

Лекция 1

Фотовольтаикаға кіріспе

Кіріспе. Біздің өнеркәсіптік қауымдастықты электр энергиясымен қамтамасыз ету бір жағынан өте қажет болса, екінші жағынан әртүрлі экологиялық және қауіпсіздік мәселелерімен қатар жүреді. Осы бірінші тарауда біз қазіргі энергиямен қамтамасыз етуді қарастырамыз және болашақта мүмкін болатын баламалар ретінде жаңартылатын энергия көздерімен танысамыз. Бұл ретте фотоэлектрлік қондырғылар қысқаша таныстырылып, оның қысқа, бірақ сәтті тарихы қарастырылады.

Неліктен фотоэлектрлік электр энергиясы?

Өткен жылдары энергия өндірудің қазіргі әдісінің болашағы жоқ екені барған сайын анық болды. Осылайша, ресурстардың шектеулілігі мұнай мен газ бағасының көтерілуінде айқын көрінеді. Сонымен бірге қазбалы отынды жағудың алғашқы әсерін байқаймыз. Мұздықтардың еруі, мұхит деңгейінің көтерілуі және ауа-райының күрт нашарлауы, сондай-ақ Фукусимадағы ядролық апат атом энергетикасының болашақта ұстанатын жол емес екенін көрсетеді. Шешілмеген түпкілікті сақтау мәселесінен басқа, өз елдерінің үлкен бөлігінің радиоактивті болуы қауіпін қабылдауға дайын адамдар аз және аз. Бақытымызға орай, тұрақты энергиямен қамтамасыз етуді қамтамасыз ететін шешім бар: жаңартылатын энергия көздері. Олар энергиямен қамтамасыз ету үшін негіз ретінде шексіз көздерді пайдаланады және биомассалар, фотоэлектр, жел энергиясы және т.б. сияқты әртүрлі технологиялардың қолайлы комбинациясы арқылы толық қамтамасыз етуді қамтамасыз ете алады. Жаңартылатын энергиялар санында ерекше рөлді фотоэлектрлік қондырғылар атқарады. Олар күн сәулесін электр энергиясына эмиссиясыз түрлендіруге мүмкіндік береді және олардың әлеуеті зор болғандықтан, болашақта маңызды тірек болады. Дегенмен, біздің энергиямен қамтамасыз етуді ауыстыру инженер-техниктердің қиялы мен білімімен ғана игерілетін орасан зор міндет болмақ. Бұл курстың мақсаттарының бірі фотоэлектрлік техника саласындағы осы техникалық білімді арттыру болып табылады. Осы мақсатта ол фотоэлектрлік қондырғылардың негіздерімен, технологияларымен, практикалық қолдануларымен және коммерциялық негіздік шарттарымен айналысады

Фотовольтаиканың тарихына шолу. Бәрі қайдан басталды?

Әкесінің зертханасында тәжірибе жасап жатқанда, 19 жаста Александр Эдмонд Беккерель әлемдегі алғашқы фотоэлектрлік элементті жасап, сол арқылы фотоэлектрлік эффектіні ашты. Беккерель 1839 жылы жүргізген тәжірибесінде қышқыл ерітіндідегі күміс хлориді бар ыдысқа екі платина электродтарын салды. Электродтар үстінде жарықтандырылған кернеу мен ток пайда болған кезде және Беккерель ток күші жарықтандырумен өзгеретінін анықтады. Осы жұмыстың арқасында фотоэлектрлік эффект «Беккерель эффектісі» деп те аталды. Келесі маңызды фотоэлектрлік даму селендегі фотоөткізгіш әсерге деген қызығушылықтан кейін пайда болды.

Уиллоуби Смит 1873 жылы селеннің фотоөткізгіштік көрсететінін анықтады. 1877 жылы Уильям Гриллс Адамс пен оның шәкірті Ричард Эванс Дэй селен мен платина арасындағы түйіспені жарықтандыру арқылы катайтылған селендегі фотоэлектрлік әсерді байқады. Бұл электр қуатын қозғалыссыз бөлшектерсіз жарықтан алуға болатынын дәлелдейтін бүкіл қатты дене жүйесіндегі фотоэлектрлік әсердің алғашқы көрсетілімі болды. 1884 жылы Нью-Йоркте 1% дерлік тиімділікті көрсететін бірінші шатырлы күн массиві орнатылды. Күн массивінде американдық өнертапқыш Чарльз Фритс бір жыл бұрын ойлап тапқан селенді күн батареялары қолданылды, бұл күн батареяларынан маңызды қуат алуға болатынын көрсетті. Өнертабыс Вернер фон Сименсті таң қалдырды, ол былай деді: «Жарықтың тікелей электрге айналуы алғаш рет көрсетілді». Күн батареялары тарихының осы ерте кезеңінде өнертапқыштарды оптимизм қызықтырды. Фритс оптимистік түрде «біз фотоэлектрлік пластинаның [көмірмен жұмыс істейтін электр өндіретін қондырғылармен] бәсекелесетінін ұзақ уақыт көруіміз мүмкін» деп болжады. Алғашқы қазбалы отынмен жұмыс істейтін электр станциялары Фритс Томас Эдисон өзінің ниетін жариялағанға дейін үш жыл бұрын ғана салынған. Ол кезде технология электр қуатының ғажайыптарын ашатын әлемде маңыздылыққа ие болып көрінді. Джеймс Клерк Максвелл фотоэлектрді зерттеуді «ғылымға қосылған өте құнды үлес» деп бағалады. Бірақ Максвелл де, Сименс те фотоэлектрлік құбылыстың қалай жұмыс істейтіні туралы түсінікке ие болмады. Максвелл: «Сәулеленудің тікелей себебі ме, әлде химиялық күйде қандай да бір өзгерістер туғызу арқылы әрекет ете ме?» деп таң қалды. Siemens «селеннің электр қозғаушы жарық әрекеті неге байланысты екенін анықтау үшін мұқият зерттеуге» шақырды.

Кейінгі жылдарда ультракүлгін сәуленің фотоөткізгіштігін зерттеген және фотоэффектіні ашқан Генрих Герц сияқты ғалымдардың үлесімен құбылыстың физикалық түсінігі жетілдірілді. 1905 жылы Альберт Эйнштейн кванттық негізде фотоэффектіні түсіндіретін мақаласын жариялады, кейінірек оған физика бойынша Нобель сыйлығы берілді.

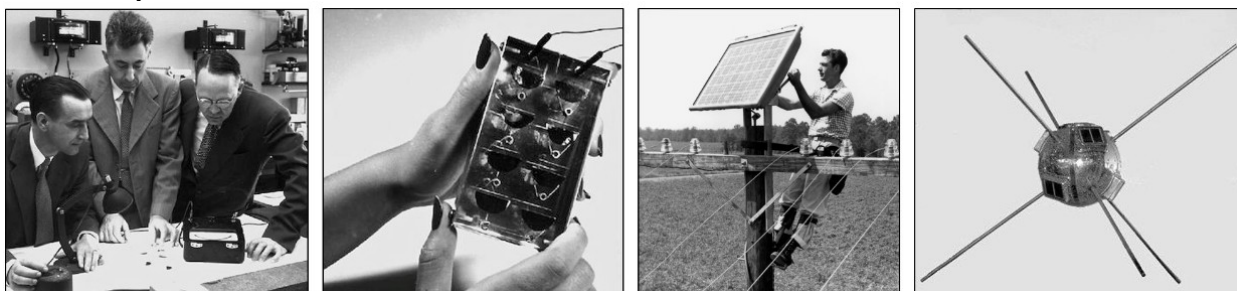
Практикалық күн батареяларына деген ілгерілеу түсінудегі жетістіктерге қарамастан баяу болды. Бруно Ланге, 1931 жылғы күн панелі Фритстің дизайнына ұқсайтын неміс ғалымы, «жақын болашақта үлкен зауыттар күн сәулесін электр қуатына айналдыру үшін осы мындаған тақталарды пайдаланады ... бұл су электр және бумен жұмыс істейтін электр қуатымен бәсекелесе алады» деп болжады. жұмыс істеп тұрған зауыттардағы генераторлар мен үйлерді жарықтандыру». Бірақ Лангенің күн батареясы Фритстен артық жұмыс істемеді.

Осы ерте күн батареялары өндіретін қуатты перспективаға келтіру үшін біз 1 м^2 күн панелі өндіретін қуаттың қарапайым есебін жасай аламыз. 1000 Вт/м^2 ($\sigma_{\text{AM1,5G}}$) (Ауа массасы - атмосфераның оптикалық ұзындығының салыстырмалы өлшемі.) және белгілі ауданмен 1% тиімді күн батареясы 10 Вт өндіре алатынын есептей аламыз. $\sigma_{\text{AM1,5G}}$ – кіріс энергия тығыздығы (1000 Вт/м^2), A – аудан (1 м^2), ал η – тиімділік (1%). Сондықтан;

$$P = \sigma_{AM1.5G} \cdot A \cdot \eta = 1000 \left[\frac{W}{m^2} \right] \cdot 1 [m^2] \cdot 0.01 = 10W$$

Бірліктерді тексерсеңіз, шаршы метр бірліктерінің (m^2) жойылатынын көресіз және тиімділік бірлік аз болғандықтан, бізде ватт (Вт) бойынша нәтиже қалды.

Чарльз Фритс кезінде 10 Вт қуат көзі әсерлі болса, уақыт өте келе ол онша әсерлі болып көрінбей қалды. Көмірмен жұмыс істейтін бу немесе гидроэнергетика арқылы өндірілетін ауқымды электр энергиясына әкелетін электр генераторларының қазіргі заманғы қарқынды дамуы көкжиекте ешқандай серпіліс болмаған кезде, Westinghouse фотоэлектрлік бөлімінің басшысы мынандай қорытынды жасай алады: «Фотоэлектрлік элементтер практикалық тұрғыдан қызықты болмайды. тиімділігі кем дегенде елу есе өскенше инженер». Пессимистік болжамды 1949 жылы «Фотоэлектрлік және оның қолданулары» кітабының авторлары әзірледі: «Материалдық жағынан тиімдірек жасушалардың ашылуы күн энергиясын пайдалы мақсаттарға пайдалану мүмкіндігін қайта ашады ма, жоқ па, оны болашаққа қалдыру керек». Қазіргі күн батареясының дүниеге келуі кремний транзисторымен бірге болды. Екі ғалым, Кальвин Фуллер және атақты Bell Laboratories қызметкері Джералд Пирсон кремний транзисторын теориядан жұмыс құрылғысына көшірген алғашқы күш-жігерді басқарды. Жұмыс барысында олар құрамында аз мөлшерде галий бар кремний жасап, кремнийді р-қоспаланған етіп жасады. Материалдың таяқшасын ыстық литий ваннасына батырған кезде, литийге батырылған кремний бөлігі n-қоспаланған. Оң және теріс легирленген кремний кездескен жерде тұрақты электр өрісі пайда болды. Бұл барлық электрондық белсенділік орын алатын транзистордың және күн батареясының жүрегі болып табылатын p-n өтуі. Үлгіге қосылған амперметр шам жарығымен түйіспені жарықтандырып, айтарлықтай электр тогын тіркеді.



Сурет 1 – Кальвин Фуллер, Дэрил Чапен және Джеральд Пирсон, кремнийлі күн батареясын ойлап тапқандар (сол жақтағы сурет). Бірінші кремний күн модулі, сегіз ұялы құрылғы (сол жақтағы екінші фотосурет). Жөндеуші Bell Solar батареясын реттейді (сол жақтағы үшінші фотосурет). Vanguard 1, жартылай күн батареяларымен жұмыс істейтін бірінші спутник (сол жақтағы төртінші фотосурет).

Фуллер мен Пирсон транзисторды жетілдіру жұмысын жалғастырған кезде, басқа Bell ғалымы Дэрил Чапин шалғай ылғалды жерлерде аз мөлшерде үзіліссіз қуат беруді қарастырды. Чапен өміршең нұсқаларды зерттеуге күн батареяларын қосты. Коммерциялық селен ұяшығын өлшей

отырып, Чапин жасушаның бір шаршы метрге 4,9 ватт өндіретінін жазды. Бұл құрылғының тиімділігін жоғарыдағы формула арқылы есептей аламыз

Пирсон Чапеннің көңілін қалдырған нәтижелері туралы естіп, Чапенге: «Селенге тағы бір сәт жұмсаңыз» деді және оған өзі жасаған кремний күн батареясын берді. Чапен күшті күн сәулесінде сынақтар жүргізіп, кремний күн батареясының 2,3 пайыздық тиімділігін көрсетті. Чапин бірден селенді зерттеуді тоқтатып, зерттеуін кремний күн батареясын жақсартуға арнады. Бастапқы нәтижелерді жақсарту үшін бірнеше стратегиялармен жұмыс істей отырып, Чапин кремнийлі күн батареяларын оңтайландырды және 6% тиімділікпен күн батареясына қол жеткізді. Алынған өнім, Bell Solar батареясы (1-сурет) 1954 жылы 25 сәуірде баспасөзге ұсынылды.

$$P = P_{in} \cdot A \cdot \eta \Rightarrow \eta = \frac{P}{P_{in} \cdot A} = \frac{4.9[W]}{1000\left[\frac{W}{m^2}\right] \cdot 1[m^2]} = 0.49\%.$$

Bell Laboratories тарихында кремнийлі күн батареясының ашылуына байланысты толқулар мен заманауи БАҚ назарына бірнеше өнертабыстар жақындады. 1954 жылғы US News & World баяндамасында: «[кремний] жолақтары әлемдегі барлық көмірден, мұнайдан және ураннан көбірек қуат бере алады... Болашақ шексіз». Бұл мәлімдеме теориялық тұрғыдан дұрыс болуы мүмкін болса да, технологиялық жетістіктерге қарамастан, коммерциялық табыс күн батареяларынан құтылды. Шын мәнінде, тыйым салынған баға күн батареяларын шектейді. 1956 жылы бір ватттық ұяшықтың құны 286 долларды құрады, яғни үй иесі жеткілікті қуатқа ие күн батареялары массиві үшін 1 430 000 доллар төлеуі керек еді. Бұл Чапеннің байсалды мәлімдемесіне әкелді: «Кремний күн түрлендіргіштерін қуат алу үшін пайдалану өте қызықты болса да, біз бәсекеге түсе алатын жерге жеткен жоқпыз ...».

Технологияның бейімделуін қамтамасыз ететін қолданба көп ұзамай әлем ғарыштық жарыс дәуіріне еніп бара жатқанда ашылады. Sputnik әлемдегі алғашқы жерсерігін ұшыру 1957 жылы болды және 1958 жылы Vanguard 1 ұшырылуы спутникте күн батареяларын алғаш рет пайдалануды көрсетті.

Ғарыштық қолдану үшін күн батареяларын бірінші рет қолдану ғарышты зерттеу дәуірін мұқият қадағалайды, өйткені алғашқы күн батареялары 1958 жылы төртінші спутник Vanguard 1-де ұшырылды. Күн батареялары миссияны кеңейтетін негізгі батареяға баламалы қуат көзін қамтамасыз етті. Ғарыш аппаратында немесе оның қуат жүйесінде айтарлықтай өзгерістерсіз уақыт. Күн панельдері 100 см² аумақты пайдаланып 1 Вт өндірді.

Егер біз осы күн батареясының тиімділігін білгіміз келсе, күн панелінің қанша кіріс қуатын алатынын білуіміз керек. Мұны біз есептей аламыз, өйткені біз күннің қуатын / жарықтығын (3,828·10²⁶ Вт) және Күннен Жерге дейінгі қашықтықты (1 AU = 1,496·10¹¹ м) білеміз. Содан кейін күн тұрақтысын (σ) күннің шығыс қуаты мен оның радиусы Күн/Жер

арақашықтығы бар шардың бетінің ауданы арасындағы қатынас ретінде есептеуге болады, графикалық кескін үшін 1-суретті қараңыз.

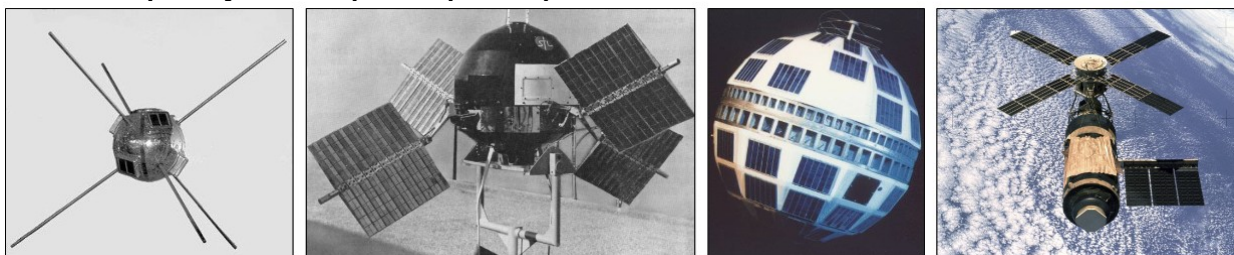
$$\sigma = \frac{P_{sun}}{4\pi r^2} = \frac{3.828 \cdot 10^{26} [W]}{4\pi (1.496 \cdot 10^{11} [m])^2} = 1361 [W/m^2]$$

Vanguard күн батареясының тиімділігін есептеу үшін біз күн батареяларының ауданын, кіріс қуатын және шығыс қуатын білеміз.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{\sigma \cdot A} = \frac{1[W]}{1361[W/m^2] \cdot 0.01[m^2]} = 7.35\%$$

Соңғы бөлімнен біз Bell зертханалары кремнийлі күн батареясын 1951 жылы ойлап тапқаны есімізде. Bell Labs өз өнертабыстарын жетілдірумен айналысқан кезде, бірнеше басқа өндірістер даму жарысына қосылып, тиімділігі мен сынғыштығы жақсарды.

Лесли Хоффман күн батареясын жаңартылатын энергияның практикалық және пайдалы көзіне айналдыруда үлкен жетістіктерге жетті. 1957-1960 жылдар аралығында оның тиімділігін 4,5-тен 14 пайызға дейін арттырып, тауарлық өнімге айналдыру үшін өнімнің өзіндік құнын төмендетті. Vanguard 1 үшін пайдаланылған күн батареяларын Хоффман жасаған, сондай-ақ 1959 жылы ұшырылған Explorer 6-да орнатылған 9600 күн батареялары сияқты. Бұл спутникте үлкен қанат тәрізді күн массивтері болды, бұл спутниктердің ортақ ерекшелігі болды.



Сурет 2 - сол жақтағы Vanguard 1, Explorer 6, Telstar және Skylab.

1960 жылдарға қарай Жер орбиталық спутниктерінің көпшілігі үшін негізгі қуат көзі күн батареялары болды (және әлі де солай), өйткені олар қуат пен салмақтың ең жақсы қатынасын ұсынады. Бұл табысқа спутниктер үшін ең жақсы күн батареялары үшін ақы төлеу қажеттілігі мен дайындығы себеп болды. Бұл ғарыштық қуат нарығы 1962 жылы ғарыш арқылы бірінші телефон қоңырауын жіберуге мүмкіндік беретін Telstar байланыс спутнигі сияқты қосымшаларды табу арқылы көптеген жылдар бойы күн батареяларында жоғары тиімділікті дамытуға түрткі болды.

«Союз 1» 1967 жылы күн батареяларымен жұмыс істейтін алғашқы басқарылатын ғарыш кемесі, 1971 жылы «Салют 1» кез келген түрдегі бірінші ғарыш станциясы және 1973 жылы «Скайла» алғашқы американдық ғарыш станциясы болды.

Әдебиеттер тізімі:

1. Mertens, K. (2018). *Photovoltaics: fundamentals, technology, and practice*. John Wiley & Sons.

2. Chapin, D., Fuller, C.S. and Pearson, G.L. (1954) A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power. *Journal of Applied Physics*, **25** (5), 676–677.

3. Fatemi, N. (2005) Performance of high-efficiency advanced triple junction solar panels for the LILT mission DAWN. 31 Photovoltaic Specialists Conference and Exhibition, Lake Buena Vista, Florida, January 3–7.

4. Grochowski, J.. (1997) Minderertragsanalysen und Optimierungspotentiale an netzgekoppelten Photovoltaikanlagen des 1000-Dächer-Programms, Themen 96/97, Forschungsverbund Sonnenenergie, Köln.