

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау  
институты

Энергетика кафедрасы

Бақтияров Тасболат Болатұлы  
Калмен Нұрбек Батырұлы

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

Фотоэлектрлік модульдерді диагностикалауға арналған оқу-зерттеу стендін  
құру

5B071800 – Электр энергетикасы

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

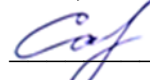
Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Энергетика кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

Кафедра меңгерушісі

PhD, ассистент-профессор



Сарсенбаев Е.А.

«06» маусым 2020 ж.

## ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Фотоэлектрлік модульдерді диагностикалауға арналған оқу-зерттеу стендін құру»

5B071800 – «Электр энергетикасы»

Орындағандар:



Бактияров Т.Б.

Калмен Н.Б.

Ғылыми жетекші

техн.ғыл.канд., ассоц.профессор



Хидолда Е.

« 05 » маусым 2020ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

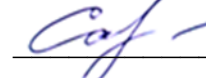
Энергетика кафедрасы

5B071800 – «Электр энергетикасы» мамандығы

**БЕКІТЕМІН**

Кафедра меңгерушісі

PhD, ассистент-профессор

 Е.А. Сарсенбаев

«27» қаңтар 2020 ж.

**Дипломдық жұмысты орындауға  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Бақтияров Тасболат, Калмен Нұрбек

Тақырыбы «Фотоэлектрлік модульдерді диагностикалауға арналған оқу-зерттеу стендін құру».

Университет ректорының 2020ж. «27» қаңтарындағы №. 762-6, бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «1» маусым 2020 ж.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

a) Жаңартылған дәстүрлі емес энергетиканың даму болашағы

b) Күн энергетикасы

c) Күн панелі немесе фотоэлектрлік модуль

d) Күн панеліне сыртқы орта әсерлері.

e) Оқу-зертханалық стенді (ОЗС)

f) ОЗС-де жасалынатын лабораториялық және зерттеу жұмыстары

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 13 атау

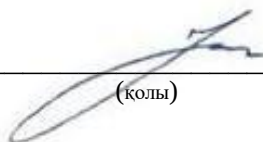
Дипломдық жұмысты дайындау  
**КЕСТЕСІ**

| Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі                           | Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері | Ескерту |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------|
| Жаңартылған дәстүрлі емес энергетиканың даму болашағы, күн энергетикасы   | 11.03.2020                                         | жоқ     |
| Күн панелі немесе фотоэлектрлік модуль, Күн панеліне сыртқы орта әсерлері | 24.03.2020                                         | жоқ     |
| Оқу-зертханалық стенді (ОЗС)                                              | 07.04.2020                                         | жоқ     |
| ОЗС-де жасалынатын лабораториялық және зерттеу жұмыстары                  | 25.04.2020                                         | жоқ     |

Аяқталған жұмысқа қойылған  
кеңесшілер мен норма бақылаушының  
**қолтаңбалары**

| Бөлімдер атауы                   | Ғылыми жетекші, кеңесшілер                       | Қол қойылған күні | Қолы                                                                                  |
|----------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Негізгі бөлім                    | Хидолда Е.<br>техн.ғыл.канд.,<br>ассоц.профессор | 01.06.20 ж.       |  |
| Технологиялық және есептік бөлім | Хидолда Е.<br>техн.ғыл.канд.,<br>ассоц.профессор | 07.06.20 ж.       |  |
| Норма бақылау                    | Бердибеков А.О.,<br>сениор-лектор                | 05.06.20 ж.       |  |

Ғылыми жетекшісі

  
(қолы)

/ Е. Хидолда /

Тапсырманы орындауға  
алған студенттер

  
(қолдары)

/ Т. Б. Бақтияров,  
Н. Б. Калмен /

Күні « 10 » наурыз 2020 ж

## АНДАТПА

Күн панелінің және толығымен күн электр станциясының (КЭС) электрлік тиімділігін арттыру үшін - оған әсер ететін факторларды, жағдайларды анықтау қажет. Бұл жұмыста, әлемде жасалып жатқан жаңғырылатын энергетика саласында және күн энергетикасы саласындағы зерттеулер мен эксперименттік тәжірибелерді қарастырып, оны өзіміздің эксперименттік тәжірибеде алынған нәтижелермен салыстыра отырып, әр фактордың қалай және қаншалықты әсер ететіні жазылған. Осы білімдерді қолдана отырып – фотоэлектрлік модульдерді диагностикалауға арналған оқу-зерттеу стендін құрдық. Бұл стенд 2 мақсатта қолданылады:

Зертханалық мақсаты: фото электрлік модульдерге әсер ететін негізгі климаттық факторларды бақылап, жергілікті жер үшін фотомодульдің бірнеше түрлерінің энергияны максималды өндіру жағдайын анықтау және алдағы уақытта өндірілетін энергия шамасын болжау.

Лабораториялық мақсаты: студенттердің жаңғыртылатын энергия саласындағы қызығушылықтары мен білімдерін арттыру. Алған білімдерін стендте лабораториялық және зертханалық жұмыстарды жасау арқылы тереңдету.

## АННОТАЦИЯ

Для повышения электрической эффективности солнечных панелей и солнечной электростанции (СЭС) в целом необходимо определить факторы окружающей среды и условия, влияющие на них. В работе рассмотрены как и насколько воздействует каждый из факторов. Рассматривались исследования и экспериментальные опыты в области возобновляемой энергетики и солнечной энергетики, создаваемый в мире, сравнены его результаты с результатами полученные в опытном образце. Используя эти знания, мы создали учебно-исследовательский стенд для диагностики фотоэлектрических модулей. Стенд используется для 2 целей:

Исследовательская цель: отслеживать основные климатические факторы, влияющие на фотоэлектрические модули, определить условия максимального производства энергии нескольких видов фотомодулей для местности и прогнозировать величину вырабатываемой энергии в будущем.

Лабораторная цель: повышение интереса и знаний студентов в области возобновляемой энергии. Углубление полученных знаний путем проведения лабораторных и исследовательских работ на стенде.

## ANNOTATION

To increase the electrical efficiency of a solar panel and a solar power plant(SPP) in general, it is necessary to determine the factors and conditions that affect it. This paper describes how and how much each factor affects, considering research and experimental experience in the field of renewable energy and solar energy created in the world, comparing it with the results obtained in their experimental practice. Using this knowledge, we have created a training and research stand for diagnostics of photovoltaic modules. This stand is used for 2 purposes:

Research goal: to track the main climatic factors that affect photovoltaic modules, determine the conditions for maximum energy production of several types of photomodules for the area and predict the amount of energy produced in the future.

Laboratory goal: to increase student's interest and knowledge in the field of renewable energy. Deepening the knowledge gained by conducting laboratory and research work on the stand.

## МАЗМҰНЫ

|         |                                                          |    |
|---------|----------------------------------------------------------|----|
|         | Кіріспе                                                  | 9  |
| 1       | Жаңартылған дәстүрлі емес энергетиканың даму болашағы    | 11 |
| 1.1     | Жаңартылатын энергия көздері                             | 11 |
| 1.2     | Қазақстандағы ЖЭК                                        | 13 |
| 2       | Күн энергетикасы                                         | 14 |
| 2.1     | Күн энергетикасының артықшылықтары мен кемшіліктері      | 14 |
| 2.2     | Күн электр станциясы. Түрлері                            | 17 |
| 2.2.1   | Мұнара типті КЭС                                         | 17 |
| 2.2.2   | Тарелкалы үлгідегі КЭС                                   | 18 |
| 2.2.3   | Параболалық концентраторларды пайдаланатын КЭС           | 18 |
| 2.2.4   | Стирлинг қозғалтқышы бар КЭС                             | 19 |
| 2.2.5   | Аралас КЭС                                               | 20 |
| 2.2.6   | Аэроstatты күн электр станциялары                        | 20 |
| 2.2.7   | Фото электрлік модульдерді қолданатын КЭС                | 21 |
| 2.2.7.1 | Желілік күн электр станциясы                             | 22 |
| 2.2.7.2 | Автономды күн электр станциясы                           | 23 |
| 3       | Күн панелі немесе фотоэлектрлік модуль                   | 24 |
| 3.1     | Кремний негізіндегі күн панельдері                       | 24 |
| 3.1.1   | Монокристалды күн панельдері                             | 24 |
| 3.1.2   | Поликристалды күн панельдері                             | 25 |
| 3.2     | Аморфты кремний негізіндегі күн панельдері               | 26 |
| 3.3     | Пленкалы күн панельдері                                  | 27 |
| 4       | Күн панеліне сыртқы орта әсерлері.                       | 28 |
| 4.1     | Күн панеліне әсер ететін факторлар                       | 28 |
| 4.1.1   | Күн сәулесінің радиациясы                                | 29 |
| 4.1.2   | Күн батареясының температурасы                           | 31 |
| 4.1.3   | Күн батареяларының жұмысына көлеңкенің әсері             | 32 |
| 4.1.4   | Күн панелдерінің уақыт өте келе тозуы                    | 33 |
| 4.1.5   | Шаң, кір және ауаның ластануы есебінен қуаттың төмендеуі | 34 |
| 4.1.6   | Ауа құрамының КП тиімділігіне әсері                      | 35 |
| 4.1.7   | Жел және ылғалдылық әсері                                | 36 |
| 5       | Оқу-зертханалық стенді (ОЗС)                             | 36 |
| 5.1     | Екі осьті күн трекері                                    | 37 |
| 5.2     | Оқу – зертханалық стендінің құрылымы                     | 39 |
| 5.2.1   | Инвертор                                                 | 40 |
| 5.2.2   | Метеостанция                                             | 41 |
| 5.2.3   | Ардуино негізіндегі мониторинг блогы                     | 43 |
| 5.2.4   | Аккумулятор                                              | 44 |
| 5.2.5   | Заряд контроллері                                        | 44 |
| 6       | ОЗС-де жасалынатын лабораториялық және зерттеу жұмыстары | 45 |

|       |                                                                                                                                                                     |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.1   | ОЗС-те жасалатын лабораториялық жұмыстар                                                                                                                            | 46 |
| 6.1.1 | Лабораториялық жұмыс №1. Күн батареяларының вольт-амперлік сипаттамасын анықтау                                                                                     | 46 |
| 6.1.2 | Лабораториялық жұмыс №2. Күн батареяларын тізбектей және параллель қосу                                                                                             | 49 |
| 6.1.3 | Лабораториялық жұмыс №3. Күн батареясының бос жүріс кернеуі, қысқа тұйықталу тогын табу және оның жарық көзіне қатысты бұрылу бұрышынан тәуелділігін зерттеу жұмысы | 52 |
| 6.2   | ФЭМ тиімділігіне қоршаған орта факторларының әсерін зерттеу жұмысы                                                                                                  | 54 |
|       | Қорытынды                                                                                                                                                           | 55 |
|       | Пайдаланылған әдебиеттер тізімі                                                                                                                                     | 56 |

## КІРІСПЕ

Табиғи жаңартылатын энергия көздері (ЖЭК): биомасса (отын, шыбық), жел, күн сәулесі, су ағындары, адамдар мен жануарлардың бұлшық етті күшімен қатар, адам өркениеттің ерте даму кезеңдерінде табиғи шаруашылықта қолданатын негізгі энергия көздері болды. Алайда оларды пайдалану үшін технологиялар мен тиісті техникалық құрылғылар (ошақтар, диірмендер, кептіргіштер және т.б.) сол уақытта примитивті болды және аз мөлшерде ғана жылу мен механикалық энергияны алуға мүмкіндік берді.

XIX ғасырдың ортасында басталған және қол еңбегінен машинаға көшумен сипатталған өнеркәсіптік революция негізінен көмір мен ағаш биомассасын жағуға негізделді, олардың XX ғасырдың басында энергия ресурстарын әлемдік тұтыну құрылымына қосқан үлесі тиісінше 60 және 40% - ға жетті.

XX ғасырда мұнай және газ өндіру технологияларын игеру әлемдік энергетикалық теңгерімге биомасса мен көмір салымдарының біртіндеп төмендеуіне алып келді және өткен ғасырдың 70-ші жылдарының басында мұнай адамзат пайдаланатын негізгі энергия ресурстарына айналды. Оның энергетикалық теңгерімге қосқан үлесі осы уақытта 47% - ға жуық тарихи максимумға жетті. Бұл ретте көмірдің салыстырмалы үлесі 25% - ға дейін, ал биомассасы 12% - ға дейін төмендеді. Баланстың қалған бөлігі (шамамен 16%) кеңінен пайдаланылатын табиғи газ жабыла бастады.

70-ші жылдардағы "энергетикалық дағдарыс" көптеген елдердің энергетикалық даму стратегияларын қайта қарауға түрткі болды. Мұнайдың әлемдік энергетиканы дамытудың сенімді ұзақ мерзімді негізі бола алмайтыны және пайдаланылатын бастапқы энергия көздерін әртараптандыру қажеттігі айқын болды. Атом энергетикасының әлемде белсенді дамып келе жатты, бірақ Чернобыль атом электр станцияларындағы апаттан (1986 ж.) кейін атом энергетикасының ықпалы күрт бәсеңдеді.

Әлемдегі энергетикалық проблемалармен қатар адамның қоршаған ортаға әсер ету деңгейіне алаңдаушылық арта бастады. 1992 жылы климаттың өзгеруі туралы БҰҰ-ның негіздемелік конвенциясы қабылданды. Көптеген елдерде жаңа экологиялық қауіпсіз энергия көздерін және оларды қайта құру технологияларын іздеу бойынша белсенді зерттеулер мен әзірлемелер басталды, оларға бірінші кезекте табиғи ЖЭК жатады. Жаңа ғасырдың басында салыстырмалы түрде қысқа мерзімде ЖЭК түрлендірудің әртүрлі технологияларының энергетикалық және техникалық-экономикалық көрсеткіштерін түбегейлі жақсартуда айтарлықтай табыстарға қол жеткізілді. Қарқынды әзірлемелер мен өнеркәсіптік технологияларды игеру салдарынан жел қондырғылары, фото - электр түрлендіргіштері, күн жылу, геотермальды және биоэнергетикалық қондырғылар көмегімен өндірілетін энергия мен биоотынның құны бірнеше есе төмендетілді.

Күн энергетикасы – электр энергиясын алу үшін күн сәулесін тікелей пайдалануға негізделген баламалы энергетика бағыты. Күн энергетикасы жаңартылатын энергия көзін пайдаланады және "экологиялық таза" болып табылады, яғни белсенді пайдалану фазасы кезінде зиянды қалдықтарды өндірмейді.

Әлемде соңғы бес жылдағы энергетиканың жылдық өсімі орта есеппен 50% құрады. Күн сәулесінің негізінде алынған энергия 2050 жылға қарай адамзаттың электрге деген қажеттілігінің 20-25% - ын гипотетикалық тұрғыда қамтамасыз ете алады және көмірқышқылының шығарындыларын қысқартады. Халықаралық энергетикалық агенттік (IEA) сарапшыларының пайымдауынша, күн энергетикасы 40 жылдан кейін озық технологияларды таратудың тиісті деңгейінде 9 мыңға жуық тераватт-сағат немесе барлық қажетті электрдің 20-25% өндіреді және бұл көмірқышқыл газының шығарындыларын жыл сайын 6 млрд тоннаға қысқартуды қамтамасыз етеді.

## 1 Жаңартылған дәстүрлі емес энергетиканың даму болашағы

### 1.1 Жаңартылатын энергия көздері

Дәстүрлі емес жаңартылатын энергия көздерін (ЖЭК) пайдалану бойынша белсенді ғылыми-техникалық әзірлемелер XX ғасырдың 70-шы жылдарынан бастап әлемдік энергетикалық дағдарыс кезеңінде басталды.

ЖЭК дамыған және дамушы елдерде де қолданылады. Жаңартылатын энергетика саласында жан-жақты мемлекеттік, экономикалық және заңнамалық қолдауға ие болған елдер ЖЭК игеруде үлкен табыстарға жетті, және олар ЖЭК дамытуға үлкен қаражат жұмсайды, оның ішінде жаңа технологияларды әзірлеуге.

XXI ғасырдың басында барлық жаңартылатын энергия көздерінің (дәстүрлі гидроэнергетиканы, отынды қоса алғанда) әлемдік энергия тұтынуудағы үлесі шамамен 14% - ды, ал электр тұтынууда -19% - ды құрады.

Дәстүрлі емес ЖЭК энергиясын пайдаланудың қарқынды өсуі, әсіресе XXI ғ.басынан бастап көптеген дамыған және көптеген дамушы елдерге тән. Мысалы, дәстүрлі емес ЖЭК есебінен өндірілген электр энергиясының үлесі 2006 жылы ЕО елдерінде (жалпы өндірісте): Данияда – 12,1%, Финляндияда – 13,1%, Венгрияда – 4%, Грецияда – 2,8%, Италияда – 2,8%, Испанияда – 2,8%, Германияда (2007 жылы) – 14,2% құрады, бұл 87,6 млрд.кВт•сағ құрады, оның ішінде: шағын ГЭС – 20,7 млрд. кВт•сағ, ЖЭС – 39,5, биомассада және биогазда ЖЭС – 23,8, күн батареялары – 3,5, геотермалды – 0,1.

Әлемде дәстүрлі емес ЖЭК-дегі энергия қондырғыларының жиынтық қуаты барлық алынатын электр энергиясының 2% - ға жуығын өндіреді, және барлық электр станцияларының 4% - ға жуығын құрайды. 2010 жылы электр энергиясын өндірудегі ЖЭК үлесі (дәстүрлі ГЭС қоса алғанда) ЕО елдерінде 22% - ға дейін өсуі тиіс, бұл ретте бірінші кезекте дәстүрлі емес энергия көздері есебінен, ал 2020 жылға қарай ЕО елдерінде дәстүрлі емес ЖЭК есебінен энергия тұтынуды 20% - ға дейін ұлғайтуды жоспарлап отыр (1-кесте).

#### 1-кесте – 2020 ж. дәстүрлі емес ЖЭК пайдалану

| Қуат көзі                                             | Ең аз сценарий  |                                   | Ең көп сценарий |                                   |
|-------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
|                                                       | млн. т<br>н.э.* | ЖЭК<br>құрылымын-<br>дағы үлес, % | млн. т<br>н.э.* | ЖЭК<br>құрылымын-<br>дағы үлес, % |
| Қазіргі заманғы технологияларды пайдаланумен Биомасса | 243             | 45                                | 561             | 42                                |
| Күн энергиясы                                         | 109             | 20                                | 355             | 26                                |
| Ветровая энергия                                      | 85              | 16                                | 215             | 16                                |

1-кесте жалғасы

|                                                                       |     |     |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|-----|------|------|
| Геотермалды энергия                                                   | 40  | 7   | 91   | 7    |
| Кіші гидроэнергетика                                                  | 48  | 9   | 69   | 5    |
| Мұхит энергиясы                                                       | 14  | 3   | 54   | 4    |
| Барлығы                                                               | 539 | 100 | 1345 | 100  |
| Бастапқы энергия ресурстарына әлемдік жиынтық қажеттіліктегі үлесі, % |     | 3–4 |      | 8–12 |
| * н.э. – мұнай эквиваленті; 1 н.э.=10000 ккал/кг; 1 т н.э.=1,4 т у.т. |     |     |      |      |

Жапонияда 2000 жылы 1,2% құраған дәстүрлі емес ЖЭК электр энергиясын өндіруге жалпы үлес 2010 жылға қарай 3% – ға дейін, ал 2030 жылға қарай 10% - ға дейін ұлғайту жоспарлануда.

2020 жылға қарай Ресей елдің отын-энергетикалық теңгеріміндегі дәстүрлі емес энергия көздерінің үлесін 4,5% – ға, ал Қытай-16% - ға дейін арттыруды жоспарлап отыр.

2020 жылы түрлі сценарийлер үшін жаңартылатын дәстүрлі емес көздерді пайдалану мүмкіндігі бойынша әлемдік энергетикалық кеңестің болжамды бағалары кестеде келтірілген.

Іс жүзінде барлық дамыған елдер мен көптеген дамушы елдердің ЖЭК жедел игеруді ынталандыруға бағытталған ұлттық бағдарламалары бар.

Көптеген елдер үшін, әсіресе дәстүрлі энергия ресурстарының импортына тәуелді ЖЭК дамуының елеулі уәждемесі энергетикалық қауіпсіздікті қамтамасыз ету болып табылады.

ЖЭК-ті пайдаланудың көптеген технологияларының және алынатын энергияның құны оларды жетілдіру және өндіріс ауқымының өсуі арқасында үздіксіз төмендейді.

Дәстүрлі емес ЖЭК энергетиканың мынадай секторларда неғұрлым бәсекеге қабілетті болады: электр энергиясын өндіру; жылумен жабдықтау; автономды тұтынушыларды кешенді энергиямен жабдықтау.

Дәстүрлі емес ЖЭК маңызды энергетикалық ресурстардың бірі бола алады. Олардың көптеген елдердің энергобалансына қосқан үлесі 40-50% - ға жетуі мүмкін.

Көптеген дәстүрлі емес ЖЭК тұрақсыздығымен сипатталады(желдің жылдамдығы ауысымдылығы, күн сәулесінің қарқындылығы, шығысының өзен және т. б.). Олар бір-бірімен үйлестіре отырып та пайдаланылады. Бұдан басқа, жергілікті жүйелердегі ЖЭК электрмен жабдықтаудың жылу және электр энергиясы аккумуляторларының әртүрлі үлгілерімен, сондай-ақ сутегі негізінде шоғырландыру жүйелерімен бірге қолданылады, бұл ЖЭК тиімділігін арттырады және тұтынушыларды үздіксіз энергиямен жабдықтауды қамтамасыз етеді. Бұл ретте болашақта ЖЭК Судан сутегі өндірісінің негізгі көздерінің бірі болуы мүмкін.

## 1.2 Қазақстандағы ЖЭК

Қазақстан өз алдына елдің энергия жүйесіндегі жаңартылатын энергия көздерінің үлесін ұлғайту бойынша өршіл (амбициозные) міндеттерді қойып отыр. Қазір бұл көрсеткіш 1,3% - ды құрайды, 2020 жылдың соңына қарай оны 3%-ға дейін, ал 2030 жылға қарай – 10% - ға дейін жеткізуді жоспарлап отыр.[1]

ЖЭК-ті қолдау қажеттілігі "жасыл" экономикаға көшу жөніндегі тұжырымдама сияқты мемлекеттік құжаттарда, сондай-ақ Қазақстанның халықаралық бастамаларында, мысалы, "Жасыл көпір" серіктестік бағдарламасында жазылған. Онда "Таза" энергетика саласында технологиялар мен тәжірибе алмасуға баса назар аударылды.

Қазір әлемде ЖЭК қарқынды дамуы байқалуда: 2015 жылы олар адамзаттың барлық энергия тұтынуының шамамен 19,3% - ын қамтамасыз етті және бұл көрсеткіш өсіп келеді. 2017 жылы жаңғыртылатын көздердегі электр станцияларының жалпы өндірісі 2,2 мың гигаваттқа жетті. Салыстыру үшін, 2019 жылдың басында Қазақстанның барлық электр станцияларының белгіленген қуаты 21,9 гигаватт болды. Бұл ретте барлық энергияның шамамен 80% көмірде өндіріледі.

"Жасыл" энергетикаға көшу, "жасыл" технологияларды енгізу – жаһандық экономиканың өсіп келе жатқан векторы. Қазақстан қойнауындағы орасан зор табиғи байлықтардың болуына қарамастан, жаңартылатын энергия көздерін белсенді дамытуға ниетті. Біздің "Қазақстан-2050" стратегиямызда осындай міндеттер қойылған", – деп атап өтті Қазақстанның Тұңғыш Президенті Нұрсұлтан Назарбаев.[1]

Мұндай жаңғырту 2013 жылдың мамыр айында қабылданған "Жасыл" экономикаға көшу жөніндегі тұжырымдамада жазылған. Құжатта "Жасыл" экономика мемлекеттің тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін маңызды делінген.

Есеп бойынша, 2050 жылға қарай "Жасыл" экономика аясындағы өзгерістер ЖІӨ-ні 3% - ға ұлғайтуға, 500 мыңнан астам жаңа жұмыс орындарын құруға, сондай-ақ өнеркәсіп пен қызмет көрсету саласының жаңа салаларын қалыптастыруға және қазақстандықтар үшін өмір сапасының жоғары стандарттарын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Бұл ретте мұндай көшу үшін қажетті инвестициялар көлемі жыл сайын ІЖӨ-нің 1% - ға жуығын құрауы тиіс еді, ол кезде жылына 3-4 млрд долларға тең болды.

Тұжырымдамаға сәйкес, Қазақстанда баламалы және жаңартылатын электр энергиясының жалпы өндірісіндегі үлесі 2020 жылға қарай 3% – ға, 2030 жылға қарай 30%-ға және 2050 жылға қарай 50% – ға жетуі тиіс.[1]

Министрліктің мәліметінше, қазіргі уақытта Қазақстанда жиынтық қуаты 1050,1 МВт (19 ЖЭС–283,8 МВт; 31 КЭС–541,7 МВт; 37 СЭС – 222,2 МВт; 3 БиоЭС – 2,42 МВт) жететін 90 нысаны (ЖЭК) бар. 2019 жылдың басынан қуаты 504,55 МВт болатын ЖЭК 21 объектісі пайдалануға берілді. Ағымдағы жылы ЖЭК санын 90-нан 108 жобаға дейін жеткізу жоспарланып отыр, олардың жалпы қуаты 1655 МВт болады.[2]

2018 жылдан бастап ЖЭК жобаларын іске асыру үшін іріктеу аукцион бойынша өтеді. Бұл жобалар мен инвесторларды іріктеу процесін ашық әрі түсінікті жасауға жасауға мүмкіндік берді. 2018-2019 жылдардағы аукциондық халықаралық сауда-саттықтар электрондық форматта өткізілді жалпы жиынтық қуаты 1205 МВт.

Саудаға 12 елден 138 компания қатысты: Қазақстан, Қытай, Ресей, Түркия, Германия, Франция, Болгария, Италия, БАӘ, Нидерланды, Малайзия, Испания. Аукциондық саудаға қатысушылар қойылған 1205 МВт-қа, қуаты 3893,52 МВт жобаларны ұсынды, бұл сұраныстан 3,2 есе асып түсті.

Бұдан басқа, аукционға қатысушылардың өтінімдері бойынша жел электр станцияларының (ЖЭС) электр энергиясына тарифтердің орташа есеппен 10,6% - ға, шағын гидроэлектр станцияларына (ГЭС) 14,5% - ға, күн электр станцияларына (СЭС) 36% - ға төмендегенін атап өту қажет. Бұл ретте, жекелеген жобалар бойынша тарифтердің барынша төмендеуі КЭС – 51%, ЖЭС және СЭС – 23% құрады.[2]

Жаңартылатын энергетика нарығы жыл сайын өсіп келеді. 2019 жылы "жасыл" энергия 2018 жылдың сәйкес кезеңімен салыстырғанда 77,8% өсіммен 2,4 млрд кВт·с өндірілді. Электр энергиясын өндірудің жалпы көлеміндегі ЖЭК үлесі-2,3%. 2019 жылы ЖЭК 21 объектісі пайдалануға берілді. ЖЭК жобалары бойынша тартылған инвестициялардың жалпы көлемі 613 млн.[3]

2020 жылы жалпы қуаты 605,5 МВт болатын тағы 18 ЖЭК объектісін іске қосу жоспарлануда. Нұрлан Ноғаев атап өткендей, аукциондар 2019 жылғы халықаралық сауда-саттықтар жиынтық қуаты 255 МВт болатын ЖЭК жобалары үшін электрондық форматта өткізілді. Аукциондық сауда-саттықтың қорытындысы бойынша 12 компания жиынтық қуаты 202 МВт болатын ЖЭК (РФ) электр энергиясын бірыңғай сатып алушымен 15 жылға келісім-шартқа қол қойды.[3]

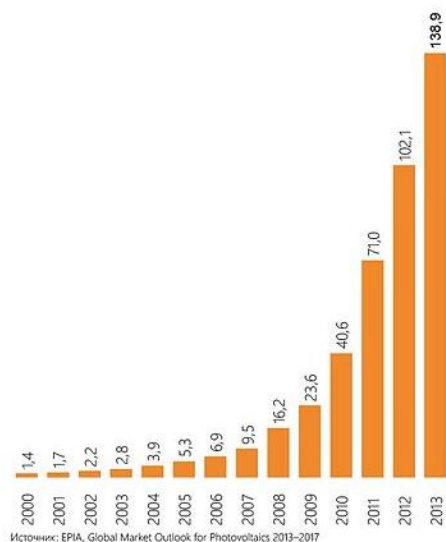
## **2 Күн энергетикасы**

### **2.1 Күн энергетикасының артықшылықтары мен кемшіліктері**

Күн энергетикасы - қандай да бір түрде энергия алу үшін күн сәулесін тікелей пайдалануға негізделген баламалы энергетика бағыты. Күн энергетикасы жаңартылатын энергия көзін пайдаланады және "экологиялық таза" болып табылады, яғни белсенді пайдалану фазасы кезінде зиянды қалдықтарды өндірмейді.

Күн ортасынан бір астрономиялық бірлік қашықтықта (жер атмосферасына кіре берісте) сәулелену ағынына перпендикуляр орналасқан 1 м<sup>2</sup> алаң арқылы өтетін күн сәулесінің ағыны 1367 Вт/м<sup>2</sup> (күн тұрақтысы) тең. Жұтылу салдарынан, жердің атмосфералық массасынан өту кезінде, теңіз деңгейінде (экваторда) күн сәулесінің ең көп ағыны — 1020 Вт / м<sup>2</sup>.

Әлемде соңғы бес жылдағы энергетиканың жылдық өсімі орта есеппен 50% құрады. Күн сәулесінің негізінде алынған энергия 2050 жылға қарай адамзаттың электрге деген қажеттілігінің 20-25% - ын гипотетикалық тұрғыда қамтамасыз ете алады және көмірқышқылының шығарындыларын қысқартады. Халықаралық энергетикалық агенттік (IEA) сарапшыларының пайымдауынша, күн энергетикасы 40 жылдан кейін озық технологияларды таратудың тиісті деңгейінде 9 мыңға жуық тераватт-сағат немесе барлық қажетті электрдің 20-25% өндіреді және бұл көмірқышқыл газының шығарындыларын жыл сайын 6 млрд тоннаға қысқартуды қамтамасыз етеді.



### 1-сурет – Күн генерациясының экспонентасы

1-суретте бүкіл әлем бойынша күн энергиясы генерациясының 2000-2013 жылдар аралығындағы көрсеткіштері берілген. Қуат өлшемі ГВт-пен берілген. Әлем бойынша күн энергиясын қолдану жыл сайын артып келеді және фотоэлектрлік панельдердің бағасы төмендеп келеді. Бұл күн энергетикасының болашағының зор екендігін көрсетеді.

Күн энергетикасының артықшылықтары мен кемшіліктері келесідей.[6]

*Артықшылықтары:*

- Жаңғыртылатын энергия көзі. Күн энергиясы сарқылмайды және тұрақты.
- Энерготасымалдаушылардың дәстүрлі түрлеріне бағаның тұрақты өсуі жағдайында күн энергия көзінің перспективалығы, қол жетімділігі және сарқылмауы.
- Қоршаған орта үшін толық қауіпсіз. Дегенмен күн энергетикасын барлық жерде енгізу жер бетіндегі альбедоны (шағылысу (шашырату) қабілетінің сипаттамасы) өзгерте алады және климаттың өзгеруіне әкеледі (алайда энергияны тұтынудың қазіргі деңгейінде бұл өте екіталай). Күн электр станцияларын өндіру, тасымалдау, монтаждау және пайдалану атмосфераға зиянды шығындар шығармайды. Шығарса да, олар шамалы шамада, дәстүрлі энергия көздерімен салыстырғанда, қоршаған ортаға әсер нөлдік мәнде.

- Күн энергиясының әлеуеті зор - жер беті күн сәулесінің 120 мың тераваттарымен сәулеленеді, ал бұл жалпы әлемдік қажеттіліктен 20 мың есе артық.

- Қол жетімділік. Күн энергиясы әлемнің әр нүктесінде – жердің экваторлық аймағында ғана емес, солтүстік ендіктерде де қол жетімді.

- Шусыз. Күн ресурсындағы жүйелерде, мысалы ешқандай қозғалатын тораптар жоқ болғандықтан, электр энергиясын өндіру шусыз жүреді.

- Кең қолдану аймағы. Күн энергиясы қосымшалардың кең спектріне ие - бұл орталықтандырылған электрмен жабдықтау жүйесіне қосылмаған аймақтарда электр энергиясын өндіру және Африкада суды тұщыландыру, тіпті жер маңындағы орбитада спутниктерді энергиямен жабдықтау. Күн энергиясын соңғы уақытта "Халықтық" деп атайды – бұл атау фотоэлектрлік және жылу элементтерінде қолдану кезінде қарапайымдылығын көрсетеді.

- Инновациялық технологиялар. Жыл сайын күн батареяларын өндіру саласындағы технологиялар неғұрлым жетілдірілген болып келеді. Нанотехнологиялар мен кванттық физика саласындағы заманауи жетістіктер күн панельдерінің қуатын 3 есе ұлғайтуға мүмкіндік береді.

*Кемшіліктері:*

- Сирек элементтерді қолдануға байланысты конструкцияның жоғары құны.
- Тұрақсыздығы. Күн сәулесі түнгі уақытта, сондай-ақ бұлтты және жаңбырлы күндері жоқ болғандықтан, күн энергиясы электр энергиясының негізгі көзі бола алмайды. Бірақ, жел генераторларымен салыстырғанда, бұл әлі де тұрақты нұсқа.

- Энергияны шоғырландырудың жоғары құны. Энергияны жинақтауға және тегістеуге мүмкіндік беретін аккумуляторлық батареялар әрбір үй иегеріне қол жеткізе алмайтын жоғары бағадан ерекшеленеді. Электр энергиясын тұтынушының тәуліктің жарық уақытына тура келуі жағдайды жеңілдетеді.

- Қымбат және сирек компоненттерді қолдану. Жұқа пленкалы күн панельдерін шығару кадмий теллуридін (CdTe) немесе мыс индий галлий селенидін (CIGS) енгізуді талап етеді, олар сирек және қымбат тұрады - бұл тұтастай алғанда баламалы энергиямен жабдықтау жүйесінің қымбаттауына әкеп соғады.

- Аз қуат тығыздығы. Электр энергиясы көзінің маңызды параметрлерінің бірі – Вт/м<sup>2</sup>-мен өлшенетін және аудан бірлігінен алуға болатын энергия мөлшерін сипаттайтын қуаттылықтың орташа тығыздығы болып табылады. Күн сәулесі үшін бұл көрсеткіш 1370 Вт/м<sup>2</sup> құрайды - бұл басқа жаңартылатын табиғи ресурстардан көп, бірақ мұнайға, газға, көмірге және атом энергетикасына қарағанда төмен. Осы себепті, күн энергиясынан 1 кВт электр энергиясын өндіру үшін күн панельдерінің едәуір алаңы қажет.

## **2.2 Күн электр станциясы. Түрлері**

Күн электр станциясы (КЭС) — күн радиациясын электр энергиясына түрлендіретін инженерлік құрылыс. Күн радиациясының түрлендіру тәсілдері

әртүрлі және электр станциясының құрылымына байланысты. Ол кез келген объектілерді электрмен жабдықтаудың ең экологиялық, қолжетімді және экономикалық тиімді көзі. Оны кез келген нысанды электрмен жабдықтау үшін пайдалануға болады: саяжайлар, үйлер, коттедждер, кәсіпорындар, кеңсе, қонақ үйлер және т. б. Олардың танымалдығының қарқынды өсуіне үйлердің, компаниялардың және тіпті тұтас қалалардың күн және жел энергетикасының пайдасына генерацияның дәстүрлі (атмосфераны ластаушы) түрлерінен толық бас тартуы әсер етуде. Кәсіби жобаланған және салынған күн электр станциясы ең аз қызмет көрсетуді талап етеді және бастапқы салымдарды бірнеше рет төлеп, он жылға сапалы энергиямен жабдықтауды қамтамасыз етеді.

Барлық күн электр станциялары (КЭС) бірнеше түрге бөлінеді:

- Мұнара типті КЭС
- Тарелкалы үлгідегі КЭС
- Фотоэлектрлік модульдер (фотобатареи) пайдаланатын КЭС
- Параболалық концентраторларды пайдаланатын КЭС
- Стирлинг қозғалтқышы бар КЭС
- Аралас КЭС
- Аэростатты күн электр станциялары

### *2.2.1 Мұнара типті КЭС*

Мұнара типті электр станциялары күн радиациясын пайдаланып қайнаған су буын алуға негізделген. Станция ортасында биіктігі 18-ден 24 метрге дейінгі мұнара орналасқан (қуаты мен кейбір басқа параметрлерге байланысты биіктігі көп немесе аз болуы мүмкін), оның үстіне су резервуары орналасқан. Бұл резервуар жылу және көрінетін сәулелену жұтылу үшін қара түске боялған. Сондай-ақ бұл мұнарада мұнарадан тыс орналасқан турбогенератордан резервуарға су жеткізетін сорғы тобы бар. Мұнарадан шеңбер бойымен белгілі бір қашықтықта гелиостаттар орналасады (2-сурет).

Гелиостат – тіректе бекітілген және позициялаудың жалпы жүйесіне қосылған бірнеше шаршы метр алаңы бар айна. Яғни, күннің орналасуы бойынша гелиостат күн сәулесі қабылдағышқа тура шағылысатындай қозғалып отырады. Ашық күн ауа райында резервуардағы температура 700 С<sup>0</sup>-ге жетуі мүмкін. [7]



**2-сурет – Мұнара типті күн электр станциясы**

### *2.2.2 Тарелкалы үлгідегі КЭС*

КЭС-тің бұл түрі мұнаралы КЭС-ке ұқсас электр энергиясын алу принципін пайдаланады, бірақ станцияның өзінің конструкциясында айырмашылықтар бар. Станция жеке модульдерден тұрады. Модуль қабылдағыш пен шағылдырғыштың фермендік құрылымы бекітілетін тіректен тұрады. Қабылдағыш шамамен шағылысқан күн сәулесінің шоғырлану аймағында орналасқан. Шағылыстырғыш фермада радиалды орналасқан тәрелкеге (осыдан атауы) ұқсайтын нысандағы айналардан тұрады. Бұл айналардың диаметрі 2 метрге жетеді, ал айналардың саны-бірнеше ондаған (модуль қуатына байланысты). Мұндай станциялар бір модульден (автономды), сондай-ақ бірнеше ондықтан (желімен қатар жұмыс істеу) тұрады (3-сурет).[7]



**3-сурет – тарелкалы типті КЭС**

### *2.2.3 Параболалық концентраторларды пайдаланатын КЭС*

Мұндай КЭС электр генерациялайтын қабілеті айналардың шағылысу қабілетіне байланысты. Конструкцияның негізінде тәрелкелердің орнына ұзындығы 50 м-ге дейінгі параболикалық цилиндр болады. Мұндай шағылдырғыштың фокусында сұйық жылу тасығыштың қозғалысына арналған

түтікше орналасқан. Көбінесе бұл рөлді май атқарады. Барлық жолды өту кезінде жылу тасымалдаушы өзінің жылуын суда бере отырып қызады. Ол буға айналып, турбогенераторға жіберіледі. Құрылғы алынған энергияны электр энергиясына түрлендіреді (4-сурет).[7]



**4-сурет - Параболалық концентраторларды пайдаланатын КЭС**

#### *2.2.4 Стирлинг қозғалтқышы бар КЭС*

Стирлинг қозғалтқышы бар КЭС – бұл гелиостанциялардың бір түрі, параболикалық концентраторлардан тұрады. Бұл жерде айырмашылық олардың фокустарында орналасқан конструкцияда ғана. Мұнда стерлинг қозғалтқышы қолданылады, ол маховикті қозғалтқыш болып келеді. Жүйе газ немесе сұйықтық қозғалатын тұйық жұмыс контурымен ұсынылған. Атап айтқанда, КЭС үшін сутегі немесе гелий қолданылады.

Мұндай қондырғының басты айырмашылығы – 34 %-ға дейінгі жиынтық ПӘК.

Күн электр станциясының жұмыс істеу принципіне келсек. Альбедоның арқасында әрбір концентратор 95% күн сәулесін бейнелейді. Олар қозғалтқышқа түседі, оның бір жағы осы есебінен қызады. Екінші жағы қоршаған ауамен салқындатылады, ал жүйе осы уақытта стерлинг поршенін әрі-бері қозғайды, бұл генерацияны 40 кВт энергияға дейін қамтамасыз етеді. Оның бір бөлігі ауа алмасуға және күннен кейін бұрылатын концентратор айналарының орнын ауыстыруға жұмсалады. Бұл шығындарды шегере отырып, 33 кВт "таза" генерация шамасын алуға болады, бұл жоғарыда көрсетілген ПӘК-34% қамтамасыз етеді.

Бұл жағдайда станция электр энергиясына түрлендірілетін поршеньнің тербелісі есебінен жұмыс істейді. ПӘК-і әдеттегі гелиотермалдық қондырғыларға қарағанда шамамен 2 есе жоғары. Бұл сондай-ақ Стирлинг

қозғалтқышы мен параболалық формадағы концентраторлар үйлескен кезде жұмыс саңылауы өте аз болады. Нәтижесінде генератор мен айна арасында ауаны қыздыруға кететін шығындар айтарлықтай төмендейді (5-сурет).



**5-сурет – Стирлинг қозғалтқышы бар КЭС**

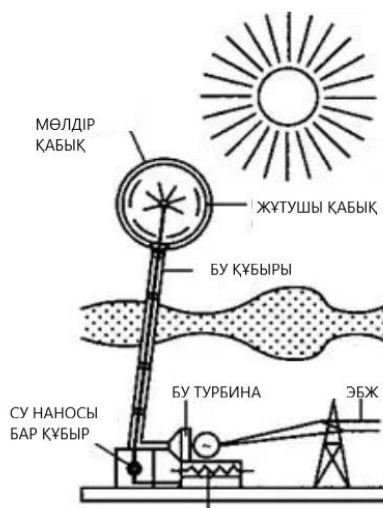
#### *2.2.5 Аралас КЭС*

Аралас КЭС гелиостанциялардың әртүрлі түрлерін біріктіреді. Көбінесе тарелкалы немесе параболалық типті күн батареялары мен концентраторларын біріктіреді. Әр түрлі типті СЭС-те техникалық қажеттіліктер үшін де, ыстық сумен қамтамасыз ету және жылыту үшін де пайдаланылатын ыстық су алу үшін қосымша жылу алмасу аппараттары орнатылады. Бұл құрамдастырылған СЭС мәні. Сонымен қатар, бір аумақта концентраторлар мен фотобатарларды қатар орнатуға болады, бұл да аралас СЭС деп есептеледі.

#### *2.2.6 Аэростатты күн электр станциялары*

Аэростатты КЭС 2 типті болады: біріншісі — күн элементтері аэростаттың бетінде орналасады. Бұл ретте ПӘК күн батареяларының ПӘК-інен аспайды және шамамен 15% құрайды (шектерде 40% - ға жетуі мүмкін). Екінші типті конструкцияда рефлектор ретінде газ қысымынан иілген параболикалық, күн энергиясының концентрациясы үшін қызмет ететін металданған пленка қолданылады. Күн батареяларымен және кез келген шағылыстырғыш беттермен салыстырғанда шаршы метрдің құны аз болып келеді. 20 км-ден астам биіктікте орналасатын аэростат бұлтты ауа райы кезінде көлеңкеден қорықпайды, ал ауа ағындарымен қозғала отырып, жел жүктемелерін сезінбейді. Күнге шарды бағдарлау балластты сұйықтықты айдау есебінен(сутегі циклі үшін су) және дәл бағдар — гироскоптармен жүзеге асырылады. Қажет болған жағдайда бір дирижаблде бірнеше жүзуші шар тәрізді модульдер болуы мүмкін (6-сурет).

Қондырғының өзі 4 негізгі бөліктен тұрады. Аэростат – аспанда орналасқан, күн сәулесін жинайды. Шар ішіне су түседі, ол тез қызады, бу пайда болады. Бу құбыры – қысым арқылы бу турбинаға түсіп, оны айналдырады. Турбина – бу ағынының әсерінен ол электр энергиясын өндіреді. Конденсатор және сорғы – турбина арқылы өткен бу суға конденсацияланады және сорғының көмегімен аэростатқа көтеріледі, онда бу тәріздес күйге дейін қайтадан қызады.



**6-сурет – Аэростатты КЭС сұлбасы**

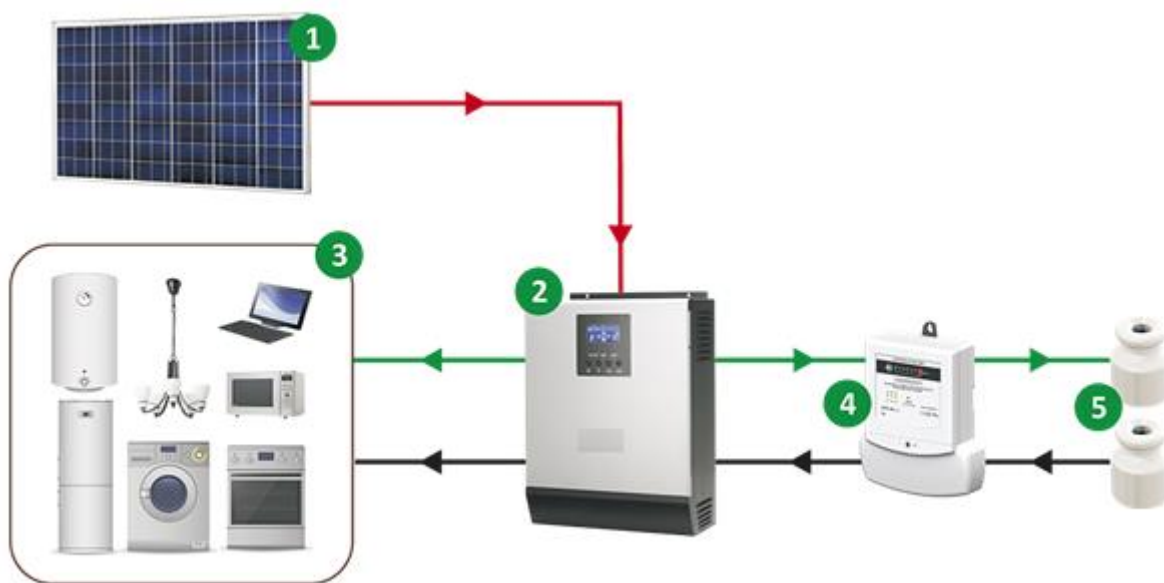
## **2.2.7 Фото электрлік модульдерді қолданатын КЭС**

КЭС-тің классикалық бұл типі өте кең таралған және қолдануға тиімді болып табылады. Жалпы жағдайда КЭС әр түрлі қуатты жеке модульдерден (фотобатареялардан) тұрады. Бұл КЭС шағын және ірі объектілерді (жеке коттедждер, пансионаттар, санаторийлер, өнеркәсіптік ғимараттар және т.б.) энергиямен қамтамасыз ету үшін кеңінен қолданылады. Фотоэлектрлік модульдер мен массивтер тұрақты ток электр энергиясын өндіреді. Олар кез келген талап етілетін кернеу мен тоқтың комбинациясын алу үшін тізбекті және параллельді электр құрылғысына қосылуы мүмкін. Фотобатареялар ғимараттың шатырынан бастап, арнайы бөлінген аумақтармен барлық жерде орнатылуы мүмкін. Орнатылған қуаттар да жекелеген ғимараттарды жабдықтаудан бастап, қалаларды электрмен жабдықтауды аяқтай отырып, кең диапозонда қолданылады.

ФЭМ қолданатын КЭС-тің үш негізгі түрі бар: желілік, автономды және гибриді. Сондай-ақ резервтік электрмен жабдықтау жүйелері бар.

### **2.2.7.1 Желілік күн электр станциясы**

Желілік күн электр станциясы аккумуляторсыз жұмыс істейді және желілік электр энергиясы үшін төлемді азайту үшін пайдаланылады. Жұмыс принципі қарапайым: күннен өндірілген электр энергиясын ішкі желіге жібереді, өнеркәсіптік желіден тек жетіспейтін қуат алынады. Мысалы, егер өндіріс күннен 10 кВт алатын болса, ал тұтыну 15 кВт болса, желіден тек 5 кВт алынады. Керісінше тұтынатын қуат шамасы күн станциясынан алынатын қуат шамасынан аз болса, қалатын қуатты желіге орнатылан тариф бойынша сатуға мүмкіндік болады. Тәуліктің қараңғы уақытында жүйе күту режиміне өтеді және күн шығысымен қайтадан қосылады. Күн электр станцияларының бұл түрі өте тез ақталады (3-5 жыл), қызмет көрсетуді талап етпейді, ал қызмет ету мерзімі 35 жылдан астам уақытты құрайды. Кез келген уақытта желілік күн электр станциясына аккумуляторлы батареялары бар гибриді инверторды қосуға болады, бұл оны гибриді-желілік КЭС-на айналдырады (8-сурет).



1 – фотоэлектрлік модуль; 2 – желілік инвертор; 3 – тұтынушылар; 4 – электр энергиясының есептегіш; 5 – орталықтандырылған электр желісі.

### 7-сурет – Желілік күн электр станциясы қарапайым сұлбасы

Бұл жүйенің негізгі компоненттері күн батареялары және желілік инвертор. Мұндай жүйенің қалыпты жұмыс істеуі үшін сыртқы электр желісіне қосылу қажет. Сыртқы электр желісінің болуы мен сапасы (әрине, күннен басқа) КЭС-тің осы түрінің жұмысы үшін өте маңызды. Ол болмаған немесе нормаларға сәйкес келмеген жағдайда мұндай КЭС ең күн шуақты және күнсіз ауа райында да пайдасыз болады. Орталық электрмен жабдықтауға тәуелділік мұндай КЭС-тің басты кемшілігі болып табылады.

Артықшылығына басқа КЭС типтеріне қарағанда салыстырмалы арзандығы және жүйенің жоғары жалпы ПӘК-і (90–95 %). Бұл екі артықшылығы осы типті КЭС-тен электр энергиясын өндіру және сатуда қызығушылықты арттырады.

Желілік күн электр станциясы-электр энергиясын өндіру және сату үшін оңтайлы таңдау.

#### 2.2.7.2 Автономды күн электр сатанциясы

Автономды күн электр станциясы өнеркәсіптік желі жоқ жерде электрмен жабдықтау үшін салынады. Ол күн энергиясын тұтынушыны қоректендіруге бағыттайды, ал артығын аккумулятор батареяларында сақтайды. Тәуліктің қараңғы уақытында барлық электрмен жабдықтау аккумуляторлардан жүзеге асырылады. Егер күн электр станциясына контроллері бар жел генератор қосса, онда жел болған кезде ол кез келген уақытта АКБ зарядтай алады – электр станциясының мұндай түрі автономды күн-жел электр станциясы деп аталады.



**8-сурет – Автономды күн-жел электр станциясының қарапайым сұлбасы**

КЭС-тің бұл түрі сыртқы электр желісін қажет етпейді. Оны бірінші іске қосу үшін зарядталған аккумулятор батареялары (АКБ) қажет. Мұндай автономдық, сөзсіз, сыртқы электр желісі тұрақсыз немесе мүлдем жоқ жерлерде үлкен артықшылыққа ие болып табылады. Осы типті КЭС автономды жұмысының ұзақтығы АКБ массивінің шамасымен анықталады (8-сурет).

Мұндай жүйенің негізгі компоненттері күн батареялары, автономды инвертор, АКБ және АКБ зарядының контроллері болып табылады. Электр станцияларының бұл түрі желіден ажырату кезінде сенімді қорғанысқа айналады.

#### **3 Күн панелі немесе фотоэлектрлік модуль**

### 3.1 Кремний негізіндегі күн панельдері

Дипломдық жұмыс барысында қарастырылатын ең басты элемент ол күн панелі болып келеді. Біз күн панелінің эффективті жұмысына қоршаған орта әсерін бақылау бойынша жұмысты қарастырудамыз. Сондықтан, оның әр түрлі типтері және олардың құрылысы мен жұмысымен танысып өткен жөн.

Күн панелі (КП) немесе фотоэлектрлік модуль(ФЭМ) – күннің сәулесі энергиясын тұрақты токқа түрлендіретін ток көзі. Ол шала өткізгіштік фотоэлектрлі түрлендіргіштен (ФЭТ) құралған. ФЭТ-тер тізбектей және параллель қосылады, сол арқылы ток пен кернеу өндіріледі. Элементтер тізбектей жалғанғанда шығыс кернеу артады, ал параллель жалғанғанда шығыс ток артады. Ток пен кернеу мәндерін бірдей арттыру үшін екі жалғану тәсілін құрамдастырып жасайды. Сонымен қатар, осы жалғану тәсілінде жеке бір күн элементінің істен шығуы барлық тізбектің істен шығуына әкеліп соқпайды, яғни барлық батареяның жұмыстық сенімділігі артады.

Жеке күн элементтерінің ЭҚК-і олардың ауданына тәуелді емес және батарея күнмен қыздырылғанда шамамен  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  градуста 4% төмендейді. шығу тогы күн сәулесінің қарқындылығына және күн элементтерінің мөлшеріне байланысты. Күн сәулесі жарқыраған сайын, күн элементтерімен соғұрлым көп ток жасалады. Зарядтау тогы және бұлтты ауа райында берілетін қуат күрт төмендейді. Бұл ток батареясының азаюынан болады.

Күн панелінің типтерін жасалу технологиясы мен материалдары бойынша кремний негізінде және пленкалы деп бөледі.

Қазіргі таңда кремний негізіндегі күн панельдері барлық шығарылатын күн панельдерінің шамамен 85% құрайды. Бұл көрсеткіш тарихи қалыптасқан жағдайдың әсерінен болған. Яғни күн панелінің өндірісінде басты қолданылатын материалы кремний болып саналатын ауқымды технологиялық дайындама және микроэлектрондық өндірістік инфраструктура қолданылған. Сонымен қатар, кремний жер қыртысында көп таралған элемент және әртүрлі мәліметтер бойынша жер қыртысының 27-29% құрайды. Осылайша, қазіргі таңда қолда бар кремний қорымен күн энергиясынан электр энергиясын өндіруге ешқандай физикалық кедергі жоқ.

Кремний негізіндегі күн панельдері үш негізгі типке бөлінеді. Олар монокристалды кремний негізіндегі, поликристалды немесе мультикристалды кремний негізіндегі және аморфты болып келеді.

#### 3.1.1 Монокристалды күн панельдері

Монокристалды кремний негізіндегі күн батареясы бір-бірімен жалғанған силиконды ұяшық болып табылады. Оларды жасау үшін максималды таза кремний қолданылады. Оларды Чохральсков тәсілі арқылы жоғары таза кремний кристалдарын құю арқылы алады, онда балқыма кристаллды улаумен байланысқа түсіп қатая бастайды. Салқындату процесінде кремний біртіндеп

цилиндрлік құйма түрінде диаметрі 13-20 см монокристалл түрінде қатып қалады, оның ұзындығы 200 см-ге жетеді. Дайын монокристалл қалыңдығы 250-300 мкм болатын жұқа пластиналарға бөлінеді. Кремний металл электродтар торынан өтеді. Қолданылатын технология салыстырмалы қымбат болып келеді, сондықтан монокристалды батарея поликристалды және аморфтыға қарағанда қымбат болып келеді. Мұндай элементтер басқа тәсілдермен өндірілетін элементтермен салыстырғанда анағұрлым жоғары тиімділікке ие, ПӘК-і электрондардың қозғалғыштығының өсуіне ықпал ететін монокристалл атомдарының ерекше бағдарының арқасында 17-22% - ға жетеді. Дәстүрлі монокристалды модульдер алюминий рамкасына салынған және соққыға қарсы шынымен жабылған. Монокристалды Фото-элементтердің түсі-қара-көк немесе қара (9-сурет).

Монокристалл кремний негізіндегі батареялардың артықшылығы:

1. Жоғарғы ПӘК - 17-22%.
2. Ықшамдылық- поликристалды кремнийлі панельдермен салыстырғанда қуат бірлігіне есептелген жабдықты орналастырудың аз ауданы.
3. Ұзаққа жарамдылығы - электр энергиясын өндірудің жеткілікті тиімділігі 25 жылға дейін қамтамасыз етіледі.

Мұндай батареялардың екі кемшілігі бар:

1. Жоғары күн және ұзақ өтелімділік.
2. Ластануға сезімталдық. Шаңнан ПӘК күрт төмендейді.



**9-сурет – Монокристалды кремний негізіндегі элемент**

### *3.1.2 Поликристалды күн панельдері*

Монокристалды кремнийдің баламасы-поликристалды кремний. Поликристалды күн батареясын өндіру үшін арнайы әзірленген тиглдегі бағытталған кристалдау әдісі бойынша өндірілген неғұрлым арзан кремний қолданылады. Поликристалл алу үшін кремний балқымасы баяу салқындатылады. Нәтижесінде алынатын кремнийлі пластиналар көптеген ұсақ түрлі бағыттағы кристаллдардан тұрады (типтік өлшемдері 1-10мм) . Бұл

технология аз энергия шығынын талап етеді, демек, оның көмегімен алынған кремнийдің өзіндік құны аз.

Поликристалды кремний панельдері (multi-Si) кристалдардың жан-жақты бағытталуына байланысты қарқындылығы бойынша біркелкі емес көк түсті болып келеді. Оларды өндіру кезінде пайдаланылатын кремнийдің тазалығы монокристалды аналогтарға қарағанда біршама төмен.

Кристалдардың әр түрлі бағыттылығы шашыраңқы жарық кезінде ПӘК-тің жоғарғы мәнін қамтамасыз етеді-12-18%. Ол бір бағыттағы кристалдарға қарағанда төмен, бірақ бұлтты ауа райы жағдайында мұндай панельдер тиімдірек болады.

Поликристалды панельдер күнге тура бағытта тұрақты қозғалысты талап етпейді, сондықтан оларды орналастыру үшін үйлер мен өнеркәсіптік ғимараттардың шатырлары белсенді пайдаланылады.

*Поликристалды күн батареясының артықшылықтары:*

1. Шашыраңқы жарық жағдайында жоғары тиімділік.
2. Ғимараттардың шатырларында стационарлық монтаждау мүмкіндігі.
3. Монокристалды панельдермен салыстырғанда аз құны.
4. Пайдалану ұзақтығы - 20 жылдан кейін тиімділіктің төмендеуі тек 15-20% құрайды.

*Поликристалды панельдерде де кемшіліктер бар:*

1. 12-18% мәні бар төмен ПӘК.
2. Салыстырмалы үлкендігі - монокристалды аналогтармен салыстырғанда қуат бірлігіне есептелген орнату үшін көп кеңістік қажет.

Поликристалды күн панельдері басқа кремний батареяларының арасында үлкен нарықтық үлес алады. Бұл оларды өндіру құнын арзандату үшін кең әлеуетті мүмкіндіктермен қамтамасыз етіледі. Жыл сайын мұндай панельдердің ПӘК-і ұлғайып, жаппай өнімдерде 20% - ға тез жақындап келеді (10-сурет).



**10-сурет – Поликристалды кремний негізіндегі элемент**

### **3.2 Аморфты кремний негізіндегі күн панельдері**

Егер қолданылатын материалға байланысты бөлу жүргізілсе, онда аморфты батареялар кремний батареяларына жатады. Ал егер өндіріс технологиясына байланысты бөлсе пленкалы батареяларға жатады. Аморфты

кремнийден күн панельдерін өндіру механизмі кристалды фотоэлектрлік элементтерді дайындаудан мүлдем өзгеше. Аморфты панельдер өндірісінде кристалды кремний емес, жұқа қабатпен төсеніш материалына жағылатын силан немесе кремний сутегі пайдаланылады. Яғни, мұнда таза металл емес, оның гидридін пайдаланылады. Гидридтің ыстық булары төсеніш материалына отырғызылады. Бұл технология нәтижесінде классикалық кристалдар түзілмейді, ал өндіріс шығындары күрт төмендейді. Өндірістік технологияның ерекшеліктерінің есебінен кремний қабатын қатты және иілгіш төсеніште жасауға болады. Осыған байланысты аморфты кремнийден жасалған модульдер икемді жұқа пленкалы күн модульдерінде белсенді қолданылады. Элементтердің қалыңдығы 1 мкм аз болып келеді (11-сурет).



**11-сурет - Аморфты кремний негізіндегі иілгіш ФЭТ**

Аморфты кремний негізіндегі күн батареялары ең төменгі ПӘК-ке ие. Әдетте оның мәні 5-8% шегінде. Алайда, фотоэлектрлік түрлендіргіштердің барлық кремний технологияларының арасында олар ең арзан электр энергиясын өндіреді. Соңғы әзірлемелердің аморфты панельдерінің тиімділігі 12%-ға дейін ие, бірақ олардың құны әлдеқайда қымбат болып келеді.

Аморфты кремнийдің физикалық-химиялық құрылымы электр энергиясын генерациялау үшін әлсіз шашыраңқы жарықтың фотондарын барынша жұтуға мүмкіндік береді. Оптикалық жұтылу көрсеткіші поликристалды және монокристаллдарға қарағанда 20 есе жоғары. Сондықтан мұндай панельдер үлкен бос ауданды бар солтүстік аймақтарда қолдануға ыңғайлы. Аморфты кремний негізіндегі батареялардың тиімділігі жоғары температурада да төмендемейді.

### **3.3 Пленкалы күн панельдері**

Пленкалы панельдер-күн энергиясындағы қуат көздерін дамытудың келесі қадамы. Бірінші кезекте батареялар өндірісінің бағасын төмендету және техникалық сипаттамалары мен энергия тиімділігін арттыруға ұмтылу қажеттілігінен туындаған қадам.

Пленкалы күн панельдері полимерлі, кадмия теллурид негізіндегі, мыс-индия селенид негізіндегі және аморфты болып келеді.

Кадмий - бұл 70-ші жылдардағы күн батареялары үшін материал ретінде ашылған жарық жұтудың жоғары деңгейіне ие материал. Сол уақытта ол ғарышта пайдалану үшін оңтайлы нұсқалардың бірі ретінде қарастырылды. Бүгінгі күні бұл материал тек ғарышта ғана емес, жер маңындағы орбитада қолданылады. Сонымен қатар күнделікті, үйде пайдаланылатын күн панельдері үшін материал ретінде белсенді қолданылады.

Мұндай материалды қолданудың ең басты мәселесі - оның улылығы. Алайда, зерттеулер атмосфераға кететін кадмия деңгейі адам денсаулығына зиян келтіру үшін тым аз деп атайды. Сондай-ақ, 10% шамасындағы төмен ПӘК болғанына қарамастан, мұндай батареялардағы қуат бірлігі аналогтарға қарағанда арзан.

CIGS негізіндегі күн панельдері. CIGS - мыс, индий, галлия және селеннен тұратын жартылай өткізгіш. Күн батареяларының бұл түрі де пленкалы технологиямен орындалған, бірақ теллурид кадмий панельдерімен салыстырғанда анағұрлым жоғары тиімділікке ие, оның ПӘК-і 15% - ға дейін жетеді.

Полимерлі күн батареяларының түрі ойлап табылғанына көп болмаған. Бұл жерде өткізгіш ретінде полифенилен, фуриллена, фталоцианин мыс қолданылады. Пленка өте жұқа — 100 нм шамасында. ПӘК-нің төмен деңгейіне қарамастан, шамамен 5%, күн батареяларының осы түрін неге таңдау керек деген себептерді атап өтуге болады: материалдардың қолжетімділігі, арзанырақ, атмосфераға зиянды заттарды бөлмеуі.

## **4 Күн панеліне сыртқы орта әсерлері**

### **4.1 Күн панеліне әсер ететін факторлар**

Қазіргі таңда күннен алынатын энергияға сұраныстың артуының есебінен, күн энергиясын толыққанды зерттеу талабы қойылып отыр. Осыған орай ең бірінші зерттеу керек нәрсе – оның қандай жағдайларда, энерго тиімділігі артады және қандай жағдайларда энерго тиімділігі төмендейді. Осыдан оған әсер ететін факторларды анықтап зерттеу, қажеттілігі туындайды. Енді ол факторларды біле отырып, біз панелден максимум энергияны өндіріп алу мүмкіндігіміз болады.

Күн панеліне әсер ететін факторлар:

- a) Климаттық және географиялық жағдайлар;
- b) КП-нің шамадан тыс қызуы немесе көлеңкеленуі;
- c) Сымдардағы, инвертордағы, контроллердегі энергия шығындары;
- d) Уақыт өте келе КП-нің тозуы;
- e) Шаң, кір және ауаның ластануы есебінен қуаттың төмендеуі;
- f) Жарықтандырудың біркелкі болмауы;
- g) Күн мен түннің ауысуы.

Мына факторлар физикалық түрде әсері болмағанымен, КП-нің тиімділігіне әсер етеді:

- a) Ауа құрамы;
- b) Желдің әсері, бағыты;
- c) Қысымның әсері;
- d) Ылғалдылық әсері.

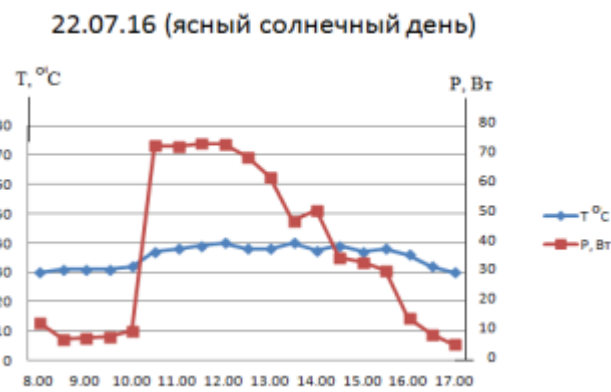
Ал мына факторлардың әсері өзгеруі мүмкін:

- a) жыл маусымына байланысты;
- b) географиялық орналасуы;
- c) монтаждау тәсілдері;
- d) КП-нің азимут және көлбеу бұрышы.

#### *4.1.1 Күн сәулесінің радиациясы*

Жер бетіне түсетін күн энергиясының мөлшері атмосфераның жағдайына, күн күнінің ұзақтығына, тәулік уақыты мен жыл мезгілдеріне байланысты екені белгілі. Жер бетіне жететін күн радиациясының санын анықтайтын негізгі атмосфералық құбылыс бұлт болып табылады. Жердің кез келген нүктесінде жер бетіне жететін күн радиациясы бұлттылықтың ұлғаюымен, азаяды. Күн панелдері ауа райы мен климатқа өте қатты тәуелді болып келеді. Күн бұлтты кездері және туман кездері күн панелдері тиімділігі төмендейді. Күнің ысуының өзіндік тигізетін зардабы жоғары. Осыған байланысты көптеген эксперименттік тәжірибелер жасалынған соның бірі: Климаты Қазақстанға жақын, Тәжікстан астанасы Душанбеде өткізілге зерттеу. Осы жұмыста Душанбе қ. климаттық жағдайлардағы КП жұмыс параметрлеріне ауа райының (жауын-шашынның, температураның) әсері зерттелді. Душанбе қ.климаттық жағдайлардағы КП жұмысының тиімділігіне ауа-райы жағдайларының әсерін бағалау үшін осы жұмыста КП 2016 жылдың шілдесінен 2017 жылдың наурызына дейінгі кезеңде тестілеу жүргізілді және әр түрлі күндер мен жыл мезгілдерінде КП жұмысының статистикалық деректері алынды: күн, бұлтты, жаңбырлы күндер және қар жамылғысы бар күндер. Күнінің ұзақтығы 10 сағ болды.

Астындағы суретте 22.07.16 (ашық күн), 05.07.16 (бұлтты күн), 19.12.16 (қар жамылғысы) және 13.02.17 (ауыспалы бұлттылық) бейнеленген (12-сурет).



## 12-сурет – Уақыт, ауа райы жағдайына және жыл мезгілдеріне байланысты КП электр энергиясының орташа сағаттық өндіруі

Күн радиациясының ең жоғары қарқындылығы 22.07.16 күні - 367 Вт/м<sup>2</sup>, бұлтты күні 05.07.16–148 Вт/м<sup>2</sup>, қар жамылғысы 19.12.16–52 Вт/м<sup>2</sup> және ауыспалы бұлттылық күні 13.02.17–200 Вт/м<sup>2</sup> құрады. 2-кестеде Шілде 2016ж-ақпан 2017ж кезеңінде орташа күндік электр энергиясын өндіруі (Вт/сағ) көрсетілген.[10]

2-кесте – Шілде 2016ж-ақпан 2017ж кезеңінде орташа күндік электр энергиясын өндіру (Вт/сағ).

| Орташа күндік электр энергиясын өндіру (Вт / сағ) | Ашық күн |          | Бұлтты күндер |          | Қар жамылғысы бар бұлтты күндер | Көшпелі бұлт |
|---------------------------------------------------|----------|----------|---------------|----------|---------------------------------|--------------|
|                                                   | 22.07.16 | 16.09.16 | 05.07.16      | 30.09.16 | 19.12.16                        | 13.02.17     |
| Ең аз                                             | 5.48     | 2.11     | 1.5           | 1.59     | 0.12                            | 1.2          |
| Орташа                                            | 36.78    | 41.23    | 11.62         | 9.66     | 4.71                            | 15.21        |
| Ең көп                                            | 72.96    | 74.49    | 19.55         | 17.07    | 10.29                           | 47.57        |
| Жалпы                                             | 699      | 783      | 216           | 184      | 90                              | 289          |

Осы тәжірибеде көріп отырғанымыздай бұлтты күні ашық күнгі өндірілген энергияға қарағанда 72%-ға кем.

КП-нің тиімділігінің өзгеруі жарықтану жағдайларына тікелей байланысты. Себебі, аспан ашық күндері КП-нің тиімділігі шамамен 100% шамасында болса, бұлтты күндері 20-30%-ға дейін түсіп кетеді(3-кесте).

### 3-кесте – КП-не түрлі жарық жағдайларының әсері (толық қуаттан %)

| Жағдай                                                                           | «Толық» күннен % |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Ашық күн- панель күн сәулесіне перпендикуляр орналасқан                          | 100%             |
| Жеңіл бұлттылық                                                                  | 60-80%           |
| Бұлтты                                                                           | 20-30%           |
| Терезе әйнегінің артында, бір қабат шыны және модуль күн сәулесіне перпендикуляр | 91%              |
| Терезе әйнегінің артында, екі қабат шыны және модуль күн сәулесіне перпендикуляр | 84%              |
| Терезе әйнегінің артында, бір қабат шыны және 45° бұрышындағы модуль күн сәулесі | 64%              |
| Кеңседегі жасанды жарық, жазбаша үстел үстінде                                   | 0.4%             |
| Жарық бөлме ішіндегі жасанды жарық (мысалы, дүкен)                               | 1.3%             |

#### 4.1.2 Күн батареясының температурасы

Күн батареясының температурасы күн панелінің тиімділігіне әсер ететін негізгі факторлардың бірі болып табылады. Панелге күннің ашық түскені өте жақсы екенін жоғарыда айтып кеттік, бірақ күннің температурасының қатты қызып кетуі- күн панеліне айтарлықтай зиянын тигізеді. Мысалға күннің температурасының қатты жоғарылауы, күн панелінің жұмысын уақытша тоқтатуға дейін, тіптен кей кездері зақымдануға дейін алып барады.

Эксперименттер нәтижесінде алынған мәліметтерге қарасақ, кейде мынадай жағдайлар кездесіп жатады, 1 күндік жазғы күні өндірілген энергия, 1 күндік қысқы күні өндірілген энергиядан аз болып тұрады. Оның себебі осы КП-нің температурасы көтеріліп кеткендіктен.

Күн батареялары көп жағдайда 25°C кезінде сыналады. Орналасқан жеріне байланысты, температура жоғарылағанда тиімділігі 10-15% -ға төмендетуі мүмкін.

Ыстық күні 40°C кезінде (стандартты жағдайдан 15 градусқа асып кеткен кезде), панельдің максималды қуаты шамамен 7% -ға азаяды.

#### 4-кесте – Түрлі фотоэлектрлік материалдар қуатының температуралық коэффициенттері

| Фотоэлектрлік материалдар |                                                  | Қуаттылықтың температуралық коэффициенті (%/°C) |
|---------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| mono c-Si                 | Монокристаллические                              | -0,40                                           |
| poly c-Si                 | Поликристаллические                              | -0,45                                           |
| $\alpha$ -Si              | Аморфный кремний                                 | -0,20                                           |
| $\alpha$ -Si/ $\mu$ c-Si  | Аморфный кремний с микрокристаллическим кремнием | -0,26                                           |
| CIGS                      | Селенид меди-индия-галлия                        | -0,36                                           |
| CdTe                      | Теллурид кадмия                                  | -0,25                                           |

4-кестеде КП-дің температурасы стандартты температурасынан асқаннан кейін, шығысындағы қуаттың қанша пайызға төмендейтінін көрсетеді. Мысалға кремнилі кристалды панель 0,4 % пайызға төмендейді.

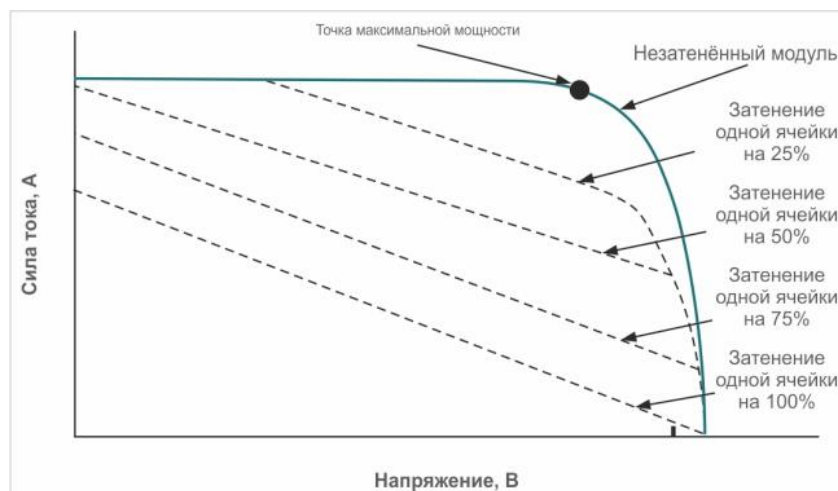
##### 4.1.3 Күн батареяларының жұмысына көлеңкенің әсері

КП-дерін монтаждау кезінде (көбінесе стационар панелде) көлеңкеленуден құтылу мүмкін емес. Әсіресе таңертен және кешкі уақыттарда күн әлде қайда төмен болады. Енді сол әсерін қарастырып өтейік. Күн панеліндегі күн элементтерін труба ретінде қарастырайық, ал өндіріліп жатқан энергияны су ретінде қарастырайық. Күн элементтерінің біріне көлеңке түскен кезде, ол электр энергиясын өндіруді тоқтатады және ток ол арқылы ағуын тоқтады. Бұл трубаның кейбір учаскесіндегі қоқыспен салыстыруға болады. Көлеңкеленген күн элементі бүкіл тізбек бойынша энергия ағынын бұғаттайды.



**13-сурет - Көлеңкеленген күн элементі бүкіл тізбек бойынша энергия ағынын бұғаттау имитациясы**

Осылайша, күн батареясында бір фотоэлементтің шамалы көлеңкеленуі бүкіл күн станциясының электр энергиясын өндірудің елеулі төмендеуіне әкеледі (13, 14-сурет).[11]



**14-сурет – 24 В жүктеме кезінде күн фотоэлементінің вольт-амперлік сипаттамасына көлеңкеленудің әсері**

#### *4.1.4 Күн панелдерінің уақыт өте келе тозуы*

Осы күнге дейін күн батареялары дала жағдайында көптеген қондырғыларда сыналды. Тәжірибе көрсеткендей, күн батареяларының қызмет ету мерзімі 30 жылдан асады. Еуропа мен АҚШ-та 25 жылға жуық жұмыс істеген фотоэлектрлік станциялар қуатының шамамен 10% - ға төмендегенін көрсетті. Осылайша, монокристалды күн модульдерінің нақты қызмет ету мерзімі 30 және одан да көп жыл деп айтуға болады. Поликристалды Модульдер әдетте 20 және одан көп жыл жұмыс істейді. Аморфты кремнийден (жұқа пленкалы немесе икемді) модульдердің қызмет ету мерзімі 7 жылдан 20 жылға дейін болады.

Күн модульдері пайдаланудың алғашқы 2 жылында жылдам тозады. Жұқа пленкалы модульдер пайдаланудың алғашқы 2 жылында 10-нан 30% - ға дейін қуаттан айырылады, сондықтан олар әдетте 15-20% - ға жуық артық қуатқа ие болады. Қазіргі уақытта фотоэлектрлік модульдер нарығының 90% — ға жуығы кристалды кремний модульдерін құрайды, өйткені олардың тозуы әлдеқайда аз, ал қызмет ету мерзімі күн модульдерінің басқа түрлеріне қарағанда көп.

Күн панельдерінің әдеттегі тозуы жылына 0.5% құрайды. Жоғарыда көрсетілгендей, жұқа пленкалы күн панельдері (a-Si, CdTe және CIGS) моно мен поликристалды панельдерге қарағанда тезірек азып-тозады. Төменде 2000 жылға дейін және 2000 жылдан кейін өндірілген күн панельдерінің деградациясы бойынша деректер кестесі келтірілген [12] :

**5-кесте – 2000 жылға дейін және 2000 жылдан кейін өндірілген күн панельдерінің деградациясы бойынша деректер кестесі**

| Күн элементінің түрі             | Жыл ішіндегі қуаттың жоғалуы, % |               |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------|
| Өндірілген жылы:                 | 2000 ж. дейін                   | 2000 ж. кейін |
| Аморфты кремний (a-Si)           | 0.96                            | 0.87          |
| Теллурид кадмия (CdTe)           | 3.33                            | 0.4           |
| Селенид мыс- индий-галлий (CIGS) | 1.44                            | 0.96          |
| Монокристалды кремний (mono-Si)  | 0.47                            | 0.36          |
| Поликристалды кремний (poly-Si)  | 0.61                            | 0.64          |

*4.1.5 Шаң, кір және ауаның ластануы есебінен қуаттың төмендеуі*

Күн батареялары, олар қозғалмайтын конструкцияға жататын болғандықтан, іс жүзінде арнайы техникалық қызмет көрсетуді талап етпейді. Оған көрсетілетін жалғыз қызымет- күн модулдерінің бетінің шаң баспауын қадағалау болып табылады. Күн панельдерінің ластануына байланысты (жиналған шаң мен кір, жапырақтар, құс қалдықтары) фотоэлементтерге жарықтың түсуі айтарлықтай төмендейді, бұл электр энергиясын өндірудің азаюына әкеледі. Есептеулермен эксперименттер көрсеткендей бір шаршы метрлік күн батареясының бетіне, небәрі 4 текше сантиметрлік шаң немесе қоқыс тұрып қалған жағдайда, ол КП- нің тиімділігін 40% - ға дейін төмендетеді (6-кесте).[10]

**6-кесте – батарея бетін шаңнан тазартқанға дейінгі және одан кейінгі КП– нің параметрлерін өлшеу бойынша зерттеулер**

| Тазалағанға дейін |       |                    |                    |                       | Тазалағаннан кейін |                    |                    |                      |             |
|-------------------|-------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-------------|
| Күні              | t, Ч  | U <sub>xx</sub> ,В | I <sub>кз</sub> ,А | P <sub>мах</sub> , Вт | t,Ч                | U <sub>xx</sub> ,В | I <sub>кз</sub> ,А | P <sub>мах</sub> ,Вт | Қуат өсуі,% |
| 18.11.16          | 10.30 | 20.10              | 3.43               | 55.15                 | 10.35              | 20.15              | 3.53               | 56.90                | 3.2         |
| 28.11.16          | 10.30 | 20.60              | 3.60               | 59.33                 | 10.35              | 20.70              | 3.76               | 62.27                | 5           |
| 20.12.16          | 10.30 | 19.70              | 0,19               | 2.99                  | 10.35              | 19.82              | 0.27               | 4.28                 | 43          |

Батареяның бетін шаңнан тазартқаннан кейін тазартылмаған беттермен салыстырғанда 3-тен 43% - ға дейін артады.

#### *4.1.6 Ауа құрамының КП тиімділігіне әсері*

Ғалымдар ауаның құрамы, ауаның шаңы мен антропогендік ластануы күн энергиясының шашырауына алып келуіне байланысты, күн электр станцияларының тиімділігін айтарлықтай төмендететінін дәлелдеді.

Ауадағы қатты шаң бөлшектер саны күн радиациясына қатты әсер етеді, бұл шаң экранының әсері климаттың өзгеруін бағалау кезінде ескереді. 2017 жылы америкалық ғалымдар Үнді және Қытай әріптестерімен бірлесіп, шаң мен ауадағы өнеркәсіптік шығарындыларға байланысты, күн электр стансаларының қаншалықты қуатын жоғалтатынын анықтауға шешім қабылдады.

Ахмадабадтағы ірі үнді қаласында, ғалымдар белгілі бір уақыт аралығында электр станциядағы - күн панельдерінің учаскелерінен шаңның екі үлгісін жинады. Содан кейін үлгілер өлшеп, лазерлік дифракцияның көмегімен бөлшектердің дәл мөлшерін анықтады. Масс-спектрометрия көмегімен олардағы көміртегі, азот және сутегі құрамын анықтады. Ғалымдар Күн панеліне тұнған жалпы шаң массасын ғана емес, сонымен қатар шаңдағы карбонаттар мен силикаттардың үлесін де білді. Бұл үлес ауаның өнеркәсіптік шығарындылармен, иондық аэрозольдармен, көмір мен мұнайдың жану өнімдерімен және адам қызметінің басқа да өнімдерімен ластану дәрежесін көрсетеді, осылайша ол бізге, күн электр станцияларының энергетикалық шығындарының "үлесін" бағалауға мүмкіндік береді.

Ауадағы аэрозоль бөлшектері күн сәулесін шашырататыны белгілі. Зерттеу көрсеткендей, ластанған аудандарда аэрозоль жүктемесінің салыстырмалы-төмен деңгейінен, жоғары деңгейге өту кезінде жарықтың шашырауы үлесі 15-тен 40% - ға дейін артады.

Зерттеушілер ауаның және күн панельдерінің ластануына байланысты Үндістан мен Қытай сияқты мемлекеттер жылына 1 және 11 ГВт электр энергиясын жоғалтады деп есептей алды(2017 ж.) [13]

#### *4.1.7 Жел және ылғалдылық әсері*

Желдің әсері күн секілді тікелей әсер етпейді. Желдің КП-не жақсы жағыда және жаман жағы да бар.

Бірінші жақсы жағына келетін болсақ, Жаздың күні температура қатты көтерілген кезде, желдер күн панелдерін суытады. Және бұл КП – нің энергия өндіруіне айтарлықтай көмегін тигізеді. Себебі суық панелдер ыстық панелге қарағанда энергияны бойынан көп өткізеді. Егер жел күн батареясын 1 температурасын градусқа азайтса, оның тиімділігі 0,05 пайызға артады

Енді жаман жағы: Күн панелдерінің бетіне шаң жиналып қалуының негізгі себептерінің бірі осы – жел болып келеді. Себебі желдің құрамында ауаға қарағанда шаң мен тозаң көп болады. Осыған орай егер КП-і шаңды желді

аймақтарда орналасса оның бетін жиі тазартып отыру керек. Себебі жоғарыда айтып кеткендей, шаң басуы тиімділікті 40% - ға дейін төмендетуі мүмкін.

Ылғалдылық күн панелінің тиімділігін 2 жолмен азайтады.

1) Су немесе су буының кішкентай тамшылары күн панельдерінде (мысалы, КП- нің терінің тамшылары) жиналуы күн сәулесінің шағылысуына немесе сынуына алып келеді. Бұл күн сәулесінің күн панеліне түсу мөлшерін азайтады.

2) Тұрақты ылғалды ауа райында болу күн панелін мерзімінен бұрын тоздыруға алып келеді. Бұл жағдай кремнилі КП үшін және жұқа пленкалы КП үшін де бірдей.

## 5 Оқу-зертханалық стенді (ОЗС)

Фотоэлектрлік модульдерді диагностикалауға (ФЭМД) арналған оқу-зерттеу стендін жасағандағы мақсатымыз - Фото электрлік модульдерге әсер ететін негізгі климаттық факторларды бақылап, жергілікті жер үшін фотомодульдің бірнеше түрлерінің энергияны максималды өндіру жағдайын анықтау және алдағы уақытта өндірілетін энергия шамасын болжау. Сонымен қатар студенттердің жаңғыртылатын энергия саласында білімдерін арттыру және лабораториялық және зертханалық жұмыстар негізінде көрсету.

ФЭМД арналған оқу-зерттеу стенді мүмкіндік береді:

- Күн электр станциясының негізгі бөлшектерімен (Инвертор, аккумулятор, күн панелі, күн трекері, заряд контроллері, мониторинг, т.б.) және жұмыс істеу принципімен танысуға, оны зерттеуге;
- түрлі күн панельдерінің жұмыс принципімен танысуға (монокристалды, поликристалды, аморфты);
- күн панеліне әсер ететін факторларды бақылауға;
- жарықтандырудың әр түрлі жағдайларында олардың жұмыс сипаттамаларын өлшеуге;
- жергілікті жер үшін фотомодульдің бірнеше түрлерінің энергияны максималды өндіру жағдайын анықтауға;
- алдағы уақытта өндірілетін энергия шамасын болжауға;
- Arduino микроконтроллерімен жұмыс істеуге және т.б.

ФЭМД арналған оқу-зерттеу стенді 2 негізгі бөліктен тұрады (15-сурет):

- 1) Екі осьті күн трекері – күн панельдері орналасатын, күнді қуалай қозғалатын конструкция;
- 2) Оқу-зертханалық стенді – зертханалық және лабораториялық жұмыстар барысында трекермен байланысып, басқара жұмыс жасалынатын стенд.



**15-сурет – Оқу зертханалық стенді**

### **5.1 Екі осьті күн трекері**

Күн трекері – бұл трекерде орнатылған электр генерациялайтын жүйелердің немесе жылу энергиясын шоғырландыратын (генерациялайтын) жүйелердің жұмыс беттерін күнге бағдарлауға арналған жүйе. Күн жүйесінің жұмыс беттерін дәл бағдарлау олардың максималды өнімділігіне қол жеткізу үшін қажет. Бұл ретте трекердің міндеті – күн панельдерінің жұмыс бетіне күн құлау бұрышын азайту.

Трекердің міндеті – жүктемелердің жұмыс бетінің көлбеу бұрыштарын, оны қатаң күнге бағыттап орнату. Қарапайым айтқанда, күн сәулесі күн батареясының жазықтығына перпендикуляр құлауы керек.

Трекердің жылжымалы бөлігі 2 актуатор құрылғылардың көмегімен өз жағдайын өзгерте алады. Актуаторлардың күштері 1000 Н, ал ұзындықтары 300 мм және 400 мм болып келеді (16-сурет). Бірінші актуатор трекерді солтүстік және оңтүстік бағытында қозғалтып тұрса, екінші актуатор трекерді шығыс және батыс бағытында қозғалтады.



**16-сурет – Сызықты актуатор**

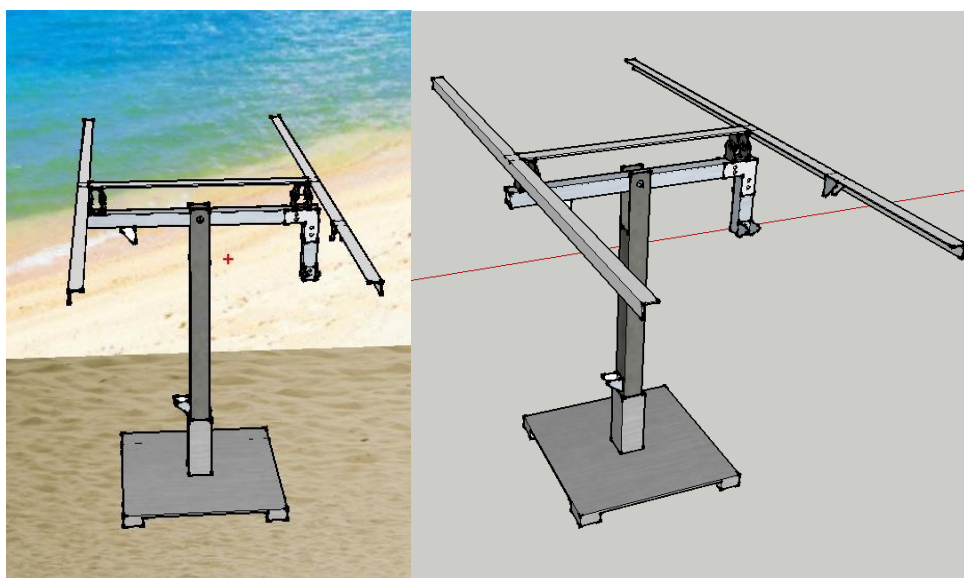
Актуаторларды басқаруға, яғни трекердің қозғалысын басқару үшін күн трекерінің контроллері қолданылады.

Бұл контроллер СК дисплейі бар екі осьті күн трекерін басқару үшін арнайы төрт квадрантты жарық датчигін пайдаланады. Жарық датчигінің сигналын талдай және бағалай отырып, контроллер қозғалтқыштың оң немесе теріс айналуын, әрбір тиісті бағдарды тоқтатуды басқара алады және жүйені күнге дәл бағыттау мақсатына жетеді. Қадағалау дәлдігі  $\leq 1^\circ$  тең. Контроллер 12/24 В кернеуде жұмыс жасайды. Максималды жүктеме тогы 6А. Контроллер арқылы трекер қозғалысын автоматты немесе қолмен басқару режимдерімен басқарса болады (17-сурет).



**17-сурет – Күн трекері контроллері және фотодатчигі**

Алдымен, SketchUp 3D модельдеу бағдарламасы арқылы трекердің бастапқы сұлбасын, өлшемдерімен сызып алдық. Бағдарлама арқылы, оның қозғалысын бақылап, актуаторды таңдауда керекті параметрлерді таңдадық (18-сурет).



**18-сурет – SketchUp бағдарламасындағы трекердің бастапқы сұлбасы**

Өлшемдері, қолданылатын материалдар мен қондырғылар таңдалып, сатып алынды. Трекердің негізгі бөліктері темір материалынан жасалған. Конструкциясы шашылмалы-жиналмалы принципте жасалған, яғни қозғалтуға, көшіруге ыңғайлы. 19-суретте трекердің негізгі 3 бөлігі көрсетілген:

1) Негізгі бөлігі бүкіл конструкцияның салмағын ұстап, қозғалтпай тұру үшін жалпақтау қылып жасалынған және бөлме ішінде қозғалыс жеңіл болу үшін астына роликтер орнатылған.

2) Тірек күн панельдерінің қозғалысы ыңғайлы болу үшін биікте ұстап тұру үшін керек.

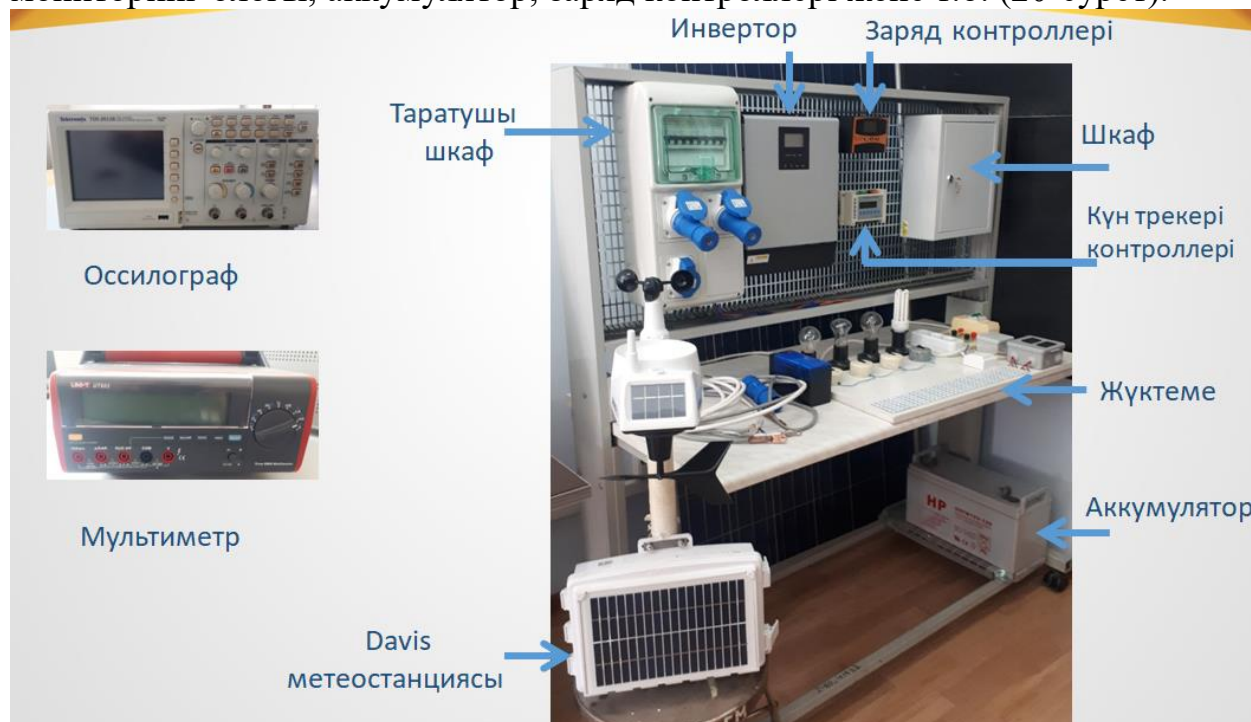
3) Күн панелі орнатылатын бөлік. Күн панелінің 1650×992 мм өлшеміне дейінгі түрлерін орнатса болады.



19-сурет – Трекер бөлшектері

## 5.2 Оқу – зертханалық стендінің құрылымы

ОЗС құрамында келесідей құрылғылар бер: инвертор, метеостанция, мониторинг блогы, аккумулятор, заряд контроллері және т.б. (20-сурет).



20-сурет – ОЗС-те қолданылатын құрылғылардың көрінісі

### 5.2.1 Инвертор

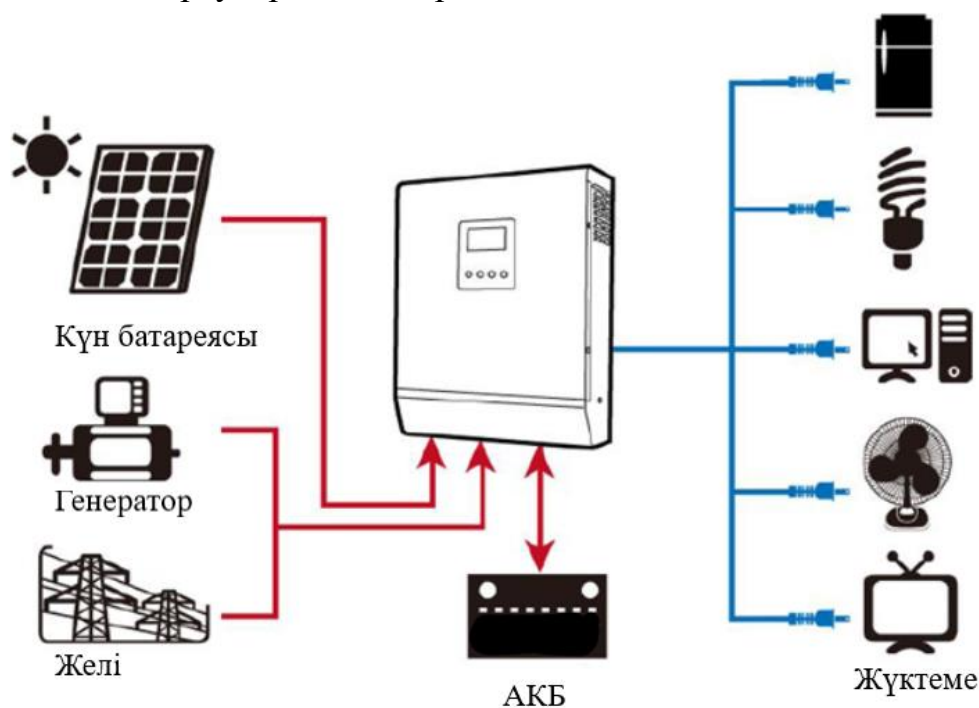
Инвертор - тұрақты токты айнымалы токқа түрлендіруге арналған құрылғы. Ол көбінесе тұрақты кернеудің белігілі бір шамасын айнымалы кернеудің бір шамасына түрлендіруге қолданылады.

Біз ОЗС-де Expert MKS 3К типті инверторды қолданамыз. Инвертор жоғары қуатты және аккумулятор(АКБ) зарядының тогын желіден алып ұлғайта алатын күн батареясының кіріктірілген MPPT контроллерімен жабдықталған (21-сурет).

Expert сериясы тек түрлендіргіш және зарядтау құрылғысы ғана емес, ол тағы да энергияны басқарудың зияткерлік жүйесі болып табылады. Ол 3 түрлі энергия көзін (күн батареясы, АКБ, желі) тиімді пайдалануға қабілетті. Істен шықпайтын оқшауланған жүйені құру үшін аккумулятордан, күн энергожүйесінен немесе генератордан қоректендіруді оңтайлы басқарады.

Ыңғайлы СК-дисплей пайдаланушыға реттеу мен ыңғайлы басқаруды кнопкалар арқылы келесі параметрлерді бақылауды қамтамасыз етеді:

- ағымдағы жұмыс режимі;
- желінің жиілігі мен кернеуі, ток және тұтыну қуаты;
- генерация кезіндегі жиілігі мен кернеуі, ток және тұтыну қуаты;
- АКБ кернеуі және олардың жағдайы;
- АКБ-ның зарядтаулы/разрядтаушы токтары;
- күн батареяларының кернеуі және зарядты тогы;
- қателердің және ескертулердің кодтары.



21-сурет – Инвертордың қосылу сұлбасы

Инвертор параметрлері:

- Номиналды қуаты, ВА/Вт – 3000/2400;
- Шектік қуаты, ВА – 6000;
- Желі/КБ максималды заряд тогы, А – 60/40;
- Эффе́ктивтілігі – 90-93 %;
- МРРТ контроллері қуаты/максималды эффе́ктивтілігі – 1000 Вт/98%;
- КБ максималды кернеуі – 100 В;
- Жұмыстық темературасы/ ылғалдылығы – 20...55<sup>0</sup>С/ 5...95%;
- Салмағы/габариті – 7 кг/ 100x272x355 мм.

### 5.2.2 Метеостанция

Атмосфера параметрлерін үздіксіз мониторинг жасау үшін біз Davis Vantage Vue метеостанциясын пайдаланамыз. Метеостанция ауа райының нақты және сенімді мониторингін қамтамасыз етеді. Ол атмосфералық қысымды, ауаның температурасы мен ылғалдылығын, желдің жылдамдығы мен бағытын, жауын-шашын мөлшерін өлшейді.

Vantage Vue метеостанциясы екі компоненттен тұрады:

- сыртқы ауа-райы мәндерін өлшейтін датчиктер блогы (22-сурет);
- пайдаланушы интерфейсін, деректерді есептеуді және көрсетуді қамтамасыз ететін консоль (23-сурет).



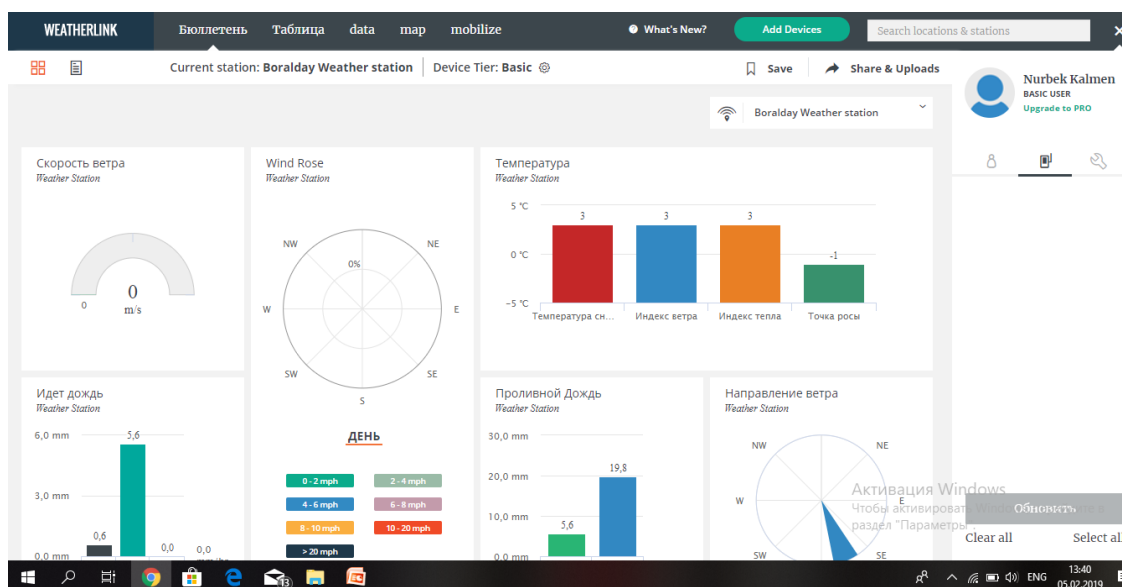
1-антенна (радиобайланыс); 2-жаңбыр жинаушы; 3-анемометр, жел өлшегіш; 4-берік корпус; 5-радиациялық қалқан; 6-температура / салыстырмалы ылғалдылық; 7-орнату; 8-жел бағыты; 9-күн панелі; 10-кірістірілген көпіршік деңгейі.

**22-сурет – Метеостанцияның датчиктер блогы**



1-уақыты; 2-айдың фазасы; 3 – болжам; 4 - температура және ылғалдылық; 5 – ретрансляция; 6 – барометр; 7 - айнымалыларды көрсету нұсқалары; 8 – жауын; 9 - кешегі күннен ауа-райының өзгеруі; 10 - ауа райы орталығы; 11 - ыңғайлы пернетақта; 12 – кестесі; 13 - кешегі уақыт; 14 – дабыл; 15 - желдің жылдамдығы мен бағыты;

**23-сурет – Консоль**



**24-сурет – ПК WeatherLink интерфейсi**

Метеостанцияны компьютерге ПК WeatherLink интерфейстің көмегі арқылы қосу мүмкіндігі берілген уақыт аралығында метеодеректерді өңдеу мен талдауды жүргізуге мүмкіндік береді (24-сурет). Сол арқылы қоршаған орта деректерін күн панельдерінен алынған деректерімен уақытқа тәуелді салыстырып отыра аламыз, яғни қоршаған орта деректерінің өзгеруі күн панелінің эффектифтілігіне әсері қандай және қанша екенін көре аламыз. Нәтижесінде, диагностика жасап, болашақта сол жергілікті өнір үшін күн панелінің өндіре алатын энергия мөлшерін болжай алу мүмкіндігі туады.

### 5.2.3 Ардуино негізіндегі мониторинг блогы

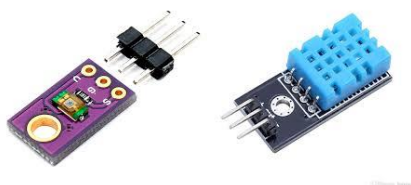
Arduino – кәсіби емес пайдаланушыларға бағдарланған қарапайым автоматика және робототехника жүйелерін құруға арналған аппараттық-бағдарламалық құрал.

Бағдарламалық бөлім бағдарламаларды жазу, олардың компиляциясы және аппаратураны бағдарламалау үшін тегін бағдарламалық қабықтан (IDE) тұрады. Аппараттық бөлігі ресми өндіруші және бөгде өндірушілер сататын құрастырылған баспа платалары жиынтығы болып табылады. Толық ашық жүйе архитектурасы Arduino өнімдерінің тізімін еркін көшіруге немесе толықтыруға мүмкіндік береді.

Біз күн панелінің тиімділігіне оның температурасы мен бетіне түсетін жарықтылықтың әсерін бақылау мақсатында Arduino Mega 2560 типті платформа негізінде жарықтылық және температура датчиктері арқылы мониторинг блогын қарастырдық (25-сурет). Компьютерде Ардуино бағдарламасы арқылы C++ тілінде программа жазылды. Программа бойынша, белгілі бір уақыт аралығында датчиктерден және амперметр мен вольтметрден алынған мәлімет программа жазылады. Алынған мәліметтер көмегімен біз жарықтылық пен температураның уақытқа тәуелді графигін ала аламыз. Ол графиктен температура мен жарықтылықтың күн батареясының электрлік тиімділігіне әсері анық көрінеді және сол арқылы анализ жасаймыз (26-сурет).



25-сурет – Arduino Mega 2560



26-сурет – Жарықтылық және температура датчигі

### 5.2.4 Аккумулятор

Күн батареяларына арналған аккумулятор – фотоэлектрлік модульдермен өндірілген артық электр энергиясын жинақтайтын құрал. Күн станциясының генерациясы төмендеген жағдайда (түнде, бұлтты ауа райында) немесе электр

қуатын тұтыну артқанда, құрылғы желіге энергия береді. Осылайша, ол үздіксіз және тұрақты электрмен жабдықтауды қамтамасыз етеді.

Күн энергетикасында кернеуі 12 В аккумуляторлар кеңінен қолданылады. Қажетті жұмыс кернеуін алу үшін (24В, 48В, 96В және т. б.) аспаптар тізбектей және параллельді блоктарға қосылады. Нәтижесінде жиналған күн электр станцияларына арналған аккумулятор батареясы инверторға және заряд контроллері арқылы күн батареяларына қосылады. Ол электр энергиясын ұзақ уақытқа (апта, ай) жинақтап, резервтік және қосымша электрмен жабдықтау жүйелерінде қолданылуы мүмкін.

### 5.2.5 Заряд контроллері

Күн батареясының заряд контроллері деп аталатын электрондық модуль күн батареясының зарядтау/разрядтау процесінде бірқатар бақылау функцияларын орындауға арналған.

Күн батареясынан алынған энергия, шын мәнінде, тікелей аккумулятор-жинақтағышқа берілуі мүмкін. Алайда АКБ зарядтау/разрядтау процесінің әдептілігі бар (токтардың және кернеудің белгілі бір деңгейлері). Егер осы әдептіліктерді ескермесе, АКБ қысқа мерзімде істен шығады. Мұндай қайғылы зардаптарға жол бермеу үшін күн батареясының зарядтық контроллері деп аталатын модуль қолданылады.

Аккумулятор заряды деңгейін бақылаумен қатар, модуль энергияны тұтынуды да қадағалайды. Разряд дәрежесіне байланысты, аккумулятор зарядының контроллерінің схемасымен бастапқы және кейінгі заряд үшін қажетті ток деңгейі реттеледі және орнатылады.

Біз қолданатын контроллер PWM типті. PWM контроллер сұлбасының жұмыс принципі ендік-импульстік модуляция алгоритмдеріне негізделген. Мұндай аппараттардың функционалдығы MPPT сериялды анағұрлым жетілдірілген құрылғылардан кем түседі, бірақ жалпы олар да өте тиімді жұмыс істейді (27-сурет).

ОЗС-да қолданылатын EXPERT инверторында MPPT типті контроллер орнатылған және ол жетілдірілген түрі болып келеді. Сондықтан, жұмыс барысында негізінен инверторден тікелей аккумуляторға жалғанады. Ал заряд контроллер инверторды қолдану тиімсіз, ыңғайсыз немесе мүлде қолданылмайтын жағдайларда іске қосылады (мысалы, өрістік эксперименттер кезінде).



27-сурет – заряд контроллері

## **6 ОЗС-де жасалынатын лабораториялық және зерттеу жұмыстары**

ОЗС түпкі жасалу мақсаты зерттеушілік негізінде жасалғанымен, бұл ОЗС арқылы студенттерге де лабораториялық жұмыстар жасау арқылы күн энергетикасына деген көзқарастарын, қызығушылықтарын ашып, сол саладағы білімдерін арттыру мақсатында қолдануға болады.

ОЗС-де жасалынатын лабораториялық және зертханалық жұмыстар:

- 1) Фото электрлік модульдің(ФЭМ) энергетикалық характеристикаларын оның жарық көзіне қарағандағы бұрылу бұрышын өзгерту арқылы бақылау, анализ жасау.
- 2) ФЭМ-нің энергетикалық характеристикаларын жарықтылық ағының өзгерту арқылы бақылау, анализ жасау.
- 3) ФЭМ-ге жарықтылық пен температура әсерін бақылау үшін, мультиметр және датчиктер көмегімен ФЭМ-нің электрлік шамаларының, жарықтылықтың және температураның уақытқа тәуелділік сипаттамасын алып диагностика жасау.
  - a) Стационарлы режимде;
  - b) Трекерлі режимде жұмыс жасау.
- 4) Аккумулятордың күн панелінен зарядталуын зерттеу және контроллердің, аккумулятордың және инвертордың тиімділігін, ПӘК-ін анықтау.
- 5) Жергілікті жердегі ФЭМ-дің белгілі бір уақыт аралығында өндірілген энергиясын және оған әсер етіп отырған климаттық факторларды анықтап, оны ФЭМ-нің идеалды жағдайымен салыстыра отырып, анализ жасау және т.б.

### **6.1 ОЗС-те жасалатын лабораториялық жұмыстар**

*6.1.1 Лабораториялық жұмыс №1. Күн батареяларының вольт-амперлік сипаттамасын анықтау*

*Жұмыс мақсаты:* Күн батареясының құрылысы мен жұмыс істеу принципін зерттеу, вольт-амперлік сипаттаманы анықтау.

*Жұмыс жоспары:*

- 1) Күн батареясының түрлерімен, олардың құрылысы мен әрекет ету принципімен танысу;
- 2) Эксперимент жүргізу, деректерді өңдеу және вольт-амперлік сипаттаманы құру;
- 3) Есепті құру.

*Қысқаша теориялық мәліметтер.* Күн – Жердегі өмір сүруді қамтамасыз ететін энергияның негізгі көзі. Күн сәулесінің сипаттамасы үшін келесі негізгі шамалар қолданылады: Сәулелену ағыны – еркін бет арқылы бір секунд ішінде электромагниттік толқындармен тасымалданатын энергияға тең шама. Сәуле шығару ағынын өлшеу бірлігі –  $\text{Дж/с} = \text{Вт}$ . Сәуле шығару ағынының тығыздығы – (энергетикалық жарықтандыру) - сәуле шығару ағынының бірқалыпты сәулеленетін беттің ауданына қатынасына тең шама. Сәулелену ағынының

тығыздығын өлшеу бірлігі-Вт / м<sup>2</sup>. Жарық ағыны. Жарық ағыны деп адам көзіне әсер ететін сәуле ағыны аталады. Адам көзі әртүрлі толқын ұзындығы бар жарық ағындарына біркелкі әсер етпейді. Әдетте көздің күндізгі жарығында 555 нм толқын ұзындығы бар жарыққа аса сезімтал. Сондықтан қуаты бірдей сәулелену ағыны, бірақ әр түрлі толқынның ұзындығы адамда түрлі жарық сезімдерін тудырады. Жарық ағынын адам көзімен қабылдау тұрғысынан өлшеу бірлігі люмен (лм) болып табылады. Жарық ағыны 1 лм =  $4,6 \cdot 10^{-3}$  Вт (немесе 1 Вт = 217 лм) тең. Жарықтану – бетіне түсетін жарық ағынының осы беттің ауданына қатынасына тең шама. Жарықтандыру люкс (лк) өлшенеді. 1 лк = 1 лм/м<sup>2</sup>. Ақ жарық үшін 1 лк =  $4,6 \cdot 10^{-3}$  Вт/м<sup>2</sup> (немесе 1 Вт/м<sup>2</sup> = 217 лк). Жарықтандыруды өлшеуге арналған аспаптар люксметр деп аталады. Күн электр энергетикасы – күн сәулесінің энергиясын электр энергиясына түрлендірумен айналысатын энергетика бағыты. Күн энергиясын түрлендірудің екі жолы бар: фототермикалық және фотоэлектрлік. Бірінші жылу тасығыш күн коллекторында жоғары температураға дейін қызады және электр энергиясын өндіретін турбогенератордың айналуы үшін немесе үй-жайларды ыстық сумен жабдықтау және жылыту үшін пайдаланылады. Екінші кезеңде – күн сәулесін жартылай өткізгіш фотоэлементтер-күн батареялары арқылы электр тогына тікелей түрлендіру.

*Жұмысты орындау тәртібі.*

1-кезең. Күн батареясының құрылысы мен жұмыс істеу принципімен танысу.

*Күн батареясы* – бұл күн энергиясын тұрақты токқа түрлендіретін фотоэлектрлік түрлендіргіштер (фотоэлементтер). Күн батареялары кремний кристалдары негізінде жасалған модульдерден құрылады. Қолдану аймағына байланысты күн модульдері әртүрлі конструктивтік шешімдер мен әртүрлі Шығыс қуаттары болуы мүмкін. Автономды электр энергиясымен қамтамасыз ету үшін күн батареялары қолданылады.

Күн батареясы келесідей жұмыс істейді.

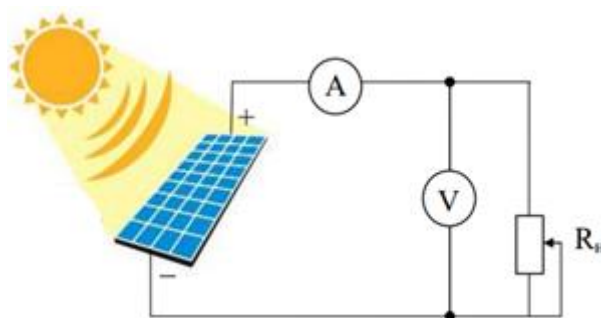
1) Фотондар күн батареясының бетіне соғылады және оның жұмыс материалымен жұтылады, мысалы, кремниймен.

2) Фотондар, зат атомдарымен бетпе-бет оның туған электрондарын тастайды. Нәтижесінде әлеуеттердің айырмашылығы пайда болады. Еркін электрондар потенциалдардың айырымын өшіру үшін зат ішінде қозғала бастайды. Туындайды электр тогы. Күн батареясы-жартылай өткізгіш болғандықтан, электрондар тек бір бағытта қозғалады.

3) Алынған ток күн батареясы тұрақты түрленеді және оны тұтынушыға немесе батареяға береді.

2-кезең. Эксперимент жүргізу, деректерді өңдеу және вольт-амперлік сипаттаманы құру.

Аспаптардың полярлығын ескере отырып, сызбаны 28-суретке сәйкес жинау.



### 28-сурет – Күн батареясының қосылу сұлбасы

Оқытушы схеманы құрастырудың дұрыстығын тексергеннен кейін қосуды жүзеге асырады. Сәулелендіру құралын қосу (шам).

Күн батареясының паспорттық деректерін есепке ала отырып вольт-амперлік сипаттаманы құру үшін жүктеменің шамасын 6 рет өзгертіп деректерді алу.

Өлшеу нәтижелерін 7-кестеге еңгізу.

#### 7-кесте

|       |  |  |  |  |  |  |
|-------|--|--|--|--|--|--|
| I, A  |  |  |  |  |  |  |
| U, B  |  |  |  |  |  |  |
| P, Вт |  |  |  |  |  |  |

Масштабта вольт-амперлік сипаттамасын құру (8-кесте).

Күн батареясының 50% көлеңкелеп өлшеуді қайталаңыз. Өлшеу нәтижелерін 8-кестеге енгізіңіз.

#### 8-кесте

|       |  |  |  |  |  |  |
|-------|--|--|--|--|--|--|
| I, A  |  |  |  |  |  |  |
| U, B  |  |  |  |  |  |  |
| P, Вт |  |  |  |  |  |  |

3-кезең. Есепті құру

Осы зертханалық жұмыс бойынша есеп:

- 1) Жұмыстың атауы және оның мақсаты.
- 2) Сұлбаны сал және өз ойыңды айт.
- 3) Бір координаталар жүйесінде вольт-амперлік сипаттамасымен  $U=f(I)$  және  $P=f(I)$  мінездемесін құр.
- 4) Алынған сипаттамалар бойынша қорытынды жасау.

*Бақылау сұрақтары.*

- 1) Күн батареясының құрылымы.
- 2) Күн батареяларының жұмыс істеу принципі.
- 3) Күн батареяларын дайындау үшін қандай материалдар қолданылады.

- 4) Күн батареяларының шығыс сипаттамаларына жарық қалай әсер етеді.
- 5) Күн батареяларын қолдану аймағы.
- 6) Контроллер қандай функцияларды орындайды?
- 7) Инвертор не үшін қолданылады?
- 8) Фотоэлементтің вольт-амперлік сипаттамасы дегеніміз не?
- 9) Күн батареялары көлеңкеленгенде вольт-амперлік сипаттаманың айырмашылығы неде?

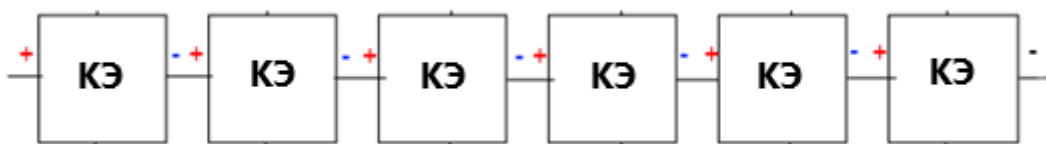
### 6.1.2 Лабораториялық жұмыс №2. Күн батареяларын тізбектей және параллель қосу

*Жұмыстың мақсаты:* Күн батареяларын тізбектей және параллель жалғауда жұмыс істеу мүмкіндігін зерттеу.

*Жұмыс жоспары:*

- 1) Күн батареяларын қосу тәсілін зерттеу.
- 2) Күн батареяларын тізбектеп қосу кезінде эксперимент жүргізу.
- 3) Күн батареяларын параллель жалғауда эксперимент жүргізу.
- 4) Зертханалық жұмысты орындау нәтижелері бойынша қорытынды және қосу тәсілдерінің салыстырмалы талдау.
- 5) Жасалған жұмыс бойынша есеп беру.

*Қысқаша теориялық мәліметтер.* Фотоэлектрлік ұяшықтар жиі тізбекті-параллель қосылыстарға біріктіріледі, осылайша шығу қуатын арттырады. Егер бірнеше фотоэлементтер (немесе бірнеше фотоэлементтердің параллельді қосылыстары) тізбекке тізбектей қосылса, онда олардың шығу кернеуі артады. Күн элементтерін (КЭ) тізбектеп жалғаған кезде барлық элементтер тізбек бойымен жүреді және көршілес қарама-қарсы полюстермен қосылады (29-сурет). Мысалы, шығыста 220 В дайын кернеуді алу үшін 10 күн элементтеріне 24 В шығу кернеуімен немесе 20 – 12 В кернеуімен параллель қосу жеткілікті.



**29-сурет – Күн элементтерін тізбектей жалғау**

Алайда, бұл қосылымда бірқатар кемшіліктер бар:

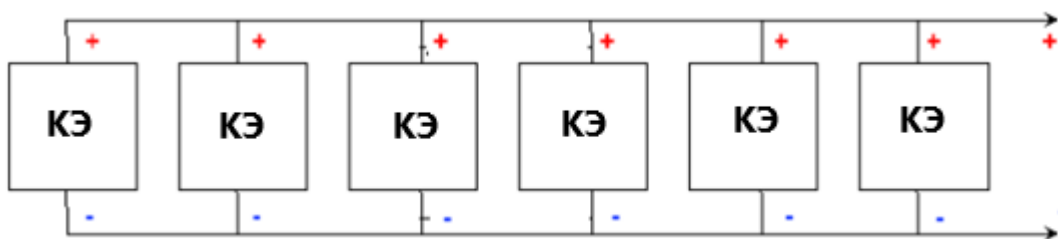
- 1) нашар жарық кезінде кернеудің тұрақсыз мәні;
- 2) бір батареяның қуатына тең келетін барлық жүйенің әлсіз қуаты.

Егер бірнеше фотоэлементтер (немесе бірнеше фотоэлементтердің тізбектелген қосылыстары) параллель жалғанса, онда тізбекке қосылған барлық токтың максималды күші бір ұяшық тогының ең жоғары қол жетімді күші немесе

олардың ұяшықтар санына, олардың комбинациясына тең. Бұл жағдайда бір ұяшықтарды тізбекті-параллель қосудың ең жоғары қуаты әрбір ұяшықтың ең жоғары қуатын ұяшықтар санына өндіруге баламалы. Басқа сөзбен айтқанда, мұндай қосылыстың ең жоғары қуаты ( $P_{\max}$ ) барлық қосылыстың  $V_{\text{шығ}}$  және  $I_{\max}$  өндіруіне баламалы.

Бұл жағдайда электр энергиясының шығыны, яғни бір типті модульдердің сипаттамаларының айырмашылығынан болған шығынның шамасы, оның модулін құраушы қуаттар сомасының қуатынан аз болады. Сондықтан күн батареясында модульдерді мұқият таңдау маңызды.

Параллель қосылған кезде барлық элементтер бір типті полюстермен параллель қосылған (30сурет). Бұл қосылыс қосымша кернеу түрлендіргішін пайдалануды талап етсе де, ол едәуір үлкен электр қуаты мен жұмыс тұрақтылығын алуға мүмкіндік береді.



**30-сурет – Күн элементтерін параллель жалғау**

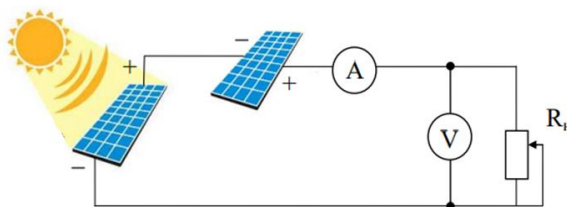
*Жұмысты орындау тәртібі.*

1-кезең. Күн батареяларын қосу тәсілін зерттеу.

Қысқаша теориялық мәліметтерді және қосымша әдебиеттерді пайдалана отырып, күн батареяларын қосудың түрлі тәсілдерін үйрену. Олардың әрқайсысының артықшылықтары мен кемшіліктерін, сондай-ақ қолдану саласын анықтау.

2-кезең. Күн батареяларын тізбектеп қосу кезінде эксперимент жүргізу

1) 31-суретке сәйкес батареяларды тізбектей қосумен схеманы жинау.



**31-сурет – күн батареяларын тізбектей жалғау сұлбасы**

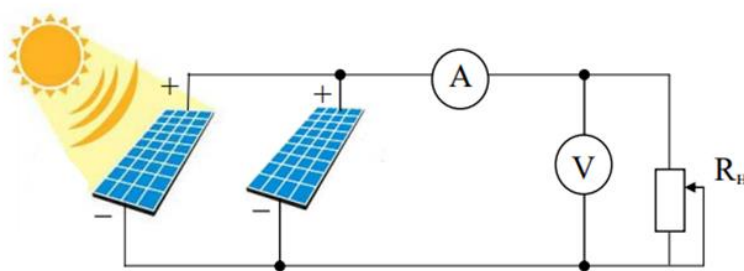
2) Тізбекті жалғау кезінде вольт-амперлік сипаттаманы құру үшін деректерді алу. Өлшеу нәтижелерін 9-кестеге енгізу.

## 9-кесте

|       |  |  |  |  |  |  |
|-------|--|--|--|--|--|--|
| I, A  |  |  |  |  |  |  |
| U, В  |  |  |  |  |  |  |
| P, Вт |  |  |  |  |  |  |

3-кезең. Күн батареяларын параллель жалғауда эксперимент жүргізу.

3) 32-суретке сәйкес батареяларды параллель қосылған схеманы жинау.



**32-сурет – күн батареяларын параллель жалғау сұлбасы**

4) Параллель жалғанған кезде вольт-амперлік сипаттаманы құру үшін деректерді алу. Өлшеу нәтижелерін 10-кестеге енгізу.

## 10-кесте

|       |  |  |  |  |  |  |
|-------|--|--|--|--|--|--|
| I, A  |  |  |  |  |  |  |
| U, В  |  |  |  |  |  |  |
| P, Вт |  |  |  |  |  |  |

4-кезең. Зертханалық жұмысты орындау нәтижелері бойынша қорытынды және қосу тәсілдерінің салыстырмалы талдауы.

Координаттардың жалпы жүйесінде тізбектей және параллель қосылғанда вольт-амперлік сипаттамаларды құру және қорытынды жасау.

5-кезең. Жасалған жұмыс бойынша есеп беру.

Осы зертханалық жұмыс бойынша есеп:

- 1) Жұмыстың атауы және оның мақсаты.
- 2) Схемасы сур. 3 және сур. 4.
- 3) Тізбекті және параллель жалғанған кезде күн батареялары ВАС.
- 4) Тұжырымдар.

*Бақылау сұрақтары.*

- 1) Күн радиациясы дегеніміз не және оны Жер бетінде қалай пайдаланады?
- 2) Күн батареяларының жұмыс істеу принципі.
- 3) Күн батареяларының параллельден тізбекті қосылуының айырмашылығы неде?
- 4) Берілген жалғану сұлбалары қандай мақсатпен қолданылады?

5) Күн элементтерінің тізбектей қосылуының артықшылықтары мен кемшіліктері.

6) Күн элементтерінің параллель қосылуының артықшылықтары мен кемшіліктері.

*6.1.3 Лабораториялық жұмыс №3. Күн батареясының бос жүріс кернеуі, қысқа тұйықталу тогын табу және оның жарық көзіне қатысты бұрылу бұрышынан тәуелділігін зерттеу жұмысы*

*Жұмыстың мақсаты:* Күн батареясының бос жүріс кернеуі және қысқа тұйықталу тогын табу және оның жарық көзіне қатысты бұрылу бұрышынан тәуелділігін зерттеу.

*Қысқаша теориялық мәліметтер.*

Бос жүріс кернеуі – бұл нөлдік ток кезінде пайда болатын күн элементінің ең максималды кернеуі. Ол жарық тогы пайда болған кезде р–п-ауысу кернеуінің өзгеруіне сәйкес тікелей ығысуға тең. Бос жүріс кернеуі әдетте  $U_{xx}$  немесе  $V_{oc}$  болып белгіленеді. Жарықтылық өзгергенде бос жүріс кернеуі өзгерісі аз болып келеді.

Қысқа тұйықталу тогы – бұл кернеу нөлге тең болған кезде күн элементі арқылы өтетін ток (яғни күн элементі қысқа тұйықталған кезде). Қысқа тұйықталу тогы, әдетте,  $I_{кз}$  немесе  $I_{sc}$  болып белгіленеді. Қысқа тұйықталу тогын күн элементінің ең жоғары ток шамасы деп санауға болады. Сонымен қатар, ол жарық қарқындылығына тікелей байланысты.

Қысқа тұйықталу тогы және бос жүріс кернеуі-бұл күн элементінен алынатын ең жоғары ток пен кернеу. Олардың ең жақсы үйлесімі максималды қуат нүктесі (МҚН) деп аталады. Оның тиісті кернеу  $U_{МҚН}$  мен ток  $I_{МҚН}$  мәні болады. Осы мән арқылы күн элементінің бере алатын максималды қуат шамасын анықтасақ болады. Анықтау үшін толтыру коэффициенті  $FF$  деп аталатын параметр қолданылады. Ол күн элементінің максималды қуатының бос жүріс кернеуінің және қысқа тұйықталу тогының туындысына қатынасы ретінде есептеледі [8] :

$$FF = \frac{U_{МҚН} * I_{МҚН}}{I_{кз} * U_{xx}} \quad (1)$$

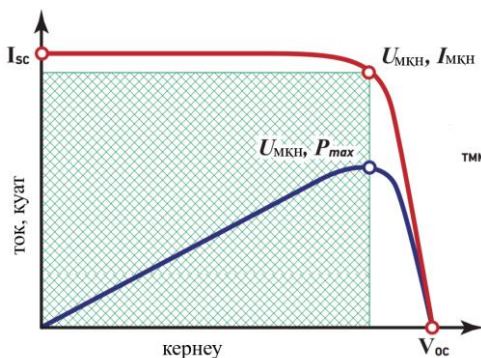
мұнда  $U_{МҚН}$  – максималды қуат нүктесіндегі кернеу, В;  $I_{МҚН}$  – МҚН-дегі ток, А;  $U_{xx}$  – бос жүріс кернеуі, В;  $I_{кз}$  – қысқа тұйықталу тогы, А.

Толтыру коэффициенті фотоэлектрлік түрлендіргіштің сапасын бағалауға болатын негізгі параметрлердің бірі болып табылады. Типтік сапалы сериялық шығарылатын күн элементтері толтыру коэффициенті 0,7-ден астам болады. Ақаулы элементтердің толтыру коэффициенті 0,4-тен 0,65-ке дейін болады. Амorfты элементтер мен басқа да жұқа пленкалы фотоэлектрлік түрлендіргіштерде толтыру коэффициенті 0,4–0,7. Толтыру коэффициенті

неғұрлым көп болса, ішкі кедергіден элементтегі жоғалту соғұрлым аз болып келеді. Толтыру коэффициенті арқылы күн элементінің ПӘК-ін табуға болады:[8]

$$\eta = \frac{P_M}{P} = \frac{FF \cdot I_{sc} U_{oc}}{P} \quad (2)$$

Күн элементінің вольт-амперлік сипаттамасын толтыру коэффициентінің графикалық көрінісі 33-суретте көрсетілген. МҚН –дегі шамада күн элементінің толтыру коэффициенті максималды мәнді көрсету керек.[8]

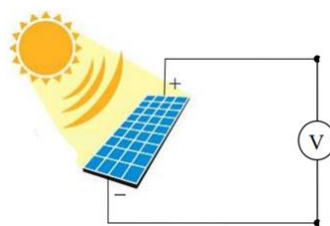


**33-сурет – Күн элементінің вольт-амперлік сипаттамасын (ВАС) толтыру коэффициентінің графикалық көрінісі**

*Жұмыс орындау барысы.*

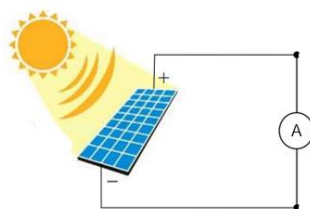
Қысқа тұйықталу тогы мен бос жүріс кернеуін табу үшін ең қарапайым тәсіл қолданылады. Трекерді  $\alpha=(0, 30, 45, 60, 90)^0$  бұрышқа өзгерте отырып, күн батареясының күнге қарай орналасуының оның максималды шығара алатын қуат мәніне әсерін байқаймыз.

1) Вольтметрдің қысқыштарын күн панелінің ұяшықтарына жалғай отырып (34-сурет), бос жүріс кернеуін  $U_{xx}$  тауып, 11-кестеге жаз.



**34-сурет – Вольтметрдің жалғану сұлбасы**

2) Амперметр қысқыштарын күн панелінің ұяшықтарына жалғай отырып (35-сурет), қысқа тұйықталу тогын  $I_{кз}$  тап және 11-кестеге толтыр.



**35-сурет – Амперметрдің жалғану сұлбасы**

3) Жұмысты күн батареясын жарық көзіне  $\alpha=(0; 30; 45; 60; 90)^0$  бұрыштарда қозғалтып жаса.

4) Алынған мәндер арқылы жарық көзінен орналасу бұрышының күн батареясының максималды тогы мен кернеу әсерін байқап, қорытынды жаса.

### 11-кесте

| $\alpha$ | $U_{xx}, \text{В}$ | $I_{k3}, \text{мА}$ |
|----------|--------------------|---------------------|
| 0        |                    |                     |
| 30       |                    |                     |
| 45       |                    |                     |
| 60       |                    |                     |
| 90       |                    |                     |

## 6.2 ФЭМ тиімділігіне қоршаған орта факторларының әсерін зерттеу жұмысы

Жұмыстың мақсаты: Жергілікті жердегі ФЭМ-дің белгілі бір уақыт аралығында өндірілген энергиясын және оған әсер етіп отырған климаттық факторларды анықтап, оны ФЭМ-нің идеалды жағдайымен салыстыра отырып, анализ жасау.

Экспериментте қолданылатын барлық жабдықтар полигонға шығарылады. Экспериментте метеостанция, күн трекері, трекер контроллері, аккумуляторлар, инвертор, жүктеме, ардуино негізіндегі мониторинг блогы, ноутбук және зерттелетін ФЭМ пайдаланылады. Экспериментте өлшемі 1650×992 мм дейінгі түрлі фотомодульдерді зерттеуге болады.

Алуға болатын деректер:

1) ФЭМ бетіндегі жарықтандырудың уақытқа тәуелділігі (жарықтандыру датчигінің көмегімен).

2) ФЭМ температурасының уақытқа тәуелділігі (температура датчигінің көмегімен).

3) ФЭМ кернеудің уақытқа тәуелділігі.

4) ФЭМ тогының уақытқа тәуелділігі.

5) ФЭМ жүктеме сипаттамасы.

6) ФЭМ Вольт-амперлік сипаттамасы.

7) ауаның температурасы мен ылғалдылығы .

8) желдің бағыты мен күші.

9) атмосфералық қысым.

10) жауын-шашын мөлшері.

Алғашқы 5 тармақ басты мән болып табылады. Оларды өзара салыстыра отырып, ФЭМ сипаттамасына жарық пен температураның әсерін талдауға болады. Жарық және температура ФЭМ тиімділігіне басты әсер ететін факторлар болып табылады.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Әлемдік тәжірибе көрсеткендей, күн энергетикасы өте қарқынды дамып келе жатыр және де бұл энергия көзі дами беретін болады. Себебі бұл энергия көзі сарқылмайды және қоршаған орта үшін қауіпсіз. Бізде энергияның осы түрінің дамуына және қазақ тілінің техникалық түрде дамуына үлес қостық.

Өзіміздің эксперименттік тәжірибелер мен әлемдік тәжірибелерді салыстырып және саралай келе, мынадай тоқтамдарға келдік. Күн панелінің тиімділігіне ең қатты әсер ететін факторлар: күн көзінің бұлттануы(1%-100% пайызға дейін), КП-нің бетін шаңнын басуы(1-50% пайызға дейін), КП-нің температурасының жоғарылап кетуі(КП-нің температурасы 25°C-дан асқан әрбір градус сайын, тиімділігі 0,4% пайызға төмендей береді, ал күннің температурасы өте қатты көтеріліп кететін болса, ол КП зақымдауға дейін алып барады), уақыт өте келе КП-нің тозуы. Ал қалған факторлар екінші сортты, яғни әсері жорғарғылардай өте қатты емес(ауа құрамы желдің әсері, бағыты, қысымның әсері, ылғалдылық әсері). Және әсер ететін факторлардың 3-ші түрі – өзгеріп тұратын факторлар(жыл маусымының өзгеруі, КП-нің азимут және көлбеу бұрышы, т.б).

Фото электрлік модульдерге әсер ететін негізгі климаттық факторларды бақылау, жергілікті жер үшін фотомодульдің энергияны максималды өндіру жағдайын анықтау мақсатында және студенттердің жаңғыртылатын энергия саласындағы қызығушылықтары мен білімдерін арттыру мақсатында өз стендімізді құрап шығардық. Ол стендтің атын «Фотоэлектрлік модульдерді диагностикалауға(ФЭМД) арналған оқу-зерттеу стенді», - деп атадық. Алған білімдерін тереңдету мақсатында стендте лабораториялық және зертханалық жұмыстардың бағдарламасын жасадық. ФЭМД стендінде студенттер күн панелінің жұмыс істеу принципінен бастап күн электр станцияның қалай жұмыс атқаратынына дейін біле алады. Стационарлы режимдегі КП-дері мен трекерлі режимдегі КП-дерінің тиімділіктерін, өндіретін энергияларын, т.с.с. параметрлерін салыстыра алады

Біздің жасаған ФЭМД оқу- зерттеу стенді – Қазақстандағы күн энергетикасының дамуына үлкен үлесін қосады. Себебі біз бұл стенд арқылы келешек ұрпақтың осы энергияны- оқып танудағы, білудегі қызығушылығын оятамыз. Сонымен қатар біз жасаған стенд – кез-келген күн панелі түрінің өндіретін энергиясын және оның тиімділігіне әсер ететін факторларды анықтауға мүмкіндік береді.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Юрий Масанов. Как в Казахстане развивается "зелёная" энергетика? [Электронды ресурс] / Ю.Масанов. - Электрон. стат. 2019. – URL: <https://informburo.kz/stati/kak-v-kazahstane-razvivaetsya-zelyonaya-energetika.html>, свободный.
- 2 Kapital.kz баспасөз қызметі. За год в Казахстане запустили 21 крупный объект ВИЭ [Электронный ресурс]/ - Электрон. стат.2020. – Режим доступа: <https://kapital.kz/economic/83914/za-god-v-kazakhstane-zapustili-21-krupnyy-ob-yekt-vie.html>
- 3 Kapital.kz баспасөз қызметі. В Казахстане в 2020 году введут еще 18 объектов ВИЭ [Электронный ресурс]/ - Электрон. стат.2020. – Режим доступа: <https://kapital.kz/economic/84992/v-kazakhstane-v-2020-godu-vvedut-yeshche-18-ob-yektov-vie.html>
- 4 Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - 317 с
- 5 Умаров Г.Я., Ершов А.А. Солнечная энергетика. – М.: Знание
- 6 Преимущества и недостатки солнечной энергии [Электронный ресурс]/ - Электрон. стат.2014. - Режим доступа: <https://solarelectro.ru/articles/preimushchestva-i-nedostatki-solnechnoj-energii>
- 7 Солнечные электростанции [Электронный ресурс]/ - Режим доступа: <https://solarelectro.ru/articles/preimushchestva-i-nedostatki-solnechnoj-energii>
- 8 В.В. Бессель В.Г. Кучеров Р.Д. Мингалеева Изучение солнечных фотоэлектрических элементов: Учебно-методическое пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2016. – 90 с.
- 9 Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы / Пер. с англ. с сокращениями. – М.: Мир, 1986. - 435 с.
- 10 Н. Р. Юмаев, Н. Ш. Юсуфбеков. Исследование влияния погодных условий на параметры работы солнечных батарей в естественных условиях эксплуатации / Технические науки: традиции и инновации : материалы III Междунар. науч. конф. (г. Казань, март 2018 г.). — Казань : Молодой ученый, 2018. — С. 52-57.
- 11 Сергей Маринец. Влияние тени на работу солнечных батарей [Электронный ресурс] / С. Маринец. - Электрон. стат. – Режим доступа: <http://solarsoul.net/vliyanie-teni-na-rabotu-solnechnyx-batarej>
- 12 Dirk C. Jordan, Sarah R. Kurtz Photovoltaic Degradation Rates — An Analytical Review/ NREL, June 2012.
- 13 Н. Bergin, Chinmay Ghoroi. Large Reductions in Solar Energy Production Due to Dust and Particulate Air Pollution [Электронный ресурс] / Н. Bergin, Chinmay Ghoroi.- Электрон. журн. 2017. – Режим доступа: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.estlett.7b00197>