модельдеу барысында алынған фотоэлектрлік панельдің қуатының керенуге тәуелділік графигі көрсетілген. Мұнда, максималды қуат нүктесі 60 Вт шамасын көрсетіп тұр. Яғни, фотоэлектрлік панельдің Matlab Simulink бағдарламасында жасалған моделінің дұрыстығын көрсетеді.

Келесі кезекте, фотоэлектрлік модульдің жұмыс жасауын максималды қуат нүктесінде басқарып отырушы жүйенің моделі жасалып, сәйкесінше электронды элементтердің параметрлері есептеліп орнатылды. Жүйенің моделі Simulink бағдарламасында құрастырылды.



Сурет 3.3 – Фотоэлектрлік модульдің қуатының кернеуге тәуелділік рафигі

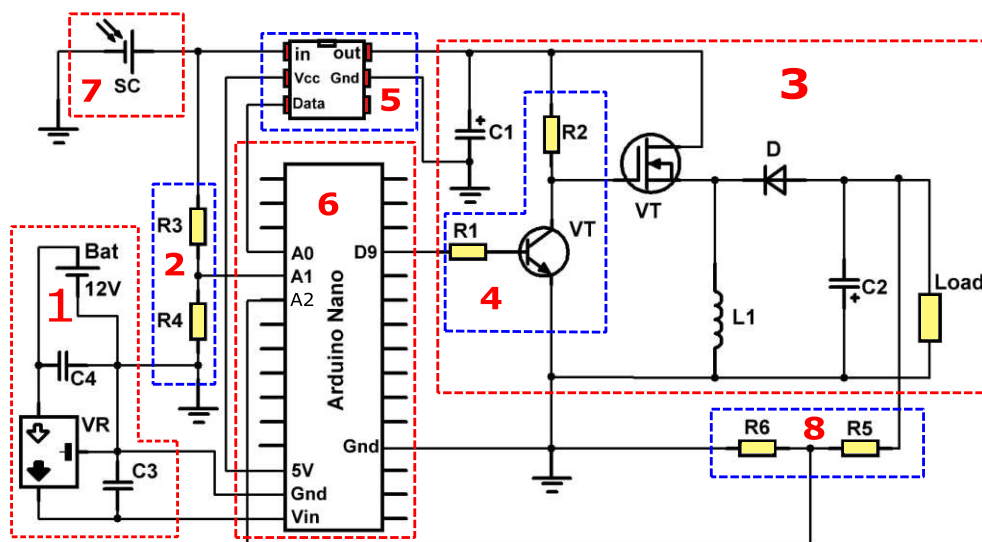
Сурет 3.4-те жүйені құраушы элементтердің өзара байланысы көрсетілген. Мұндағы: 1 және 2 – элементтер фотоэлектрлік модульдің кіріс параметрлері (күн сәулесінің радиациясы және модуль температурасы); 3 – фотоэлектрлік модуль; 4 – тұрақты токты түрлендіруші электр сұлбасының кірісінде және шығысында орналасқан ток сенсоры; 5 – тұрақты токты түрлендіруші электр сұлбасының кірісінде және шығысында орналасқан кернеу сенсоры; 6 – кернеу мен токты көбейту арқылы электр қуатын есептеуші сенсор; 7 – басқарушы контроллер, мұнда жүйені басқаруға арналған ауытқу және бақылау әдісінің алгоритмі орнатылады. Сәйкесінше ток пен кернеу сенсоры фотоэлектрлік модуль шығысындағы ақпаратты контроллерге беру арқылы жүйенің жұмысы реттеліп отырады; 8 – үзілісті, қызыл сызықпен қоршалған тұрақты ток кернеуін кемітіп-арттырушы электр сұлбасының құрылымы; 9 – электр тогын тұтынушы жүктеме резисторы; 10 – максималды қуат нүктесін бақылауды көрсетуші осциллограф; 11 – жүйенің кіріс-шығысында орнатылған сенсорлардың мәндерін көрсетуші индикаторлар.



Сурет 3.4 – Максималды қуат нүктесін бақылаушы жүйенің Matlab Simulink бағдарламасындағы моделі

3.1.2 Максималды қуат нүктесін бақылау жүйесінің жасалу ерекшелігі және құрылымдық сұлбасы

Ауытқу және қадағалау алгоритмі негізінде және кернеуді арттырып-төмендету түрлендіргішпен жұмыс жасайтын МҚНБ контроллерін құрастырамыз. Сурет 3.5-те максималды қуат нүктесін бақылау жүйесінің құрылымдық сұлбасы көрсетілген. Электронды басқару блогы (1) 12 В батареядан (Bat.) және 12 В-тан 5 В-қа дейін кернеуді төмендетуге арналған LM7805 кернеу тұрақтандырғышынан құралған. Arduino nano модулі (6) кернеу тұрақтандырғышы арқылы қорек көзіне қосылады. Вольтметр ретінде біз R3, R4 (2) және R5, R6 (8) резисторларынан құралған 2 кернеу бөлгішін алдық. Кернеу бөлгіштер 20 В шамасына дейін есептей алады. Электр тізбегінің оң жағында кернеуді арттырып-төмендетуші (buck-boost) түрлендіргіші (3), сондай-ақ MOSFET транзисторын басқаруға арналған драйвер (4) орналасқан. Индуктор катушкасы және қуатты MOSFET транзисторы максималды қуат нүктесін бақылайтын (МҚНБ) контроллер тізбегіндегі ең маңызды құрамдас бөліктері болып табылады [112].



Сурет 3.5 – МҚНБ жүйесінің электронды құраушыларының сұлбасы

Арттырып-төмендету түрлендіргіші SAKO POLY-60W фотоэлектрлік панелі үшін құрастырылған. Түрлендіргіштің құрамдас бөліктерін есептеп алу үшін күн панелінің стандартты тестілеу жағдайындағы (STC) сипаттамалары алынған. Күн панелінің шығыс сипаттамалары кесте 3.1-де көрсетілген.

Arduino Nano модулі MOSFET транзисторына тікелей қосылғанымен, одан шығатын электр сигналдары транзистордың бекітпесін басқаруға шамасы жетпейді. Сондықтан MOSFET транзисторын басқару драйвері ретінде біз n-p-n қуатты биполярлы транзисторын ортақ эмиттерлі байланысымен орнаттық.

Түрлендіргіште болатын энергия шығындары ескерілмей, контроллердің кіріс және шығыс қуаттары тең $P_{\text{ш}}=P_{\text{кп}}$ деп қарастырылды. Контроллер шығысына қосылатын аккумулятордың кедергісін R анықтау үшін мына өрнекті қолдана аламыз:

$$R = \frac{\Delta U}{I} \quad (3.10)$$

Мұндағы, $\Delta U = U_{БЖ} - U$ жүктемедегі кернеу түсуі; $U_{БЖ}$ – бос жүріс керенуі; U – тізбек тұйықталғандағы қорек көзіндегі кернеу; I – жүктеме тұтынатын ток. Контроллердің шығысындағы кернеудің мәні $U_{Ш}$ мен түрлендіргіштегі транзистор каналының ашылып/жабылуын басқарушы толтыру коэффициентін D төмендегі өрнектермен анықтау қажет:

$$U_{Ш} = \sqrt{P_{Ш}R} = \sqrt{U_{КП}I_{КП}R} \quad (3.11)$$

$$D = \frac{U_{Ш}}{U_{КП} + U_{Ш}} \quad (3.12)$$

Күн панелі шығысының сипаттамалары қоршаған ортадағы радиация мөлшеріне тәуелді периодты түрде өзгеріп отырады. Сәйкесінше, МҚНБ контроллер де үздіксіз жұмыс режимінде болдаы. Транзистор каналының ашылып/жабылу жиілігі $f=20$ кГц шамасына тең. Түрлендіргіште орнатылатын минималды индуктивтік шамасы төмендегі формуламен анықталады:

$$L_{мин} = \frac{R(1-D)^2}{2f} \quad (3.13)$$

Мұндағы, $L_{мин}$ – қажетті индуктивтілік шамасының минималды мәні; f – транзистордың ашылып/жабылу жиілігі; R – жүктеме кедергісінің шамасы. Индуктивті катушкада ток үздіксіз болуы үшін оның индуктивтілігінің шамасын 25 пайызға арттыру қажет, яғни $L = 1.25L_{мин}$.

Кетсе 3.1 – SAKO POLY-60W ($G=1000$ W/m², $T=25^{\circ}C$) күн панелінің шығыс сипаттамалары

Сипаттамалары	Белгіленуі	Шамасы
Максималды шығыс қуаты	$P_{МҚН}$	60 Вт
Макималды қуат шамасындағы кернеу	$U_{МҚН}$	18.2 В
Максималды қуат шамасындағы ток	$I_{МҚН}$	3.33 А
Бос жүріс кернеуі	$U_{БЖ}$	22.7 В
Қысқа тұйықталудағы ток	$I_{КТ}$	3.66 А
Күн панелі ПӘК-і	η	16.6%
Ауа массасының коэффициенті	A	1.5

Түрлендіргіштің шығыс жағында орналасқан конденсатордың сыйымдылығы шығыс кернеуінің 1 пайыз мөлшеріндегі тербелісіне ($\Delta U_{Ш}$) есептеліп алынады.

$$C = \frac{U_{Ш}D}{Rf\Delta U_{Ш}} \quad (3.14)$$

Күн панелінің шығысындағы электр кернеуінің шамасы кернеу бөлгіш өрнегі бойынша есептелінеді:

$$U_{\text{Ш}} = U_{\text{КП}} \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (3.15)$$

Түрлендіргіштің шығыс кернеуінің мәні кілт ретінде орнатылған транзистордың қосылу ұзақтығына байланысты өзгеруі мүмкін. Егер сигнал ұзақтығы $D > 0,5$ болса, түрлендіргіш шығысындағы кернеудің мәні кірісіндегі мәннен үлкен; ал егер $D < 0,5$ болса, онда түрлендіргіш шығысындағы кернеу кірістен аз болады. Транзистор жабық күйде болған кезде энергия индуктивті катушкада сақталады және ашық күйге ауысқанда энергия жүктемеге беріледі. Сондықтан арттырып-төмендететін түрлендіргіш жанама түрлендіргіш деп те аталады.

Arduino Nano модулінің шығысындағы транзисторды басқаруға арналған сигнал жиілігі 20 кГц тең. Сондай-ақ, жүйе шапшаң жұмыс жасайтын және тез қалпына келетін диодты қамтиды. Зарядты басқару жүйесі қуаттылығы 100 Вт-қа дейінгі фотоэлектрлік модульдер үшін есептелген. Максималды қуат нүктесін бақылаушы контроллер үшін максималды кіріс тогы 5 А құрайды.

Кесте 3.2-де арттырып-төмендетуші түрлендіргішті құраушы электронды элементтердің сандық шамалары келтірілген.

Кесте 3.2 – Түрлендіргіш элементтері

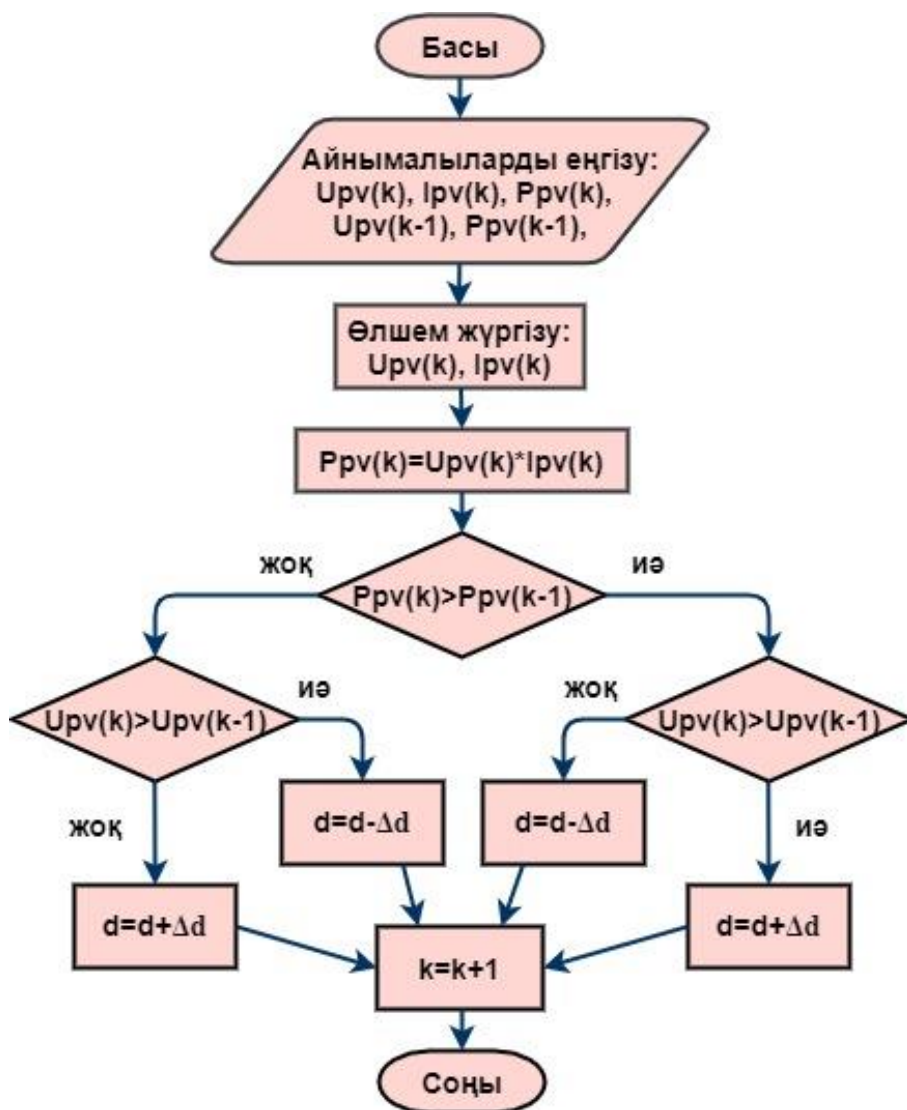
Сипаттамасы	Белгіленуі	Шамасы
Кіріс кернеуі	$U_{\text{КП}}$	18,2 В
Шығыс тогы	$I_{\text{КП}}$	3,33 А
Шығыс кернеуі	$U_{\text{О}}$	13 В
Толтыру коэффициенті	D	0,4
Жүктеме кедергісі	R	1 Ом
Индуктивті катушка	L	15 мкГн
Конденсатор	C	150 мкФ
Ашу/жабу жиілігі	F	20 кГц

3.1.3 Ауытқу және қадағалау әдісіне негізделген МҚНБ жүйесінің жұмыс жасау алгоритмі және оның моделі

МҚНБ жүйесі үшін барлық қолданыстағы алгоритмдердің ішінен ауытқу және қадағалау әдісі қарапайым және нақты жағдайда қолданылады. Бұл әдісте негізгі кернеу шамасына белгілі бір мән қосылады немесе одан азайтылады. Нәтижесі тіркеліп, соңғы алынған мәнімен салыстырылады. Осылайша жүйе оңтайлы кернеу шамасына көшеді.

Сурет 3.6-да ауытқу және қадағалау әдісінің алгоритмі көрсетілген. Алгоритм жұмысының басында жүйе күн батареясының шығыс тогын $I_{pv}(k)$ және шығыс кернеуін $U_{pv}(k)$ өлшейді. Әрі қарай, алынған ток пен кернеуді бір-біріне көбейте отырып күн батареясының максималды қуатын $P_{pv}(k)$ алады және көбейтінді нәтижесін ақпарат алмасу буферінде сақтайды. МҚНБ жүйесі алынған қуатты одан бұрын өлшеніп, циклде сақталған қуатпен $P_{pv}(k-1)$

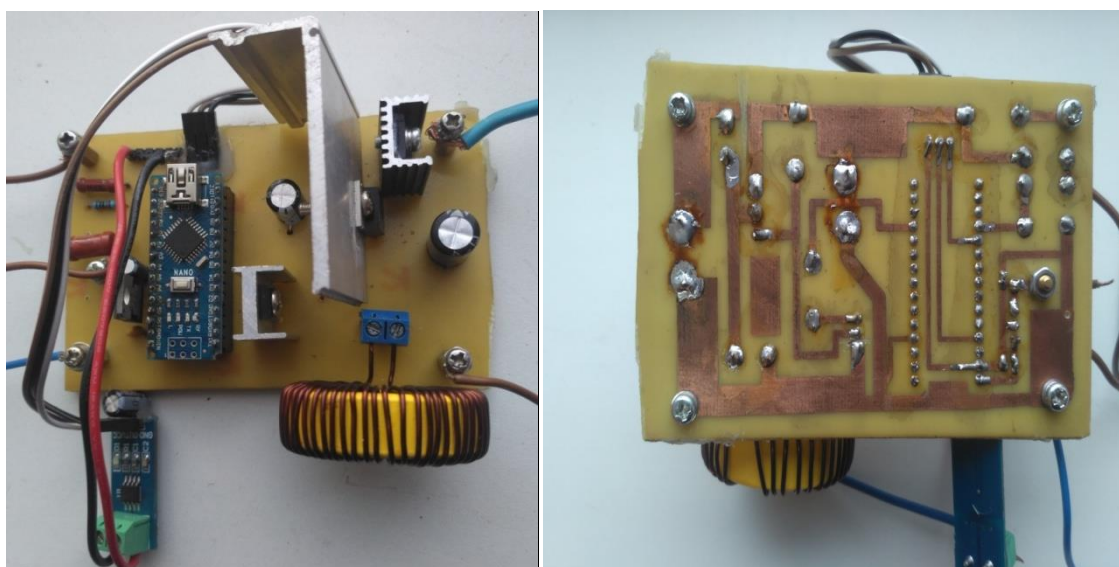
салыстырады. Егер соңғы жұмыс циклінің қуаты алдыңғысына қарағанда үлкен болса, онда контроллер ағымдағы циклдің кернеуін $U_{pv}(k)$ өткен жұмыс циклінде сақталған $U_{pv}(k-1)$ кернеуімен салыстырады. Егер ағымдағы жұмыс кернеуінің шамасы алдыңғы сақталған мәнімен салыстырғанда артық болса, онда транзистор каналын ашып-жабудағы импульстік сигналдың ұзақтығы (duty cycle) артады. Ал ағымдағы жұмыс кернеуі алмасу буферінде сақталған мәннен аз болса, транзистор каналын ашып-жабудағы сигнал ұзақтығы кемиді. Ағымдағы жұмыс циклінің қуаты алмасу буферінде сақталған мәннен аз болса, онда контроллер ағымдағы жұмыс циклінің кернеуін алмасу буферінде сақталған мәндермен салыстырады. Егер ағымдағы көрсеткіш алмасу буферінде сақталғаннан аз болса – сигнал ұзақтығы артады, ал егер керісінше болса – кемиді. Әрі қарай, контроллер алмасу буферінде осы циклдің кернеуін, тогын және қуатын сақтай отырып, келесі жұмыс цикліне өтеді. Нәтижесінде, жұмыс циклі күн батареясының максималды қуат нүктесі анықталғанға дейін үздіксіз қайталанады [112].



Сурет 3.6 – Ауытқу және қадағалау әдісінің алгоритмі

3.1.4 Тәжірибе нәтижесі және талқылаулар

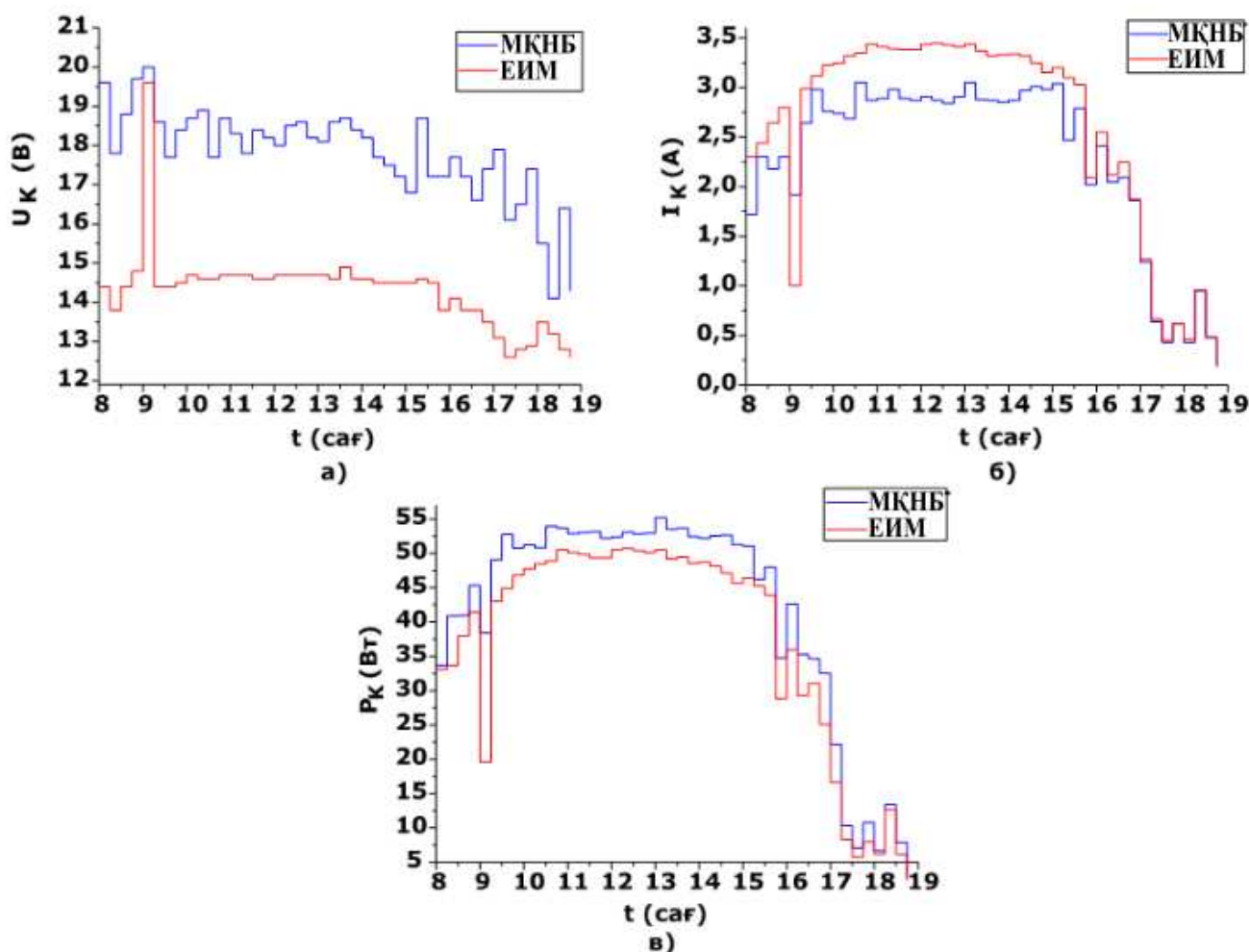
Тәжірибенің мақсаты автономды фотоэлектрлік жүйелердің тиімділігін арттыру болып табылады. Жүйенің құрылымы екі осты трекерден, күн батареясының максималды қуат нүктесін бақылай (МҚНБ) отырып энергияны түрлендіруші контроллерден, ендік-импульстік модуляция (ЕИМ) негізінде жұмыс жасайтын контроллерден, энергия жинақтаушы аккумулятордан және ток пен кернеуді өлшейтін сенсорлардан тұрады. Тәжірибе барысында екі осты трекердің шығысындағы энергияны аккумуляторға түрлендіретін контроллерлер (МҚНБ және ЕИМ контроллерлері) өзара салыстырылып нәтижесінде оңтайлы жұмыс жасайтыны анықталды. Зерттеу жұмысында ауытқу және бақылау алгоритмі бойынша жұмыс жасайтын максималды қуат нүктесін қадағалайтын контроллер (сурет 3.7) және қарапайым, жалпыға ортақ қолданыстағы ендік-импульстік модуляциялы контроллер алынды [112].



Сурет 3.7 – Ауытқу және қадағалау алгоритміне негізделген МҚНБ жүйесі

Сурет 3.8-де күн батареяларына қосылған максималды қуат нүктесін бақылайтын контроллер мен ендік-импульсті модуляция контроллері кірісіндегі электрлік сипаттамаларының салыстырмалы мәндері көрсетілген. Сурет 3.8 а-да екі контроллер кірістеріне келетін, фотоэлектрлік модуль өндіретін кернеу мәндері көрсетілген. Графиктен байқап отырғандай МҚНБ (MPPT) контроллердің кірісіндегі кернеу ЕИМ (PWM) контроллері кірісіндегі кернеуден орташа есеппен 4 В шамасына көп. Сурет 3.8 б-да алдыңғы графиктегідей контроллер кірісіндегі уақыт бойынша токтардың өзгеріс мәндері салыстырылған. Мұндағы токтар кернеу шамасына қарағанда қарама-қарсы өзгеріп жатыр, яғни ЕИМ контроллері кірісінде токтың шамасы МҚНБ жүйесінің кірісіне қарағанда көбірек болып тұр. Егер өлшеніп алынған кіріс тогы мен кернеуін көбейтіп, нәтижесінде қуат мәндерін алып салыстыратын болсақ (сурет 3.8 в), онда МҚНБ контроллердің кірісіндегі электр қуаты ЕИМ контроллері кірісіндегі қуатынан алдеқайда жоғары болатыны байқалады.

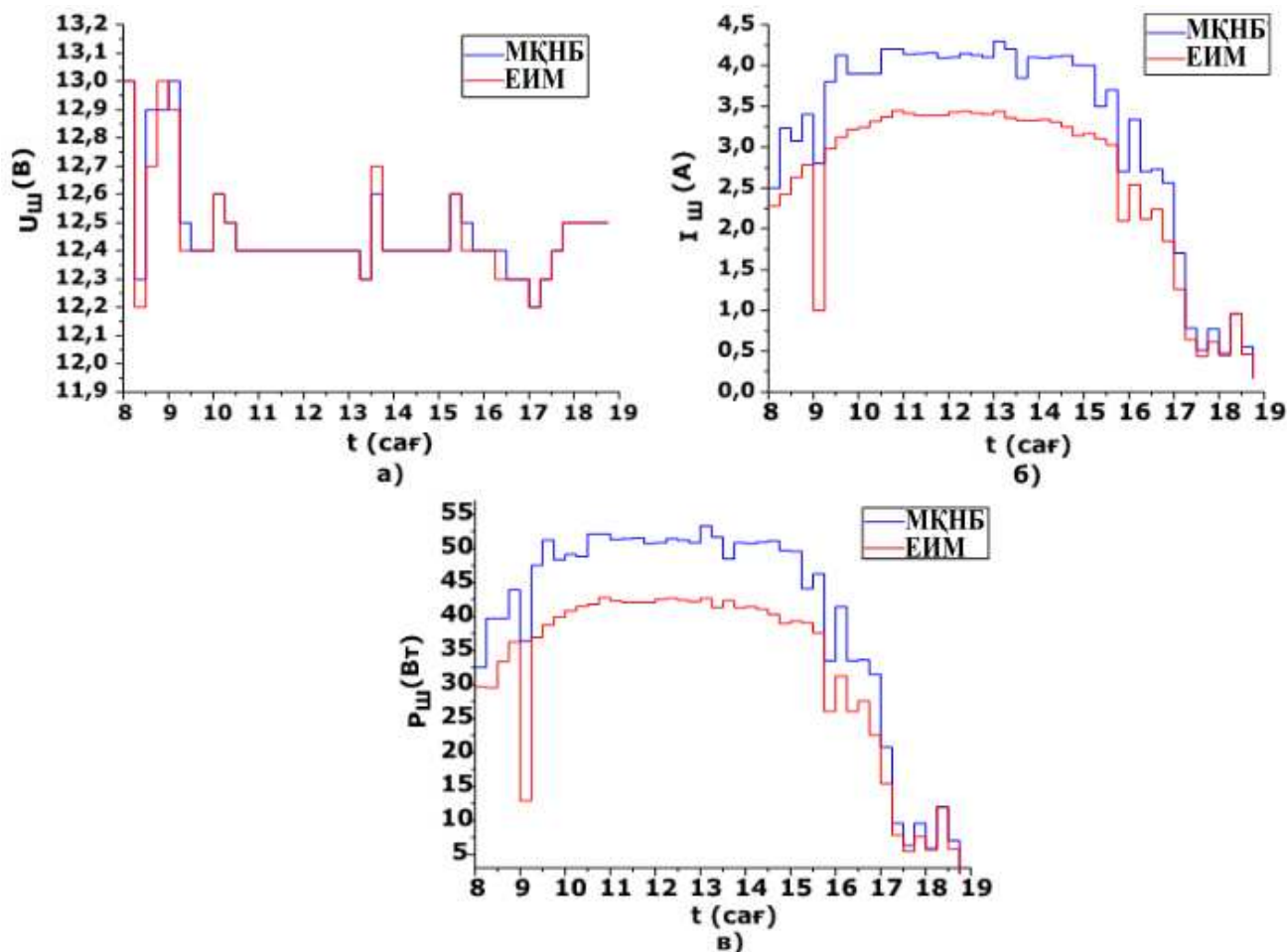
Сонда, жасалған МҚНБ контроллері күн панелінің максималды қуат нүктесінде жұмыс жасайтындығы айқын көрінеді [112].



Сурет 3.8 – МҚНБ және ЕИМ контроллерлерінің кіріс электрлік сипаттамалары: а) контроллер кірісіндегі кернеу мөлшері, б) контроллер кірісіндегі ток мөлшері, в) контроллер кірісіндегі қуат көрсеткіші

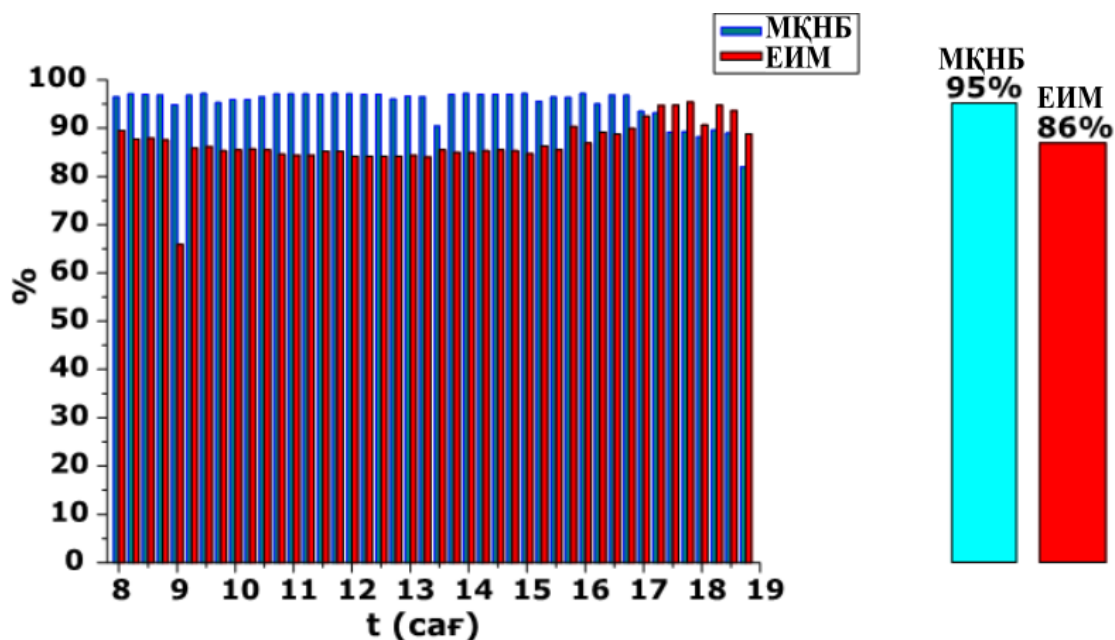
Бірақ, контроллердің оңтайлы жұмыс жасауын кірісіндегі электрлік шамаларына қарап нақты айту мүмкін емес. Сондықтан, контроллердің шығыс электрлік сипаттамаларын да қарастыру қажет. Сурет 3.9-да МҚНБ және ЕИМ контроллерлерінің шығыс электрлік сипаттамаларының графиктері көрсетілген. Сурет 3.9 а-да екі контроллердің шығыс кернеуінің мәндері көрсетілген. Графиктен көрініп тұрғандай МҚНБ және ЕИМ контроллерлерінің шығыс кернеулерінің мәні бірдей шамада, өйткені орантылған аккумулятордың жүктеме кедергісінің шамасы бірдей болады. Сонымен қатар, аккумулятордың жүктемелік кедергісі электр зарядының мөлшеріне байланысты өзгеріп тұрады. Сурет 3.9 б-да контроллерлердің шығысындағы ток мөлшерінің графиктері көрсетілген. МҚНБ контроллерінің шығысындағы токтың мөлшері ЕИМ контроллері шығысындағы токтың шамасынан әлдеқайда көп. Нәтижесінде, шығыс тогы мен кернеулерін көбейту арқылы электр қуатының мөлшері

табылады (сурет 3.9 в-да көрсетілген). Графиктен көрініп тұрғандай МҚНБ контроллерінің шығыс қуаты ЕИМ контроллеріне қарағанда алдеқайда көп. Сондықтан, сурет 3.8 және 3.9-да келтірілген мәліметтерді ескере отырып құрастырылған максималды қуат нүктесін бақылау контроллері оңтайлы жұмыс жасайтындығы анықталды [112].



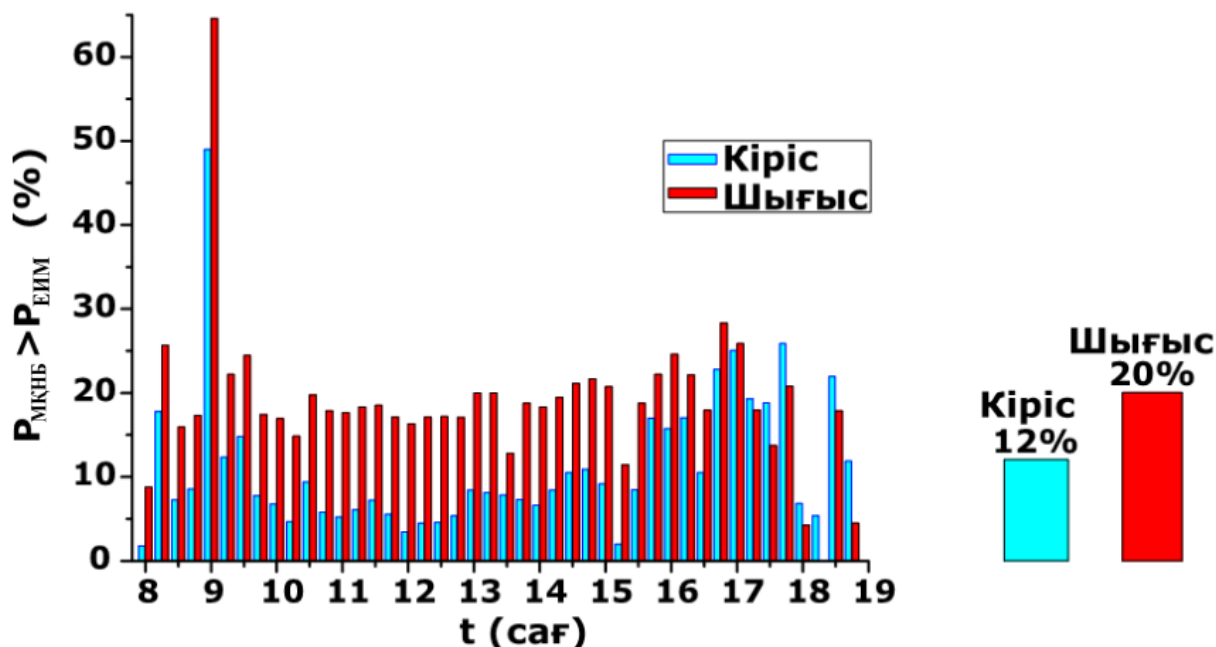
3.9 – сурет. МҚНБ және ЕИМ контроллерлерінің шығыс электрлік сипаттамалары: а) контроллер шығысындағы кернеу мөлшері, б) контроллер шығысындағы ток мөлшері, в) контроллер шығысындағы қуат көрсеткіші

Ендігі кезекте, контроллердің жұмыс жасауына кететін энергия шығыны мөлшерін анықтау қажет. Ол үшін контроллер кірісіндегі электр шамаларының өзгерісінің қосындысын, контроллер шығысындағы электр шамасының қосындысының мөлшерімен салыстыру қажет. Сурет 3.10-да МҚНБ және ЕИМ контроллерлерінің кірісіндегі энергияларын шығысына тиімді түрлендіріп берулерінің пайыздық шамасы келтірілген. Нәтижесінде, жасалынған МҚНБ контроллерінің орташа тиімділігі 95% құраса, ЕИМ контроллерінің орташа тиімді жұмыс жасауы 86% құрады.



Сурет 3.10 – Контроллердің жұмыс жасау тиімділіктері

МҚНБ және ЕИМ контроллерлерінің кірісіндегі және шығысындағы электр қуаты шамаларының көрсеткіштері өзара салыстырылып, олардың тиімділігі пайызбен анықталды (сурет-3.11). Нәтижесінде, МҚНБ контроллер кірісіндегі электр қуатының шамасы ЕИМ контроллеріне қарағанда орташа есеппен 12%, ал шығыс қуатының тиімділігі орташа есеппен 20% жоғары екені анықталды [112].



Сурет 3.11 – МҚНБ және ЕИМ контроллер кіріс және шығысындағы энергия түрлендірулерінің салыстырмалы тиімділіктері

3.2 Фотоэлектрлік жүйелерді қашықтықтан сымсыз бақылауды және басқаруды тиімді жүзеге асыру

Күн трекерлері болашақта жаппай қолданысқа ие болатын, экологиялық таза, фотоэлектрлік станциялардың экономикалық тиімділігін арттыратын электр қуатын өндіруші энергетика желісінің бірі болып табылады. Сондықтан, бұндай жүйелерді қашықтықтан басқару арқылы жүйенің түрлендіретін энергия мөлшерін үздіксіз бақылап, күннің қозғалысын бақылауда орын алған кемшіліктерді уақытылы түзетіп отыру мүмкін болады. Қашықтықтан бақылау жүйесін ұйымдастыруда қарапайым сымды байланыс желісін қолдану ақпарат тасымалдаудың тиімділігін арттырады, бірақ бірнеше кемшіліктерге де ие. Байланыс желісін қамтамасыз ету үшін сымдарды жер асты немесе жер үсті жолымен орналасытқанда экономикалық шығындарды арттырады және айналадағы қозғалыстарға кедергі келтіреді. Сонымен қатар, әр түрлі ауа-райы жағдайлары жүйеде қолданылатын материалдардың төзімділігін төмендетеді. Осындай қолайсыз мәселелерді түзету үшін қазіргі таңда сымсыз байланыс желісін қолдануда. Сымсыз байланыс арқылы қашықтықтан басқару жүйесі бірнеше құрылғылардың бір жүйеге бірігіп жұмыс жасауын қамтамасыз етеді.

Бақылау жұмыстарының ақпараттық мәліметтерін көрстеуші интерфеистік бағдарлама ретінде LabView виртуалды бағдарламасы таңдалып алынды. Ұсынылған бақылау әдісі – фотоэлектрлік жүйелердің жұмысын талдау үшін жүйенің мәліметтер базасын дайындау арқылы жылдам, қауіпсіз және сенімді жүйені қамтамасыз етуді жүзеге асырады. Тәжірибе барысында алынған мәндер мен модельдеу нәтижелері арасында ұқсастық жақсы келісімді көрсетеді [106, 107].

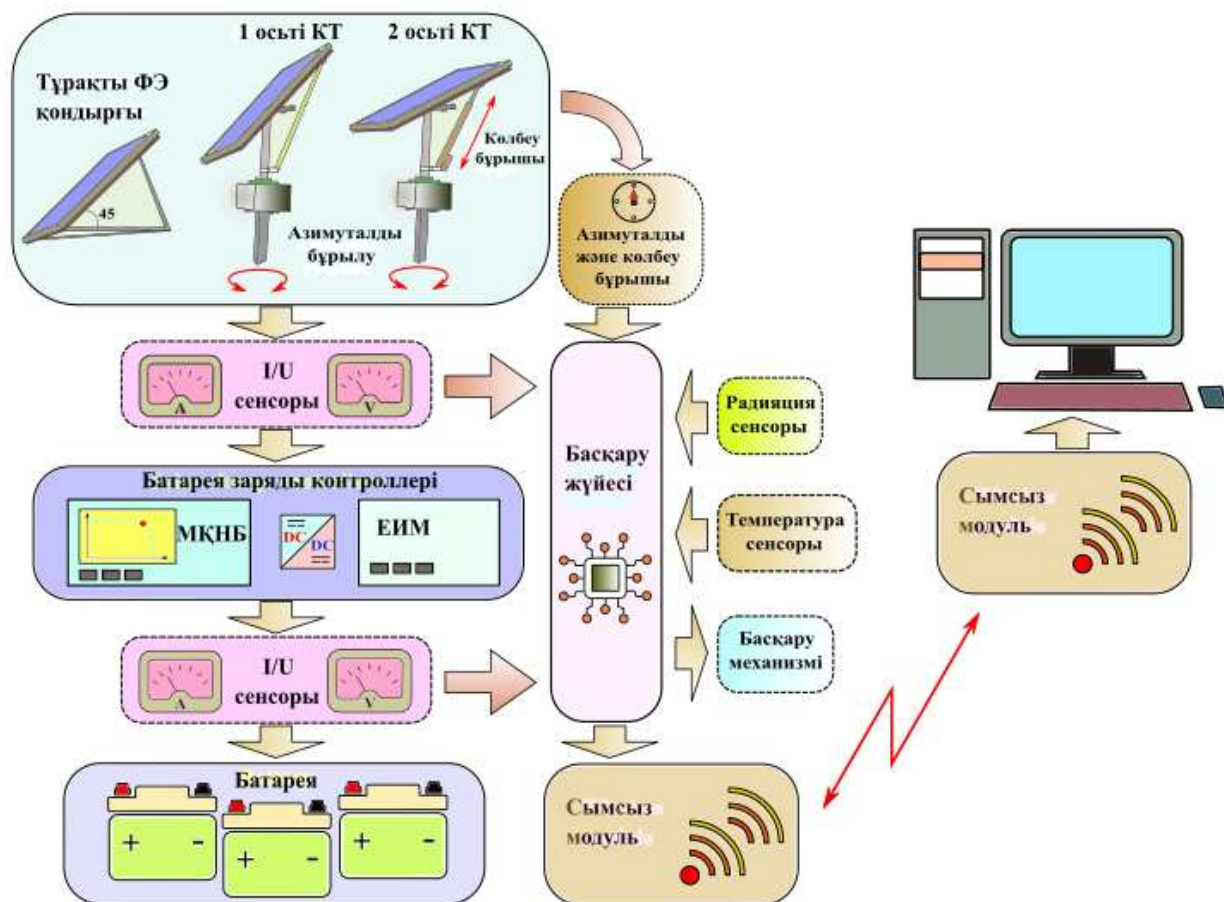
3.2.1 Жүйенің жасалу құрылымы және атқаратын қызметі

Зерттеу жұмысында мониторинг жүйесі күнді бақылаушы фотоэлектрлік станциялардағы процестерді қашықтықтан қадағалау үшін және қателіктер орын алғанда дер кезінде түзетулер енгізіп отыру үшін қолданылды. Сурет 3.12-де мониторинг жүйесінің жалпы жұмыс жасау құрылымы көрсетілген [106, 91 б.].

Қашықтықтан бақылау жүйесінің құрылымын 4 негізгі топқа бөліп қарастыруға болады. Олар: ақпарат жинақтау және энергия түрлендіруші бөлігі; ақпаратты өңдеу және сыртқы жүйені басқарушы; ақпаратты тараттып-қабылдаушылар және төртіншісі ақпаратты көрсетіп, жалпы жүйенің жұмысын басқарушы.

Бірінші топта (сурет 3.13) бізде күн трекері мен фотоэлектрлік модульдің шығысындағы электрлік сипаттамаларды жинақтаушы сенсорлар, яғни, кернеу және ток сенсоры (9), күн батареясы бетіне түсіп жатқан күн сәулесі радиациясының мөлшерін есептеуші сенсор (2), фотоэлектрлік модульдің азимуттық және көлбеулік бұрыштарын анықтайтын сенсорлар (3), жүйенің жұмыс жасап жатқан мерзімнің нақты уақытын көрсетуші сенсоры (10) және күн батареясының температурасын анықтаушы (8) сенсорлар орналасқан. Токты өлшеудің қарапайым әдістерінің бірі – төмен кедергісі бар резисторды

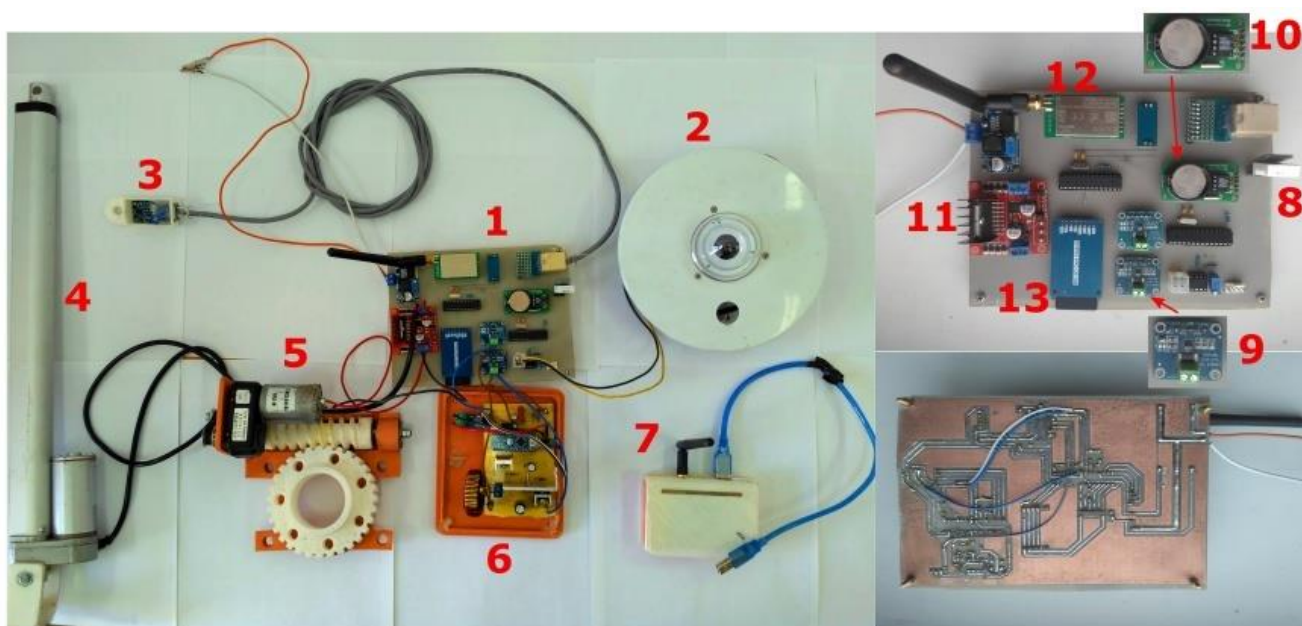
қолдану және жүктеме мен жалпы сым арасындағы шунтта кернеудің төмендеуі токқа тура пропорционалды өзгеріп отырады. Зерттеу жұмысында ток сеносры ретінде CJMCU-219 модулі пайдаланылды.



Сурет 3.12 – Қашықтықтан бақылау жүйесінің құрылымы [106, 91 б.]

INA219 сенсоры – бұл кернеу, ток және электр қуатын есептейтін құрылғы. Сенсор 0 мен 26 вольт диапазонындағы кернеуді және ток күшін жоғары дәлдікпен өлшеуге мүмкіндік береді. Микроконтроллерге қосылу I2C протоколы арқылы жүзеге асырылады. Микросхеманың жұмыс істеуі үшін кішкене орамдық байламдар қажет және оның негізгі компоненті – тұйықтау резисторы болып табылады. CJMCU-219 модулін осындай микросхемалармен қолдану ыңғайлы болып табылады. Сонымен қатар, CJMCU-219 модулі барлық қажетті байланыстырушы компоненттерден тұрады: 0.1 Вт қуаты 2 Ом тұйықтаушы резистор, I2C сызықтары үшін сақтандыру резисторлары және блоктау сыйымдылығы. Модуль тақтасында INA219 микрхемасының I2C мекен-жайын өзгертуге мүмкіндік беретін қосқыштар бар. Бұл бірнеше модульдерді пайдалану кезінде қолдануға мүмкіндік береді. CJMCU-219 микроконтроллерге оңай қосылады. CJMCU-219 модулінің техникалық сипаттамаларына мыналар жатады: қорек кернеуін тұтыну шамасы 3-5.5 вольт аралығында, токтың тұтыну мөлшері 1 мА-ден аспайды, кернеуді өлшеу диапазоны 0-26 вольт аралығында, максималды өлшейтін ток күші 3.2 А,

аналогты сандық түрлендіргішінің (АСТ) разрядтылығы 12 бит, өлшеу қателігінің максималды көрсеткіші 1%, жұмыс жасау температурасы -25 тен 85 градус целси, ақпараттарды сүзгілеу шамасы орташа есеппен 128 мәнді құрайды. INA219 тұйықтау кедергісінде белгілі номиналмен кернеу түсуін өлшеу арқылы ток күшін есептейді. Ол үшін 12 биттік АСТ қолданылады, онымен өлшенетін кернеулер диапазоны ± 40 мВ құрайды. Бұл диапазонды кернеуді 2, 4 және 8-ге бөлу арқылы көбейтуге болады және тұйықтау кедергісіндегі кернеуді сәйкесінше ± 80 , ± 160 және ± 320 мВ диапазонында өлшеуге мүмкіндік береді. Өлшеу кезінде жиі кездесетін мәселелердің бірі – бұл электрлік шуылдар. Олардың әсерін азайту үшін INA219-да сигма-дельта аналогты сандық түрлендіргіш қолданылды. Сенсор кірісіндегі кернеудің шамасын есептеу үшін кернеу бөлгіш сұлбасын қолданады. Күн радиациясын есептейтін құрылғы ретінде BGT-TBQ модельді сеноры таңдалып алынды. Құрылғының күн сәулесі радиациясын өлшеу мөлшері 0 ден 2000 Вт/м^2 – қа дейін. Күн панелінің азимуталды бұрылу және көлденең бұырыштарын есептеу үшін сәйкесінше зерттеу жұмысында жасалған энкодер және GY-521 гироскопы қолданылды. Сонымен қатар, жүйенің нақты жұмыс жасау уақытын көрсету үшін DS1302 сенсоры таңдалып алынды.



Сурет 3.13 – Күнді бақылау жүйесінің электронды басқару құраушылары:
 1-басқару блогы, 2-күн радиациясы сенсоры, 3-енкею бұрышын анықтаушы сенсор, 4-актуатор, 5-азимут бойынша бұрушы қозғалтқыш механизм, 6-МҚНБ контроллер, 7-ақпарат қабылдаушы модуль, 8-температура сенсоры, 9-ток және кернеу сенсоры, 10-нақты уақыт сенсоры, 11-қозғалтқыштар драйвері, 12-ақпарат таратушы модуль, 13-ақпарат сақтау жады

Ақпаратты өңдеу бөлігінде алгоритм бағдарламасы жазылатын atmega328 микроконтроллері орнатылған. Микроконтроллер шапшаң әрі тиімді жұмыс

жасай отырып, қорек көзін үнемді жұмсайды. Барлық орнатылған сенсорлардан келетін ақпараттар осы микроконтроллерде өңделіп, ары қарай мониторингтік орталыққа сымсыз байланыс арқылы беріледі.

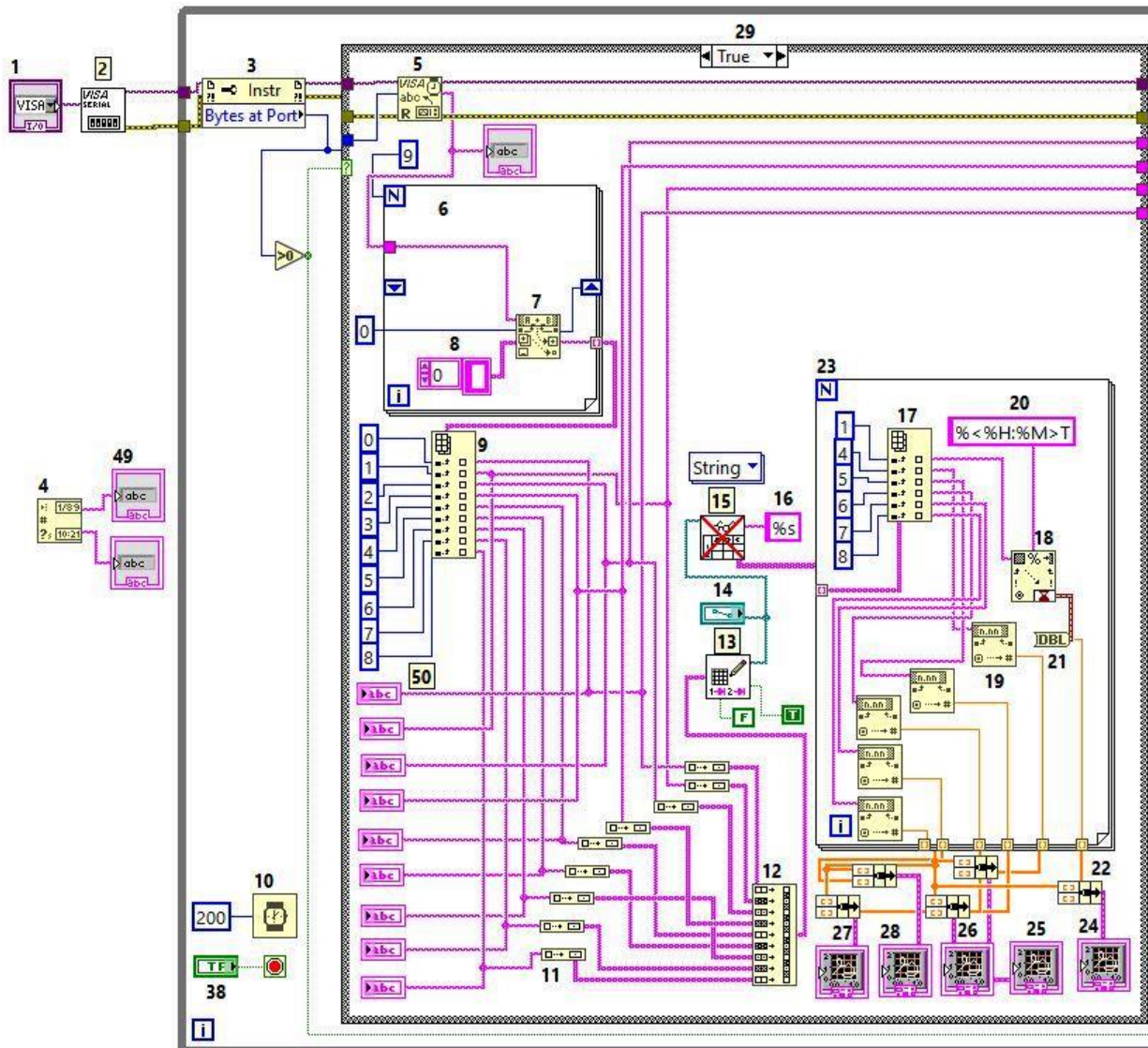
Қашықтықтан бақылау жүйесі сымсыз байланыс арқылы ұйымдастырылды. Бұл ақпарат тасымалдаудың тиімділігін арттыруға және нақты уақыт мезетінде қателіктерді түзетіп отруға ең тиімді жолы болып табылады. Ақпаратты таратып-қабылдаушы сымсыз байланыс модулі ретінде – LoRa технологиясы алынды. Өйткені, сымсыз байланыс желілерін құрастырудағы басты назар аударатын мәселелерге – ақпараттың алыс қашықтықтарға таралуы, ақпарат таратқыштың қуаты және ақпарат қабылдағыштың сезімталдығы, қолданылатын антеннаның күшейту коэффициенті, шуыл деңгейлеріне төзімділік, қоршаған орта жағдайларының және басқа да факторлардың әсеріне төзімділігі. LoRa (Long Range) - бұл кең жолақты сызықты жиілік модуляциялық импульстарымен кодталған мәліметтер спектрін кеңейту техникасына негізделген модуляция әдісі. LoRa құрылғылары жоғары шуылға қарсы төзімділікке ие: сигналдарды демодуляциялаудағы деңгейі шу деңгейінен төмен шамада, яғни 20 дБ-ге дейін болуы мүмкін. LoRa технологиясының байланыс топологиясын – «нүкте-нүкте» және «жұлдыз» бойынша құрастыруға болады. Бұл жұмыста «нүкте-нүкте» байланыс топологиясы қолданылады. Яғни, байланыс тек екі LoRa модулі арасында орындалады.

LoRa сымсыз байланыс модулі 5dBi антеннасымен идеалды сынақ кезінде 8000 метрге дейін сигнал тарату/қабылдауды жүзеге асырады. Ақпарат таратуының максималды қуаты 1 Вт және бұны бағдарламалық деңгейде реттеуге болады. Ақпаратты тарату жылдамдығы 0,3 кбит/с-тен 19,2 кбит/с аралығында. Қорек кернеуінің мөлшері 3,3-5,2 вольт шамасында және энергияны үнемді пайдаланады. Жұмыс жасау температурасы -40-тан +85 градус целси аралығында болады. Ақпаратты буферде сақтау жады 512 байтты құрайды [106].

3.2.2 Мониторинг жүйесінің интерфейстік бағдарламасын құрастыру

Мониторинг жүйесінің интерфейсі және процестерді автоматты басқарып отырушы виртуалды графикалық LabView бағдарламасында жасалды. LabView бағдарламасы арқылы алынған сигналдарды автоматты түрде қабылдауға, тексеруге, көптеген өлшемдерді жүргізуге және кері байланыс орнатуға болады. Бағдарлама белгілі уақыт мезетінде әртүрлі өлшем жүргізу сенсорларынан алынған ақпараттарды бірнеше параллель циклдарды орналастыру арқылы есептеу жүргізе алады. Сонымен қатар, бағдарламада құрастырылған монитордағы интерфейсден кез-келген бақылаушы түсінетіндей, қарапайым екі өлшемді әртүрлі графиктердің бейнесін визуализациялауға болады. LabView бағдарламасы Ethernet, RS-232, USB, EtherCAT, CAN, RS-485, RS-422, LIN, 1553, ARINC, GPIB және т.б. байланыс каналдарымен оңай жұмыс жасайды [106].

LabView 18.0 бағдарламасында жасалған мониторинг жүйесінің блок диаграммасын екі топқа бөліп қарастыруға болады. Блок диаграмманың бірінші тобындағы құраушылар – қабылданған ақпараттарды өңдеп, монитор бетіне шығарушы болып табылады (сурет 3.14) [106].



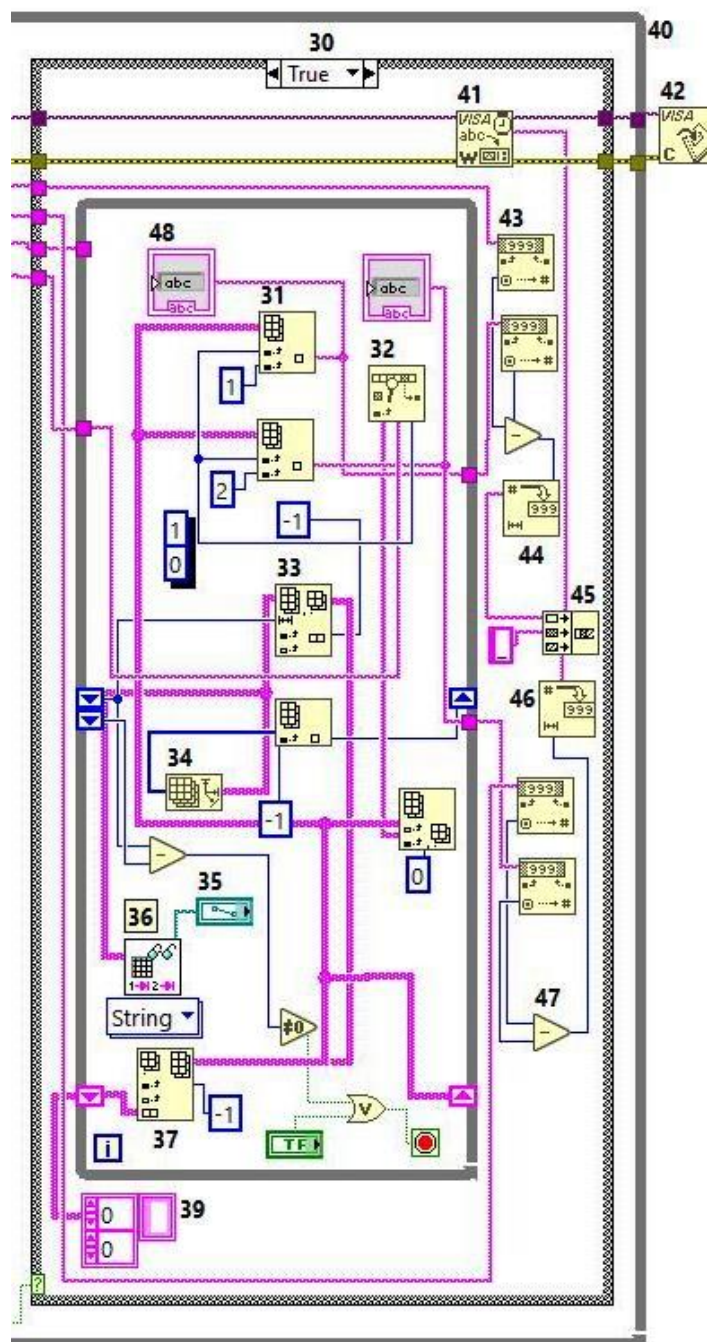
Сурет 3.14 – LabView 18.0 бағдарламасында ақпаратты интерфейске шығаратын блок диаграмма

Ал, блок диаграмманың екінші тобындағы құраушылар – фотоэлектрлік жүйедегі ақауларды анықтап, кері байланыс арқылы түзетіп отырушылар (сурет 3.15). Сурет 3.14 және 3.15-те көрсетілген блок диаграмма келесідей элементтерден құралған: 1 – бұл сырттан қосылған құрылғымен байланысты орнатып/ажырататын бірегей сәйкестендіруші сілтеме, 2 – келіп жатқан ақпарат ағынын оқып, басқарушы элементпен байланыстыратын тізбектік порт, 3 – кіріс ақпараттарын қабылдаушы (оқушы) және басқарушы (жазушы), 4 – компьютерде орнатылған күн, уақытты көрсетіп отырушы, 5 – құрылғыда берілген байттың мөлшерін анықтап, ақпараттарды оқу буферіне қайтарады, 6,

23 – блок диаграммадағы операцияны берілген ретте қайталап отырады, 7 – кіріс тармағын сканерлейді, 8 – тұрақты сандарды шығарушы, 9, 17 – белгілі бір өлшемдегі массивті индексі бойынша қалыптастырады, 10 – орнатылған миллисекунд бойынша кідіріс жасайды, 11 – бірнеше массивтерді біріктіруші, 12 – кіріс массивтерін реттеп бір шығыспен шығарады, 13 – бір өлшемді немесе екі өлшемді массивтерді тасымалдайды немесе ақпаратты бөледі, 14 – ақпараттарды сақтайтын орынға сілтеме жасау, 15 – электронды кесте қатарын өлшеу массивіне ауыстырады, 16, 20 – тармақталған ақпарат форматы, 18 – кіріс тармақты сканерлеп қажетті түрдегі форматқа түрлендіреду, 19 – тармақтағы әртүрлі символдарды интерпретациялайды (түсіндіреді, талдайды), 21 – сандарды үтірден соң екілік дәлдікпен түрлендіреді, 22 – жеке элементтерден кластерді жинақтайды, 24 – белгілі бір интервалдық жылдамдықпен алынған ақпараттарды кескіндейді (кіріс токтың уақытқа тәуелділігі графигін көрсетуші), 25 – кернеудің уақытқа тәуелді өзгерісін кескіндейді, 26 – күн радиациясы мөлшерінің уақытқа тәуелділігі графигін кескіндеуші, 27 – температураның уақытқа тәуелділігін кескіндеуші, 28 – энергия сақтаушы аккумулятордағы ток пен кернеудің өзгерісі графигі, 29, 30 – бірнеше ішкі диаграммалардан немесе шарттардан құрылады, 31 – индекс бойынша массивтерді қалыптастырады, 32 – бір өлшемді массивтен элементтерді іздейді, 33 – массивтің өлшемін өзгертуші, 34 – массивтің әрбір өлшеміндегі элементтердің мөлшерін қайтарады, 35 – сақталған ақпараттарды көрсетуші сілтеме, 36 – кесте тармақтарындағы мәліметтерді оқиды, 37 – массивтегі әр өлшемнің кіріс индекстерін көрсету үшін автоматты түрде өлшемін өзгертеді, 38 – қосып-ажыратушы батырма, 39, 40 – белгілі бір шарт орындалмағанша диаграмма ішіндегі кодты қайталап отырады, 41 – буфердегі ақпаратты құрылғыға жазады, 42 – құрылғы жұмысының барысын тоқтатады, 43 – тармақтағы сандық сигналдарды ондық бүтін санға және керісінше түрлендіреді.

Фотоэлектрлік жүйелердің жұмысын нақты уақытта бақылауға мүмкіндік беретін мониторингтік бағдарламаның интерфейсінен ақпаратты сандық графиктік және жазу түрінде бақылауға мүмкін болады. Интерфейстің сол жақ шетінде жүйелік блокқа қосылған құрылғы USB портының адресі таңдалады. Екі тоқтату (STOP) батырмасының бірі – ақпаратты интерфейске шығару бөлімін ал, екіншісі – кері байланыс орнату бөлігін қадағалайды. Одан кейінгі бағанада, күнге дәл бағыттталатын фотоэлектрлік жүйелердің қозғалысының азимуты мен биіктік бұрыштары мәліметтері сақталған және жұмыс барысында өндірілген энергия, күн радиациясы, температура мәліметтері сақталатын орынға сілтеме жасаушы терезе. Осының төменгі бөлігінде орналасқан терезелерде компьютер мен құрылғыдағы уақыт мерзімі, мониторинг жүйесінде сақталған және қондырғының жұмыс жасау процесінде алынған азимут пен биіктік бұрыштары көрсетіледі. Интерфейстің оң жағында орналасқан терезелерде фотоэлектрлік жүйенің өндірген тогы, кернеуі, түсіп жатқан күн радиациясының энергиясы, модуль температурасы және аккумуляторда жинақталған ток пен кернеудің шамалары уақытқа тәуелді өзгерісі график

түрінде көрсетіледі. Сәйкесінше, айтылған шамалардың сандық мәні интерфейстің сол жақ төменгі жағында орнатылған терезелерден ауысып, көрініп тұрады.



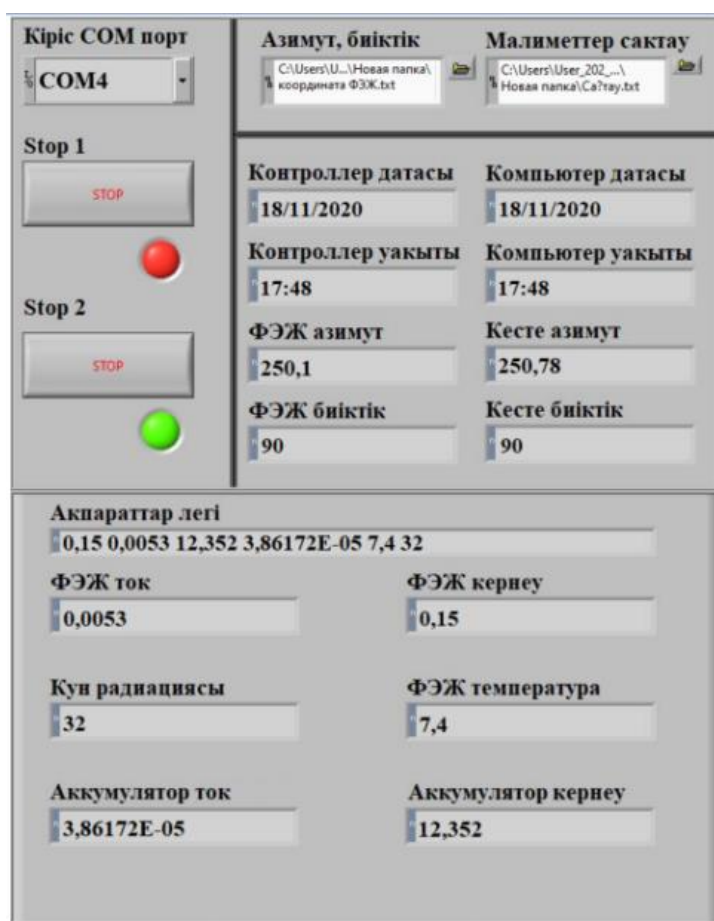
Сурет 3.15 – LabView 18.0 бағдарламасында орнатылған жүйемен кері байланыс орнатушы блок диаграмма

3.2.3. Сымсыз қашықтықтан бақылау және басқару жүйесі жұмысының тәжірибе нәтижесі

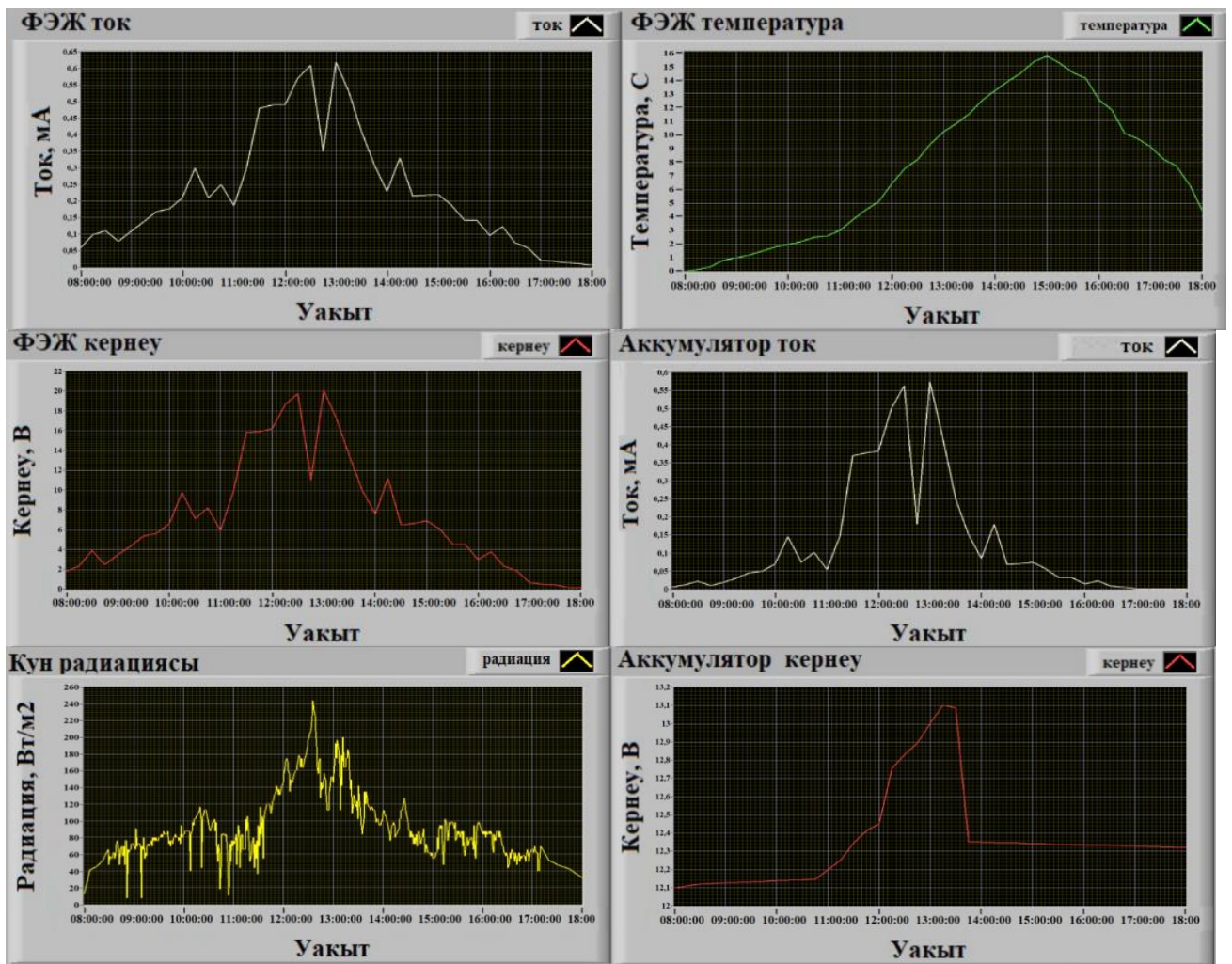
Фотоэлектрлік жүйелерді сымсыз байланыс арқылы қашықтықтан мониторинг жасау және автоматты басқару жүйесі LabView 18.0 бағдарламасы

арқылы жасалған. Қашықтықтан мониторинг жасау арқылы автоматты басқару жүйесінің басты міндеті күнге бағытталушы фотоэлектрлік жүйелердің тиімді жұмыс жасауын қадағалау. Жүйе келесідей туындауы мүмкін мәселелерді қарастырады: фотоэлектрлік жүйедегі уақытты компьютердегі нақты уақытпен сәйкестендіру, жүйенің қозғалыс координатасы бұрыштарын қосалқы энкодер құрылғысы арқылы реттеп отыру, әртүрлі ауа-райы өзгерістеріне байланысты жүйенің максималды энергия жинақтауына ықпал жасау, түрлендірілген электр шамаларына анализ жасау үшін сақтап отыру және аккумулятордың энергия сыйымдылығын қадағалау.

Тәжірибе жұмысы бірнеше күн бойы жасалынды. 3.16 және 3.17 – суреттерінде сыртқы жүйеден ақпараттарды қабылдап мониторинг интерфейсі арқылы көрсетіліп жатқан сандық ақпараттар мен графиктер көрсетілген. Тәжірибе жұмысы қараша айының 18-і жасалған. Графиктерде көрсетілген мәліметтерге сүйене отырып күндізгі уақыттың алғышқы, соңғы мерзімдерінде және ауа-райы бұлтты болуы себепті энергия мөлшері төмен болатындығы байқалады. Қабылданған ақпараттар бақылаушыға түсінікті болуы үшін, график түріндегі мәліметтердің сандық көрсеткіштері де көрсетілген. Тәжірибе нәтижесінде мониторинг жүйесі тиімді әрі нақты жұмыс жасайтындығы анықталды. Жасалған мониторинг жүйесін ауқымды фотоэлектрлік станциялардың жұмысына қолдану арқылы тиімділігін арттыруға болады [106, 92 б.].



Сурет 3.16 – Мониторинг жүйесінің интерфейсі [106, 92 б.]



Сурет 3.17 – Мониторинг жүйесінің интерфейсі [106, 92 б.]

ҚОРЫТЫНДЫ

Диссертациялық жұмыста күнге оңтайлы бағытталатын және сымсыз байланыс негізінде бақыланатын автоматтандырылған фотоэлектрлік жүйелерді зерттеу жұмыстарының нәтижелері келтірілген.

Келесідей негізгі зерттеу нәтижелері алынды:

- Күнді бақылаушы фотоэлектрлік жүйелерін көлденең жазықтықта күнге оңтайлы бағытталуын қамтамасыз ету мақсатында энкодер негізінде тиімді бағдарлау әдістемесі жасалды. Тәжірибелік зерттеулер нәтижесінде номиналды қуаты жағынан бірдей батареясы бар стационарлы фотоэлектрлік қондырғымен салыстырғанда, бір осьті күн бақылау жүйесі 57,4% тиімділікті көрсетті. Сондай-ақ, бұлтты және жаңбырлы ауа-райында фотосенсорлар негізіндегі бір осьті күн трекерінен 4,2% - ға және көшпелі бұлтты жағдайында 1,15% - ға артық екендігі анықталды.

- Күн сәулесінің қатты шашырауы орын алатын қолайсыз ауа-райында күнге оңтайлы бағытталушы екі осьті күн трекерінің әдістемесі әзірленді. Жүйе нақты уақыт режимінде өлшемі кіші, мини-трекерлердің күн панельдерінің шығыс қуатын өлшей отырып, сәйкесінше бағдарланып отырады. Тәжірибелік зерттеулер нәтижесінде жасалған әдісті қарапайым, күннің аспан бойымен қозғалыс координаттарына негізделген әдісі бар екі осьті күн трекерімен салыстырғанда тиімділігі 41% - ға артатындығы анықталды.

- Фотоэлектрлік жүйенің максималды қуат нүктесін бақылау және анықтау арқылы тиімділігін арттырушы жүйе жасалды. Модельдеу және тәжірибелік зерттеулер нәтижелерінің сәйкестігі тексерілді. Тәжірибе нәтижесінде жасалған жүйенің тиімділігі 95% құрады. Сонымен қатар, тәжірибенің бірдей шарттарында ЕИМ контроллерін әзірленген жүйемен салыстыру нәтижесінде тиімділігі 20% - ға көп екендігі анықталды.

- Сымсыз модульдер негізінде фотоэлектрлік жүйенің жұмысын қашықтан бақылайтын және кері байланыс арқылы жүйеде жіберілген қателерді түзететін автоматтандырылған мониторинг жүйесі жасалды.

Алға қойылған міндеттердің толықтай шешілуін бағалау

Диссертациялық жұмыста алдыға қойылған барлық мақсаты мен міндеттері толықтай шешімін тапты. Теориялық және тәжірибелік нәтижелердің сәйкестігі дәлелденіп, зерттеу барысында алынған нәтижелер отандық және шет елдік ғылыми кеңесшілермен, сондай-ақ электронды өлшеу зертханасының қызметкерлерімен талқыланып, талдау жүргізілді.

Диссертациялық жұмысты орындау барысында алынған нәтижелерді қолдану бойынша ұсыныстар

Диссертациялық жұмыстың нәтижелерін фотоэлектрлік жүйелерді құру барысында тиімділігін арттыру әдістерінің бірі ретінде қолдану ұсынылады. Алынған нәтижелер жиі бұлтты ауа-райы нәтижесінде күн сәулесінің қатты шашырауы бар жерлерде кішкентай фотоэлектрлік жүйелерді орналастыруда тиімді болуы мүмкін. Жасалған МҚНБ контроллерін әртүрлі күн трекерлерінің тиімділігін арттыру үшін пайдалану ұсынылады. Сондай-ақ, жасалған сымсыз

бақылау және басқару жүйесін ауқымы үлкен фотоэлектрлік жүйелерін құру кезінде пайдалану ұсынылады.

Диссертациялық жұмыстың ғылыми деңгейін бағалау

Диссертациялық жұмысты орындау барысында жасалған зерттеулер әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың физика-техникалық факультетінде, қатты дене физикасы және бейсызық физика кафедрасында жүргізіліп, алынған мәндердің дұрыстығы бұған дейін жарияланған ғылыми деректерге сүйене отырып расталды. Сондай-ақ, Малайя университеті, инженерия факультеті, қайта қалпына келетін энергиялар және қуатты электроника зерттеу лабораториясымен бірлесе отырып, тиімділігі жоғары тұрақты ток түрлендіргіші сынақтан өткізілді. Зерттеу жұмысында алынған нәтижелер импакт-факторы жоғары шетелдік және отандық ғылыми дереккөздерінде жарияланып, халықаралық конференцияларда талқыланды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Awasthi A., Shukla A. K., SR M. M., Dondariya C., Shukla K. N., Porwal D., & Richhariya G. Review on sun tracking technology in solar PV system //Energy Reports. – 2020. – Т. 6. – С. 392-405.
- 2 Seme S., Štumberger B., Hadžiselimović M., & Sredenšek K. Solar photovoltaic tracking systems for electricity generation: A review //Energies. – 2020. – Т. 13. – №. 16. – С. 4224.
- 3 Nadia A. R., Isa N. A. M., & Desa M. K. M. Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review //Renewable and sustainable energy reviews. – 2018. – Т. 82. – С. 2548-2569.
- 4 Fernández-Ahumada L. M., Casares F. J., Ramírez-Faz J., & López-Luque R. Mathematical study of the movement of solar tracking systems based on rational models //Solar Energy. – 2017. – Т. 150. – С. 20-29.
- 5 Jamroen C., Komkum P., Kohsri S., Himananto W., Panupintu S., & Unkat S. A low-cost dual-axis solar tracking system based on digital logic design: Design and implementation //Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2020. – Т. 37. – С. 100618.
- 6 Al-Mohamad A. Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a Sun-tracking system //Applied Energy. – 2004. – Т. 79. – №. 3. – С. 345-354.
- 7 Koussa M., Cheknane A., Hadji S. M. H. S. N., Haddadi M., & Noureddine S. Measured and modelled improvement in solar energy yield from flat plate photovoltaic systems utilizing different tracking systems and under a range of environmental conditions //Applied Energy. – 2011. – Т. 88. – №. 5. – С. 1756-1771.
- 8 Eldin S. S., Abd-Elhady M. S., & Kandil H. A. Feasibility of solar tracking systems for PV panels in hot and cold regions //Renewable Energy. – 2016. – Т. 85. – С. 228-233.
- 9 Thorat P. A., Edalabadkar A. P., Chadge R. B., & Ingle A. Effect of sun tracking and cooling system on Photovoltaic Panel: A Review //Materials Today: Proceedings. – 2017. – Т. 4. – №. 14. – С. 12630-12634.
- 10 Sumathi V., Jayapragash R., Bakshi A., & Akella P. K. Solar tracking methods to maximize PV system output—A review of the methods adopted in recent decade //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Т. 74. – С. 130-138.
- 11 Bahrami A., Okoye C. O., Atikol U. Technical and economic assessment of fixed, single and dual-axis tracking PV panels in low latitude countries //Renewable Energy. – 2017. – Т. 113. – С. 563-579.
- 12 Singh R., Kumar S., Gehlot A., & Pachauri R. An imperative role of sun trackers in photovoltaic technology: A review //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Т. 82. – С. 3263-3278.
- 13 Nsengiyumva W., Chen S. G., Hu L., & Chen X. Recent advancements and challenges in Solar Tracking Systems (STS): A review //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Т. 81. – С. 250-279.
- 14 Amelia A. R., Irwan Y. M., Safwati I., Leow W. Z., Mat M. H., & Rahim M. S. A. Technologies of solar tracking systems: A review //IOP Conference Series:

Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – T. 767. – №. 1. – C. 012052.

15 Shabani M., Mahmoudimehr J. Techno-economic role of PV tracking technology in a hybrid PV-hydroelectric standalone power system //Applied energy. – 2018. – T. 212. – C. 84-108.

16 Hafez A. Z., Yousef A. M., Harag N. M. Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types–A review //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – T. 91. – C. 754-782.

17 Zhu Y., Liu J., Yang X. Design and performance analysis of a solar tracking system with a novel single-axis tracking structure to maximize energy collection //Applied Energy. – 2020. – T. 264. – C. 114647.

18 Zhang J., Yin Z., Jin P. Error analysis and auto correction of hybrid solar tracking system using photo sensors and orientation algorithm //Energy. – 2019. – T. 182. – C. 585-593.

19 Alexandru C., Poźna C. Simulation of a dual-axis solar tracker for improving the performance of a photovoltaic panel //Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. – 2010. – T. 224. – №. 6. – C. 797-811.

20 Gil F. G., Martin M. D. S., Vara J. P., Calvo J. R., Perlovsky L., Dionysiou D. D., ... & Sopian K. A review of solar tracker patents in Spain //Proceedings of the Energy Problems and Environmental Engineering. – 2009. – C. 292-297.

21 Argeseanu A., Ritchie E., Leban K. New low cost structure for dual axis mount solar tracking system using adaptive solar sensor //2010 12th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment. – IEEE, 2010. – C. 1109-1114.

22 Yao Y., Hu Y., Gao S., Yang G., & Du J. A multipurpose dual-axis solar tracker with two tracking strategies //Renewable Energy. – 2014. – T. 72. – C. 88-98.

23 Lim B. H., Lim C. S., Li H., Hu X. L., Chong K. K., Zong J. L., ... & Tan W. C. Industrial design and implementation of a large-scale dual-axis sun tracker with a vertical-axis-rotating-platform and multiple-row-elevation structures //Solar Energy. – 2020. – T. 199. – C. 596-616.

24 Prasetyo Y., Triyono B., Arifin A. C. Optimization Of Output Power Dual Axis Solar Tracker With Umbrella System //Jurnal Geuthèë: Penelitian Multidisiplin. – 2019. – T. 2. – №. 2. – C. 267-274.

25 Brito M. C., Pó J. M., Pereira D., Simões F., Rodriguez R., & Amador J. C. Passive solar tracker based in the differential thermal expansion of vertical strips //Journal of Renewable and Sustainable Energy. – 2019. – T. 11. – №. 4. – C. 043701.

26 Parmar N. J., Parmar A. N., Gautam V. S. Passive solar tracking system //International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. – 2015. – T. 5. – №. 1. – C. 138-145.

27 Mousazadeh H., Keyhani A., Javadi A., Mobli H., Abrinia K., & Sharifi A. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output

//Renewable and sustainable energy reviews. – 2009. – T. 13. – №. 8. – C. 1800-1818.

28 Obara S. Y., Matsumura K., Aizawa S., Kobayashi H., Hamada Y., & Suda T. Development of a solar tracking system of a nonelectric power source by using a metal hydride actuator //Solar Energy. – 2017. – T. 158. – C. 1016-1025.

29 Poulek V. Testing the new solar tracker with shape memory alloy actors //Proceedings of 1994 IEEE 1st World Conference on Photovoltaic Energy Conversion-WCPEC (A Joint Conference of PVSC, PVSEC and PSEC). – IEEE, 1994. – T. 1. – C. 1131-1133.

30 Mwithiga G., Kigo S. N. Performance of a solar dryer with limited sun tracking capability //Journal of food engineering. – 2006. – T. 74. – №. 2. – C. 247-252.

31 Clifford M. J., Eastwood D. Design of a novel passive solar tracker //Solar Energy. – 2004. – T. 77. – №. 3. – C. 269-280.

32 Lee K. Y., Chung C. Y., Huang B. J., Kuo T. J., Yang H. W., Cheng H. Y., ... & Li K. A novel algorithm for single-axis maximum power generation sun trackers //Energy Conversion and Management. – 2017. – T. 149. – C. 543-552.

33 Huang B. J., Sun F. S. Feasibility study of one axis three positions tracking solar PV with low concentration ratio reflector //Energy conversion and management. – 2007. – T. 48. – №. 4. – C. 1273-1280.

34 Vieira R. G., Guerra F. K. O. M. V., Vale M. R. B. G., & Araújo M. M. Comparative performance analysis between static solar panels and single-axis tracking system on a hot climate region near to the equator //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – T. 64. – C. 672-681.

35 Motahhir S., Hammoumi A. E., Ghzizal A. E., & Derouich A. Open hardware/software test bench for solar tracker with virtual instrumentation //Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2019. – T. 31. – C. 9-16.

36 Gama A., Larbes C., Malek A., Yettou F., & Adouane B. Design and realization of a novel sun tracking system with absorber displacement for parabolic trough collectors //Journal of Renewable and sustainable energy. – 2013. – T. 5. – №. 3. – C. 033108.

37 Tina G. M., Arcidiacono F., Gagliano A. Intelligent sun-tracking system based on multiple photodiode sensors for maximisation of photovoltaic energy production //Mathematics and Computers in Simulation. – 2013. – T. 91. – C. 16-28.

38 El Kadmiri Z., El Kadmiri O., Masmoudi L., & Bargach M. N. A novel solar tracker based on omnidirectional computer vision //Journal of Solar energy. – 2015. – T. 2015. – C. 6.

39 El Jaouhari Z., Zaz Y., Moughyt S., El Kadmiri O., & El Kadmiri Z. Dual-axis solar tracker design based on a digital hemispherical imager //Journal of Solar Energy Engineering. – 2019. – T. 141. – №. 1.

40 Garcia-Gil G., Ramirez J. M. Fish-eye camera and image processing for commanding a solar tracker //Heliyon. – 2019. – T. 5. – №. 3. – C. e01398.

- 41 Abdollahpour, M., Golzarian, M. R., Rohani, A., & Zarchi, H. A. Development of a machine vision dual-axis solar tracking system //solar energy. – 2018. – T. 169. – C. 136-143.
- 42 Flores-Hernández D. A., Palomino-Resendiz S., Lozada-Castillo N., Luviano-Juárez A., & Chairez I. Mechatronic design and implementation of a two axes sun tracking photovoltaic system driven by a robotic sensor //Mechatronics. – 2017. – T. 47. – C. 148-159.
- 43 Chowdhury M. E., Khandakar A., Hossain B., & Abouhasera R. A low-cost closed-loop solar tracking system based on the sun position algorithm //Journal of Sensors. – 2019. – T. 2019.
- 44 Kumar N. K., Subramaniam V., Murugan E. Power analysis of non-tracking PV system with low power RTC based sensor independent solar tracking (SIST) PV system //Materials Today: Proceedings. – 2018. – T. 5. – №. 1. – C. 1076-1081.
- 45 Alexandru C., Irina Tatu N. Optimal design of the solar tracker used for a photovoltaic string //Journal of Renewable and Sustainable Energy. – 2013. – T. 5. – №. 2. – C. 023133.
- 46 Şenpınar A., Cebeci M. Evaluation of power output for fixed and two-axis tracking PVarrays //Applied Energy. – 2012. – T. 92. – C. 677-685.
- 47 Fathabadi H. Novel high efficient offline sensorless dual-axis solar tracker for using in photovoltaic systems and solar concentrators //Renewable Energy. – 2016. – T. 95. – C. 485-494.
- 48 Sungur C. Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey //Renewable energy. – 2009. – T. 34. – №. 4. – C. 1119-1125.
- 49 Sidek M. H. M., Azis N., Hasan W. Z. W., Ab Kadir M. Z. A., Shafie S., & Radzi M. A. M. Automated positioning dual-axis solar tracking system with precision elevation and azimuth angle control //Energy. – 2017. – T. 124. – C. 160-170.
- 50 Gregor R., Takase Y., Rodas J., Carreras L., Gregor D., & López A. Biaxial solar tracking system based on the MPPT approach integrating ICTs for photovoltaic applications //International Journal of Photoenergy. – 2015. – T. 2015.
- 51 Seme S., Štumberger G. A novel prediction algorithm for solar angles using solar radiation and differential evolution for dual-axis sun tracking purposes //Solar energy. – 2011. – T. 85. – №. 11. – C. 2757-2770.
- 52 Alata M., Al-Nimr M. A., Qaroush Y. Developing a multipurpose sun tracking system using fuzzy control //Energy Conversion and Management. – 2005. – T. 46. – №. 7-8. – C. 1229-1245.
- 53 Jiang X., Zhang J., Harding B. J., Makela J. J., & Domi A. D. Spoofing GPS receiver clock offset of phasor measurement units //IEEE Transactions on Power Systems. – 2013. – T. 28. – №. 3. – C. 3253-3262.
- 54 Zhang Z., Gong S., Dimitrovski A. D., & Li H. Time synchronization attack in smart grid: Impact and analysis //IEEE Transactions on Smart Grid. – 2013. – T. 4. – №. 1. – C. 87-98.
- 55 Liu Y., Jia Y., Lin Z., Zhang Y., Wang L., Tomsovic K., & Liu Y. Impact of GPS signal quality on the performance of phasor measurements //2011 16th

International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems. – IEEE, 2011. – C. 1-6.

56 Skvortzov V. Y., Lee H. K., Bang S., & Lee Y. Application of electronic compass for mobile robot in an indoor environment //Proceedings 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation. – IEEE, 2007. – C. 2963-2970.

57 Cho S. Y., Park C. G. Tilt compensation algorithm for 2-axis magnetic compass //Electronics letters. – 2003. – T. 39. – №. 22. – C. 1589-1590.

58 Ojeda L., Borenstein J. Experimental results with the KVH C-100 fluxgate compass in mobile robots //Proceedings of the IASTED International Conference on Robotics and Applications. – 2000. – C. 1-7.

59 Kwon W., Roh K. S., Sung H. K. Particle filter-based heading estimation using magnetic compasses for mobile robot navigation //Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006. – IEEE, 2006. – C. 2705-2712.

60 Lee K., Kim Y., Yun J., & Lee J. Magnetic-interference-free dual-electric compass //Sensors and Actuators A: Physical. – 2005. – T. 120. – №. 2. – C. 441-450.

61 Zakšek K., Podobnikar T., Oštir K. Solar radiation modelling //Computers & Geosciences. – 2005. – T. 31. – №. 2. – C. 233-240.

62 Balenzategui J. L. SRADLIB: AC Library for Solar Radiation Modelling. – Centro de Investigaciones Energeticas Medioambientales y Tecnologicas (CIEMAT), 1999. – №. CIEMAT--904.

63 Zerubavel E. The standardization of time: A sociohistorical perspective //American journal of sociology. – 1982. – T. 88. – №. 1. – C. 1-23.

64 Kalogirou S., Sencan A. Artificial intelligence techniques in solar energy applications //Solar Collectors and Panels, Theory and Applications. – 2010. – T. 15. – C. 315-340.

65 Markvart T. (ed.). Solar electricity. – John Wiley & Sons, 2000. – T. 6.

66 Gómez-Uceda F. J., Moreno-Garcia I. M., Jiménez-Martínez J. M., López-Luque R., & Fernández-Ahumada L. M. Analysis of the influence of terrain orientation on the design of pv facilities with single-axis trackers //Applied Sciences. – 2020. – T. 10. – №. 23. – C. 8531.

67 Fahad H. M., Islam A., Islam M., Hasan M. F., Brishty W. F., & Rahman M. M. Comparative analysis of dual and single axis solar tracking system considering cloud cover //2019 International Conference on Energy and Power Engineering (ICEPE). – IEEE, 2019. – C. 1-5.

68 Skouri S., Ali A. B. H., Bouadila S., Salah M. B., & Nasrallah S. B. Design and construction of sun tracking systems for solar parabolic concentrator displacement //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – T. 60. – C. 1419-1429.

69 Rajesh T., Tamilselvan K. S., Vijayalakshmi A., Kumar C. N., & Reddy K. A. Design and implementation of an automatic solar tracking system for a monocrystalline silicon material panel using MPPT algorithm //Materials Today: Proceedings. – 2021. – T. 45. – C. 1783-1789.

70 Yilmaz S., Ozcalik H. R., Dogmus O., Dincer F., Akgol O., & Karaaslan M. Design of two axes sun tracking controller with analytically solar radiation calculations //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – T. 43. – C. 997-1005.

71 Gutierrez S., Rodrigo P. M., Alvarez J., Acero A., & Montoya A. Development and Testing of a Single-Axis Photovoltaic Sun Tracker through the Internet of Things //Energies. – 2020. – T. 13. – №. 10. – C. 2547.

72 Salam Z., Ahmed J., Merugu B. S. The application of soft computing methods for MPPT of PV system: A technological and status review //Applied energy. – 2013. – T. 107. – C. 135-148.

73 Karami N., Moubayed N., Outbib R. General review and classification of different MPPT Techniques //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – T. 68. – C. 1-18.

74 Salas V., Olias E., Barrado A., & Lazaro A. Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems //Solar energy materials and solar cells. – 2006. – T. 90. – №. 11. – C. 1555-1578.

75 Solodovnik E. V., Liu S., Dougal R. A. Power controller design for maximum power tracking in solar installations //IEEE Transactions on power electronics. – 2004. – T. 19. – №. 5. – C. 1295-1304.

76 Danandeh M. A. Comparative and comprehensive review of maximum power point tracking methods for PV cells //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – T. 82. – C. 2743-2767.

77 Mohapatra A., Nayak B., Das P., & Mohanty K. B. A review on MPPT techniques of PV system under partial shading condition //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – T. 80. – C. 854-867.

78 Singh O., Gupta S. K. A review on recent Mppt techniques for photovoltaic system //2018 IEEMA Engineer Infinite Conference (eTechNxT). – IEEE, 2018. – C. 1-6.

79 Bendib B., Belmili H., Krim F. A survey of the most used MPPT methods: Conventional and advanced algorithms applied for photovoltaic systems //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – T. 45. – C. 637-648.

80 Reisi A. R., Moradi M. H., Jamasb S. Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review //Renewable and sustainable energy reviews. – 2013. – T. 19. – C. 433-443.

81 Hohm D. P., Ropp M. E. Comparative study of maximum power point tracking algorithms //Progress in photovoltaics: Research and Applications. – 2003. – T. 11. – №. 1. – C. 47-62.

82 Verma D., Nema S., Shandilya A. M., & Dash S. K. Maximum power point tracking (MPPT) techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – T. 54. – C. 1018-1034.

83 Joshi P., Arora S. Maximum power point tracking methodologies for solar PV systems—A review //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – T. 70. – C. 1154-1177.

84 Bahgat A. B. G., Helwa N. H., Ahmad G. E., & El Shenawy E. T. Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks //Renewable Energy. – 2005. – T. 30. – №. 8. – C. 1257-1268.

85 Mellit A., Rezzouk H., Messai A., & Medjahed B. FPGA-based real time implementation of MPPT-controller for photovoltaic systems //Renewable energy. – 2011. – T. 36. – №. 5. – C. 1652-1661.

86 López-Vargas A., Fuentes M., Vivar M. Current challenges for the advanced mass scale monitoring of Solar Home Systems: A review //Renewable Energy. – 2021. – T. 163. – C. 2098-2114.

87 Madeti S. R., Singh S. N. Monitoring system for photovoltaic plants: A review //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – T. 67. – C. 1180-1207.

88 Lazzaretti A. E., Costa C. H. D., Rodrigues M. P., Yamada G. D., Lexinoski G., Moritz G. L., ... & Santos R. B. D. A monitoring system for online fault detection and classification in photovoltaic plants //Sensors. – 2020. – T. 20. – №. 17. – C. 4688.

89 Visconti P., Lay-Ekuakille A., Primiceri P., & Cavalera G. Wireless energy monitoring system of photovoltaic plants with smart anti-theft solution integrated with control unit of household electrical consumption //International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems. – 2016. – T. 9. – №. 2.

90 Bagnasco A., Allasia G., Giannettoni M., Pinceti P., & Parodi G. Innovative solutions for photovoltaic plants remote monitoring //2012 9th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). – IEEE, 2012. – C. 1-5.

91 Belghith O. B., Sbita L. Remote GSM module monitoring and Photovoltaic system control //2014 First International Conference on Green Energy ICGE 2014. – IEEE, 2014. – C. 188-192.

92 Forero N., Hernández J., Gordillo G. Development of a monitoring system for a PV solar plant //Energy Conversion and Management. – 2006. – T. 47. – №. 15-16. – C. 2329-2336.

93 Bayrak G., Cebeci M. Monitoring a grid connected PV power generation system with labview //2013 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). – IEEE, 2013. – C. 562-567.

94 Bian L., Zou X., Zhai Y., & Liu H. A multifunctional data acquisition system for photovoltaic plants //2012 International Conference on Systems and Informatics (ICSAI2012). – IEEE, 2012. – C. 598-602.

95 Chine W., Mellit A., Pavan A. M., & Kalogirou S. A. Fault detection method for grid-connected photovoltaic plants //Renewable Energy. – 2014. – T. 66. – C. 99-110.

96 Chouder A., Silvestre S., Taghezouit B., & Karatepe E. Monitoring, modelling and simulation of PV systems using LabVIEW //Solar Energy. – 2013. – T. 91. – C. 337-349.

97 Beránek V., Olšan T., Libra M., Poulek V., Sedláček J., Dang M. Q., & Tyukhov I. I. New monitoring system for photovoltaic power plants' management //Energies. – 2018. – Т. 11. – №. 10. – С. 2495.

98 Gallardo-Saavedra S., Hernández-Callejo L., Duque-Pérez O. Quantitative failure rates and modes analysis in photovoltaic plants //Energy. – 2019. – Т. 183. – С. 825-836.

99 Helwa N. H., Bahgat A. B. G., El Shafee A. M. R., & El Shenawy E. T. Maximum collectable solar energy by different solar tracking systems //Energy sources. – 2000. – Т. 22. – №. 1. – С. 23-34.

100 Alina Ioniță M., Alexandru C. Dynamic optimization of the tracking system for a pseudo-azimuthal photovoltaic platform //Journal of Renewable and Sustainable Energy. – 2012. – Т. 4. – №. 5. – С. 053117.

101 Kuttybay N., Saymbetov A., Mekhilef S., Nurgaliyev M., Tukymbekov D., Dosymbetova G., ... & Svanbayev Y. Optimized single-axis schedule solar tracker in different weather conditions //Energies. – 2020. – Т. 13. – №. 19. – С. 5226.

102 Saymbetov A., Mekhilef S., Kuttybay N., Nurgaliyev M., Tukymbekov D., Meiirkhanov A., ... & Svanbayev Y. Dual-axis schedule tracker with an adaptive algorithm for a strong scattering of sunbeam //Solar Energy. – 2021. – Т. 224. – С. 285-297.

103 Zhang P., Zhou G., Zhu Z., Li W., & Cai Z. Numerical study on the properties of an active sun tracker for solar streetlight //Mechatronics. – 2013. – Т. 23. – №. 8. – С. 1215-1222.

104 Saymbetov A. K., Nurgaliyev M. K., Tulkibaiuly Y., Toshmurodov Y. K., Nalibayev Y. D., Dosymbetova G. B., ... & Svanbayev Y. A. Method for increasing the efficiency of a biaxial solar tracker with exact solar orientation //Applied Solar Energy. – 2018. – Т. 54. – №. 2. – С. 126-130.

105 Kuttybay N., Mekhilef S., Saymbetov A., Nurgaliyev M., Meiirkhanov A., Dosymbetova G., & Kopzhan Z. An automated intelligent solar tracking control system with adaptive algorithm for different weather conditions //2019 IEEE international conference on automatic control and intelligent systems (I2CACIS). – IEEE, 2019. – С. 315-319.

106 Kuttybay N. B., Saymbetov A. K., Tenizbayeva Z. S., Smail L. B., & Yerbolat R. M. DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH WIRELESS MONITORING //Известия НАН РК. Серия физико-математических наук. – 2021. – №. 1. – С. 90-96.

107 Құттыбай Н.Б. Система беспроводного мониторинга двухосного солнечного трекера //«ФАРАБИ ӘЛЕМІ» атты студенттер мен жас ғалымдардың Халықаралық ғылыми конференциясы. – Алматы, 2019. – С. 268.

108 Құттыбай Н.Б., Шаймерденова М.Е., Нұрғалиев М.К., Туқымбеков Д. Разработка электронного блока управления для систем слежения за солнцем //«ФАРАБИ ӘЛЕМІ» атты студенттер мен жас ғалымдардың Халықаралық ғылыми конференциясы. – Алматы, 2019. – С. 267.

109 Құттыбай Н.Б., Нұрғалиев М.К., Саймбетов А.К., Тукымбеков Д.Х., Досымбетова Г.Б., Мейрханов А.Қ. Двухосная система слежения за солнцем с актуаторным механизмом// Вестник КазННТУ. – 2020. – №.2(138). – С. 327-333

110 Құттыбай Н.Б., Нұрғалиев М.К., Саймбетов А.К., Тукымбеков Д.Х., Мейрханов А.Қ., Шаймерденова М.Е. Разработка двухосной системы слежения за Солнцем для оптимальной ориентации к Солнцу// Вестник КазННТУ. – 2019. – №.4(134). – С. 300-306

111 Ибраимов М.К., Саймбетов А.К., Құттыбай Н.Б., Якубова М.З., Дараев А.М., Асабаева Р.Н., Якубов Д.М., Актаев Э.Т. Автоматты басқару жүйесі бар гелиоэнергетикалық қондырғы // Пайдалы модельге патент, 2021. № 6043.

112 Құттыбай Н.Б., Саймбетов А.К., Нұрғалиев М.К., Солнечные трекеры с контроллером отслеживания точки максимальной мощности// Авторлық куәлік, 2022. №25199.