

Large volume recycling of panels for large solar power plants

K.P. Zhapbar*, R.M. Utebaev

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: kuan-kazak117@mail.ru

Abstract. This article addresses the critical issue of recycling large volumes of solar cells to ensure sustainability and extreme safety. Solar panels certainly play a major role in the transition to clean energy, but their limited lifespan indicates the need for effective repairs. The article outlines the stages of recycling, from removing and disassembling panels to recycling a variety of materials, including glass, metals, plastics and electronic components. Particular attention is paid to recovering materials and reusing them to produce new solar panels and products, ensuring sustainability and energy savings.

Keywords: recycling of solar cells, sorting and separation of materials, recycling, recovery and reuse of materials.

1. Кіріспе

Күн энергиясы қазба отындарына тәуелділікті азайтуға және атмосфераға көміртегі шығарындыларын азайтуға көмектесетін ең жылдам дамып келе жатқан жаңартылатын энергия болып табылады. Дегенмен, ескірген күн батареяларының көпшілігі полигондарға жіберіледі, бірақ қазір күн панельдерінің көбеюімен, егер мүмкін болса күн панельдерін қайта өңдеудің мүмкіндігі туды. Қайта өңделетін материалдар 2030 жылы 2.7 миллиард доллардан асады. Кремний негізіндегі күн панельдерінің ең үлкен құрамдас бөлігі - шыны, жалпы алғанда шамамен 80% құрайтын алюминийден кейін және асыл металл құрамдас бөлігі шамамен 6% құрайды, соның ішінде кремний, күміс, мыс, қалайы, қорғасын, мырыш және т.б. Ең бағалы компоненттері алюминий, күміс, мыс және полисилиций. Ең үлкен көлемді материал - шыны. Күн батареяларының қызмет ету мерзімі 20~30 жылға дейін. Соған байланысты оның ұзақ қызмет ету мерзімі, қайта өңдеу салыстырмалы түрде жаңа ұғым болып есептеледі.

Кесте 1. Қазақстандағы ірі күн электр станциялары

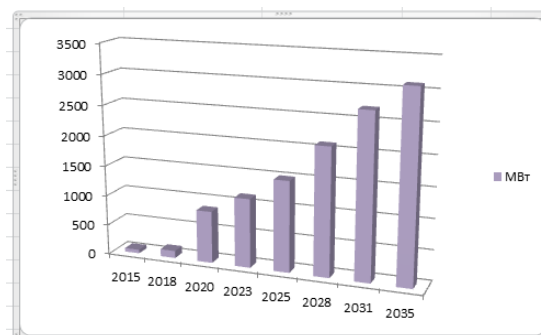
		Жалпы орнатылған қуат (МВт)	Іске қосылған уақыты	Күн панелінің саны, шт
1	«Нұра» КЭС	100	2020	268000
2	«Нұрғиса» КЭС	100	2019	303000
3	«Шу КЭС	100	2019	-
4	«Сарань»	100	2019	307700
5	«Мұқағали» КЭС	50	2020	140000
6	«Шолаққорған» КЭС	50	2020	-
7	«Кентау» КЭС	50	2020	-
8	«Бурное Солар-1» КЭС	50	2015	192000
9	«Бурное Солар-2» КЭС	50	2018	185000
10	«Ағадыр» КЭС	50	2019	-
11	«Байқоңыр» КЭС	50	2019	-
12	«Шоктас» КЭС	50	2021	-

2. Зерттеу әдістері мен материалдары

2.1. Күн электр станцияларының өсу қарқыны

Global Data зерттеу фирмасының жаңа есебіне сәйкес, 2030 жылға қарай Қазақстанның электр энергиясын өндірудегі жаңартылатын энергияның үлесі 10.3%-ға жетеді. Бұл 2021 жылы белгіленген 15%-дан аз. Ел 2020 жылы жаңартылатын қуат көздерінен электр энергиясының 3 пайызын өндіру жөніндегі қысқа мерзімді мақсатына жетті, содан кейін 2030 жылға арналған мақсатын 10 пайыздан 15 пайызға дейін ұлғайтты. 2022 жылы жылу өндірісі белгіленген қуаттың 80.1%-ын және жылдық өнімнің 86.6%-ын құрады.

ҚР Энергетика министрлігінің мәліметі бойынша, 2022 жылдың аяғында республикада белгіленген қуаты 2400 МВт жаңартылатын энергия көздерінің 130 нысаны жұмыс істейді (оның ішінде 44 күн электр станциясы – 1148 МВт). Қазақстан 2023-2035 жылдар аралығында күн фотоэлектр қуатын 3.1 ГВт және құрлықтағы жел қуатын 2.9 ГВт арттырады деп күтілуде (1-сурет) [1].



Сурет 1. Қазақстан 2023-2035 жылдар аралығында күн фотоэлектр қуатының болжамы

Күн панелідерінің орташа салмағы 18 кг-ды құрайды [3]. Соңғы мәліметтерге сәйкес елімізде 3.5 млнға жуық күн панелі бар. Осыны ескере отырып күн панельдерін өңдеу жолдарын бүгіннен қарастыру керек. Фотоэлектрлік (PV) панельдердің 90%-дан астамы кристалды кремнийге негізделген және қызмет ету мерзімі шамамен 30 жыл. Болжамдар бұл панельдердің

25 миллион тоннасының (т) 2035 жылға қарай жұмыс мерзімінің соңына жетеді деп болжайды, бұл көрсеткіш 2050 жылға қарай 60 миллион тоннаға жетуі мүмкін. Бұл үлкен күрделі мәселе. Фотоэлектрлік күн панельдері қоршаған ортаны ластауға әкелетін қорғасын сияқты улы материалдардан тұрады, бірақ олардың көпшілігі мерзімінің соңында полигонға тасталады. Олар сондай-ақ жаңа күн батареяларын жасау үшін қайта пайдалануға болатын құнды материалдардан тұрады, бірақ бүгінгі күні бұл ресурстар негізінен босқа жұмсалады.

Қазақстанда фотоэлектрлік күн панельдерін қайта өңдеуді міндеттейтін мемлекеттік ережелер жоқ. Дегенмен, фотоэлектрлік күн панельдерін қайта өңдеуді талап ететін Еуропалық Одақ елдерінде де, көптеген қалдық қондырғылары кремний панелінің массасының 80%-дан астамын құрайтын алюминий жақтаулар мен шыны сияқты сусымалы материалдарды ғана жинайды. Қалған масса көбінесе кремний панелі материалдарының ақшалай құнының үштен екі бөлігін құрайтын күміс, мыс және кремний сияқты элементтерді қамтыса да, өртенеді. Қазір әлемдік компаниялар мен зерттеушілер PV қалдықтарының жақындап келе жатқан үлкен көлемін азайту үшін зерттеулер жүргізуде. Олар қайта өңдеудің шығындары мен қоршаған ортаға тигізетін әсерін азайта отырып, жасушалардан пайдалы материалдарды әлдеқайда көп алуға септігін тигізетін технологияларын әзірлеп, қайта өңдеу кезеңдері құрастырылуда.

3. Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

3.1. Күн батареяларын қайта өңдеу кезеңдері

1-кезең: Бөлшектеу және сәлшектеу

Күн батареяларын қайта өңдеудегі бірінші және ең маңызды қадам - оларды алу және бөлшектеу. Бұл процесс панельдердің зақымдалуын мұқият тексеруден және олардың жалпы жағдайын анықтаудан басталады (2-сурет). Бөлшектеу келесі қадамдарды қамтиды:

- *Демонтажға дайындық.* Бұл кезең қауіпсіздікті бағалауды және бөлшектеу жоспарын әзірлеуді қамтиды. Сақтық шаралары, қажетті құрал-жабдықтар мен еңбек қауіпсіздігі талаптары анықталады.

- *Бекітікіштерден алу.* Панельдер шатырға немесе тірек құрылымына олардың бекітпелерінен алынады. Бұл зақымдануды болдырмау үшін арнайы құралдар мен дағдыларды қажет етуі мүмкін.

- *Электр кабельдерін ажырату.* Электр кабельдері, соның ішінде кабельдер мен қосқыштар электр қауіпсіздігі ережелеріне сәйкес ажыратылады.

- *Құрамдас бөліктерге бөлшектеу.* Күн панельдері шыны, металл жақтаулар, фотоэлементтер және басқа материалдарды қоса алғанда, олардың құрамдас бөліктеріне бөлшектеледі. Бұл тиімді қайта өңдеуге және кәдеге жаратуға мүмкіндік береді.

- *Таңбалау және белгілеу.* Бөлшектелгеннен кейін панельдің әрбір құрамдас бөлігі оның түрі мен материалына сәйкес таңбаланады және белгіленеді, бұл кейінгі сұрыптауды жеңілдетеді.

- *Қаптама және сақтау.* Бөлшектелген құрамдас бөліктер қауіпсіздік және экологиялық талаптарға сәйкес оралып, уақытша сақталады. Бөлшектеу және сұрыптау қадамы күн батареяларын тиімді қайта өңдеуде маңызды рөл атқарады, кейінгі сұрыптау және қайта өңдеу процестерінің бастапқы қадамдарын қамтамасыз етеді.



Сурет 2. Ескірген күн панельдерінің топтамасы

Күн батареяларын сәтті бөлшектеу және сұрыптаудан кейін панельдерді құрайтын әртүрлі материалдарды сұрыптау және бөлу кезеңіне өту керек. Бұл кейіннен өңдеу үшін әртүрлі материалдарды тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Бұл кезең келесі қадамдарды қамтиды:

- *Компоненттер жинағы.* Күн батареяларының бөлшектелген бөліктері олардың түрлері мен сипаттамаларына сәйкес құрастырылады және топтастырылады.

- *Көрнекі тексеру.* Панельдің әрбір құрамдас бөлігі ақауларға көзбен тексеріледі және қайта пайдалануға жарамдылығы бағаланады.

- *Механикалық сұрыптау.* Материалдар өлшемі, салмағы, тығыздығы және магниттік қасиеттері сияқты физикалық сипаттамаларына байланысты механикалық түрде бөлінеді.

- *Материалдар бөлімі.* Сұрыптау шыны, металдар (алюминий және мыс сияқты), пластик және басқа компоненттерді қоса алғанда, материал түрі бойынша жүзеге асырылады.

- *Таңбалау және орау.* Сұрыпталған материалдардың әрбір партиясы келесі кезеңдерде мөлдірлік пен сәйкестендірудің жеңілдігін қамтамасыз ету үшін таңбаланады. Материалдар әрі қарай өңдеу үшін оралған. Материалдарды сұрыптау және бөлу қадамы қайта өңдеу және қайта пайдалану процесін оңтайландырудың, сондай-ақ күн батареясының қалдықтарын басқарудағы тұрақтылықты қамтамасыз етудің кілті болып табылады.

3 кезең: Материалдарды қайта өңдеу

Үлкен көлемдегі күн батареяларын қайта өңдеудің үшінші кезеңі қайта пайдалануға арналған сұрыпталған материалдарды қайта өңдеу және жаңа күн панельдерін өндіру процесін қамтиды. Бұл тиімді қайта өңдеудің маңызды қадамы. Бұл кезең келесі әрекеттерді қамтиды:

- *Әйнекті қайта өңдеу.* Күн батареяларының шыны құрамдас бөліктері болашақ күн панельдері немесе басқа өнімдер үшін шыны парақтарды жасау үшін балқытылады.

- *Металды қайта өңдеу.* Алюминий және мыс сияқты металл құрамдас бөліктері балқыту және жаңа компоненттерді өндіруге жарамды түйіршіктерге немесе парақтарға айналдыру арқылы өңделеді.

- *Пластмассаларды қайта өңдеу.* Пластикалық материалдар рамаларды, кабель қабықшаларын немесе басқа бұйымдарды жасауға болатын түйіршіктерге өңделеді.

- *Фотоэлементтерді қайта өңдеу.* Инверторлар мен контроллерлер сияқты фотоэлементтер бағалы металдар мен басқа да бағалы материалдарды алу үшін өңделеді.

- *Қайта өңделген шикізатты пайдалану.* Қайта өңделген материалдар тың ресурстарды тұтынуды азайту үшін жаңа күн панельдерін немесе басқа өнімдерді жасау үшін пайдаланылады. Материалды қайта өңдеудің бұл қадамы жабық материал циклін құруда және күн энергетикасы саласында ресурстарды тұрақты пайдалануды ынталандыруда маңызды рөл атқарады.

4-кезең: Қалпына келтіру және қайта пайдалану

Күн батареяларын жаппай қайта өңдеудің төртінші кезеңі материалдарды қалпына келтіруге және оларды жаңа күн панельдерін немесе басқа өнімдерді жасау үшін қайта пайдалануға бағытталған. Бұл тұрақтылықты және жабық цикл материалдарына көшуді көрсетеді. Бұл кезең келесі қадамдарды қамтиды:

- *Материалдарды тазалау және дайындау.* Қайта өңделген материалдар сапасы мен қайта өңдеу мүмкіндігін жақсарту үшін тазарту және дайындау процестерінен өтеді.

- *Қалпына келтіру қасиеттері.* Кейбір жағдайларда материалдар жаңа өнімдерді өндіруге жарамды деңгейге дейін сипаттамаларын қалпына келтіру үшін қосымша өңдеуді қажет етуі мүмкін.

- *Жаңа компоненттерді өндіру.* Дайындалған материалдар жақтаулар, тіректер немесе тіпті фотоэлементті бөлшектер сияқты күн панелінің жаңа компоненттерін жасау үшін қолданылады.

- *Жаңа күн панельдерін жасау.* Заманауи технологиялар мен стандарттарды қолдана отырып, жаңа күн батареяларын құрастыру үшін пайдаланылады.

- *Сапаны тексеру және сертификаттау.* Өндірілген күн панельдері стандарттар мен талаптарға сәйкестігін қамтамасыз ету үшін қатаң сапа тексерулері мен сертификаттаудан өтеді. Қайта өңделген материалдарды қалпына келтіру және қайта пайдалану таза ресурстарды тұтынуды азайтуға, қалдықтарды азайтуға көмектеседі және күн панельдері мен басқа өнімдерді өндірудегі тұрақтылықты қолдайды.

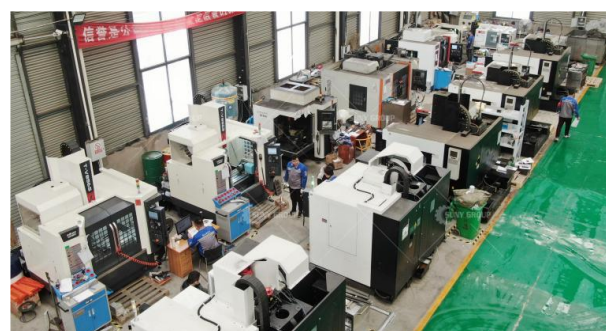
Күн батареяларын қайта өңдеу және қайта өңдеу саласындағы күш-жігерімен танымал компаниялардың кейбірі:

First Solar (АҚШ) - жұқа қабықшалы күн панельдерін шығарады және қайта өңдейді. Компания өзінің панельдерін қайта өңдеу және қайта өңдеу бағдарламасына белсенді түрде қатысады.

Veolia (Франция) - қалдықтарды басқару және қайта өңдеу саласындағы әлемдік көшбасшы [5]. Ол электрониканы және жаңартылатын ресурстарды, соның ішінде күн батареяларын қайта өңдейді. ЕО-да заңнама бойынша PV өндірушілерден қалдық панельдерді қайта өңдеуді және кем дегенде 80% қалпына келтіруді талап етеді. Олардың массасы, негізінен PV Cycle деп аталатын салалық консорциум арқылы ұйымдастырылған күш. 2018 жылы, Француздық Veolia қоқыс өңдеу компаниясы оны өңдеу үшін арнайы PV қайта өңдеу зауытын ашты.

Suny Group (Қытай) - қатты заттардың барлық түрлерін өндіруде кәсіби қалдықтарды қайта өңдеуге арналған [4]. SunyGroup компаниясы 2011 жылы құрылған. Қытайдың Чжэнчжоу қаласында орналасқан. Компания өз кезегінде қатты заттардың барлық түрлерін өндіруде кәсіби қалдықтарды қайта өңдеуге арналған

жабдықтар мен медициналық бұйымдар жасап шығарумен айналысады. Жобаны жобалаудан бастап тұтастай жоспарлау мен аяқтауға дейін жалғасады. Өндірістік желі, бөлшектерді өндіруден бастап құрастыруға дейін және өндіріс конфигурациясынан бастап бүкіл машинаны жөндеумен, тұтынушыларға арналған жоспарлар, сатылымнан кейінгі қызмет көрсету, барлығын көрсетеді. Цехтарда 20-дан астам комплект өңдеу жабдықтары, станоктың негізгі бөлшектері бар. Барлығы цех ішінде өндіріледі, сондықтан ол қосалқы бөлшектердің дәлдігіне кепілдік бере алады, қамтамасыз етеді, машинаның сапасы мен тұрақтылығына, сонымен қатар жеткізу уақытына кепілдік береді. Шеберханадағы қосалқы бөлшектер аймағы, қалыпты қосалқы бөлшектерге арналған қоймалар бар. Сондықтан, тұтынушылардың уақытын үнемдеу және қажет болған кезде қосалқы бөлшектерді уақытында жеткізуге кепілдік береді, сатудан кейінгі қызмет көрсету үшін қосалқы бөлшектерді тұрақты жеткізуге кепілдік береді (3-сурет).



Сурет 3. Цехтың ішкі көрінісі

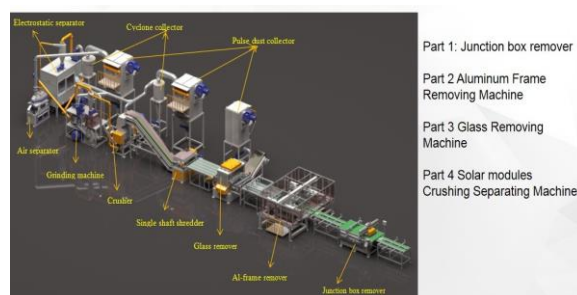
4 бөліктен тұратын күн панельдерін қайта өңдеу өндірістік желісі:

1-бөлім: Қосалқы қорапты алып тастау машинасы: оның қосу қорабын алып тастаңыз

2-бөлім: Алюминий жақтауды алып тастау машинасы: оның алюминий жақтауын алыңыз.

3-бөлім: Әйнекті кетіретін машина: күн панельдерінің бетінен әйнекті алып тастаңыз.

4-бөлім: Күн батареяларын ұсақтайтын бөлгіш машина: Бір білікті ұсақтағыш: күн батареяларын 8-10 см бөліктерге ұсақтау. Ұнтақтау машинасы: күн батареяларын 1 см бөліктерге ұсақтау. Турбо ұнтақтау машинасы: барлығын аралас ұнтақ 20 торға ұнтақтау. Қос найза-ауа сепараторы және электростатикалық сепаратор: металл ұнтағын металл емес ұнтақтан бөлу. Кремний ұнтағы циклоннан шығады (4-сурет).



Сурет 4. 4 бөліктен тұратын күн панельдерін қайта өңдеу өндірістік желісі

4. Қорытынды

Үлкен көлемдегі күн батареяларын қайта өңдеу қалдықтарды тұрақты басқаруда және таза энергияға көшуді қолдауда маңызды рөл атқарады. Күн панельдері жаңартылатын энергияның негізгі құрамдас бөлігі ретінде шектеулі қызмет ету мерзіміне ие және оларды тиімді жою тұрақты дамудың ажырамас бөлігіне айналады.

Қайта өңдеу процесі материалдарды сұрыптау мен бөлуді қоса алғанда, күн батареяларын алу және бөлшектеуден басталады. Қайта өңдеу қадамы жаңа күн панельдері мен басқа өнімдерді жасау үшін қайта пайдалануға болатын қайталама шикізатты алу үшін жүзеге асырылады.

Шыны, металдар және пластмассалар сияқты материалдарды қайта құрылымдау энергетика саласында тұрақты шешімдерге мүмкіндік береді. Бұл процесс сонымен қатар жер маңындағы ластануды және мұнай өнімдеріне энергия тәуелділігін азайтуға көмектеседі. Күн батареяларын қайта өңдеуге маманданған өнеркәсіптік кәсіпорындардың қатысуы болып табылады. First Solar, Veolia және SunyGroup сияқты компаниялар күн панельдерін қайта өңдеуге және қайта өңдеуге белсенді

түрде қатысады, табиғи ресурстарды үнемдеуге және қоршаған ортаның тұрақтылығына ықпал етеді.

Күн энергиясының үздіксіз өсуімен қайта өңдеу және қайта өңдеу күштерін күшейту қажет. Инновацияларды қолдау, қайта өңдеудің тиімді технологияларын дамыту және күн батареяларын қайта өңдеуді реттейтін заңнаманы құру болашақ ұрпақтың тұрақтылығы мен әлауқатын қамтамасыз етудің негізгі факторлары болады.

References / Әдебиеттер

- [1] Renen. (2023). Kazakhstan veroyatno ne dostignet svoih celej razvitiya VIJe na 2030 god. Retrieved from: <https://renen.ru/kazakhstan-veroyatno-ne-dostignet-svoih-tselej-razvitiya-vie-na-2030-godm>
- [2] Kursiv Media. (2022). V top-20 ob#ektov VIJe voshli chetyre novyh proekta. Retrieved from: <https://kz.kursiv.media/2022-06-27/v-top-20-obektov-vie-voshli-chetyre-novyh-proekta/>
- [3] Axiom Plus. (2023). Vse o solnechnyh paneljah. Retrieved from: <https://axiomplus.com.ua/news/vse-o-solnechnyh-panelyah>
- [4] Suny Group. (2023). SunyGroup kompanijasynyn negizgi saity. Retrieved from: <https://www.sunygroup.cn/SunyGroup>
- [5] Veolia. (2023). Veolia kompanijasynyn negizgi saity. Retrieved from: <https://www.veolia.com/>

Ірі күн электр станцияларының панельдерін үлкен көлемде қайта өңдеу

Қ.П. Жапбар*, Р.М. Өтебаев

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: kuan-kazak117@mail.ru

Андатпа. Бұл мақала тұрақтылық пен экологиялық қауіпсіздікті сақтау үшін күн батареяларының үлкен көлемін қайта өңдеудің маңызды мәселесін қарастырады. Күн панельдері таза энергияға көшуде маңызды рөл атқаратыны сөзсіз, бірақ олардың шектеулі қызмет ету мерзімі тиімді қайта өңдеу қажеттілігін көрсетеді. Мақалада панельдерді алу және бөлшектеуден бастап әртүрлі материалдарды, соның ішінде шыны, металдар, пластмасса және фотоэлементтерді қайта өңдеуге дейінгі қайта өңдеу кезеңдері берілген. Материалдарды қалпына келтіруге және оларды жаңа күн панельдері мен өнімдерін өндіру үшін қайта пайдалануға ерекше көңіл бөлінеді, осылайша тұрақтылық пен энергияны үнемдеуге ықпал етеді.

Негізгі сөздер: күн батареяларын қайта өңдеу, материалдарды сұрыптау және бөлу, материалдарды қайта өңдеу, қалпына келтіру және қайта пайдалану.

Крупнообъемная переработка панелей для крупных солнечных электростанций

Қ.П. Жапбар*, Р.М. Утебаев

Satbayev University, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: kuan-kazak117@mail.ru

Аннотация. В этой статье рассматривается важнейшая проблема переработки больших объемов солнечных элементов для обеспечения устойчивости и экологической безопасности. Солнечные панели, несомненно, сыграют важную роль в переходе на чистую энергию, но их ограниченный срок службы указывает на необходимость эффективной переработки. В статье обозначены этапы переработки: от снятия и разборки панелей до переработки различных материалов, включая стекло, металлы, пластмассы и фотоэлементы. Особое внимание уделяется восстановлению материа-

лов и их повторному использованию для производства новых солнечных панелей и продуктов, что способствует устойчивому развитию и экономии энергии.

Ключевые слова: утилизация солнечных элементов, сортировка и разделение материалов, переработка, восстановление и повторное использование материалов.

Received: 19 April 2024

Accepted: 15 September 2024

Available online: 30 September 2024