

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Ә.Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

«Энергетика» кафедрасы

Бауыржанұлы Еркебұлан

Қалалық инфрақұрылым жағдайында энергия жинау үшін пьезоэлектрлік түрлендіргіштерді
пайдалану

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B07101 – «Энергетика» мамандығы

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық емес
акционерлік қоғамы

Ә.Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

«Энергетика» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
«Энергетика» кафедрасының
менгерушісі
PhD, құрылымдастырылған профессор
Е.А.Сарсенбаев
«28» маусым 2025 ж.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНУ им.К.И.Сатпаева»
Институт энергетики
и машиностроения

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Қалалық инфрақұрылым жағдайында энергия жинау үшін пьезоэлектрлік
түрлендіргіштерді пайдалану»

6B07101 – «Энергетика» мамандығы

Орындаған:



Бауыржанұлы Еркебұлан.

Пікір беруші
Бас энергетик «Біріктірілген тау-кен құрылыс
компаниясы» ЖШС

 Е.А.Жолдыбеков

(қолы)
«28» маусым 2025 ж.

Ғылыми жетекші
«Энергетика» кафедрасының PhD, аға
оқытушысы

 Р.Ш.Абитаева

(қолы)
«28» маусым 2025 ж.

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық емес
акционерлік қоғамы

Ә.Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

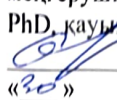
«Энергетика» кафедрасы

6B07101 – «Энергетика» мамандығы

БЕКІТЕМІН

«Энергетика» кафедрасының
меңгерушісі

PhD, қауымдастырылған профессор

 Е.А.Сарсенбаев
«30» 01 2025 ж.

**Дипломдық жұмысты орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Бауыржанұлы Еркебұлан

Тақырыбы: Қалалық инфрақұрылым жасадайында энергия жинау үшін пьезоэлектрлік
турлендіргіштерді пайдалану

Университеттің академиялық мәселелер жөніндегі проректорының 29.01.2025 ж. № 26 п/ө
бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі 19- мамыр 2025 жыл

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері: Көп қабатты үйлер саны

Дипломдық жұмыстың қысқаша мазмұны:

а) Бір ауданның энергоолданысын есептеу

ә) Пьезоэлемент туралы толық ақпарат беру

б) Экологияға әсері және дәстүрлі энергетикамен салыстыру

Сызба материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)

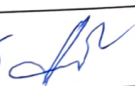
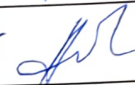
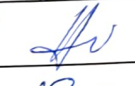
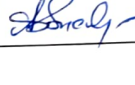
Сызба материалдары слайдтарда көрсетілген

Ұсынылатын негізгі әдебиет 10 атау

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге көрсету мерзімдері	Ескерту
Пьезоэлемент туралы жалпылама ақпарат	10.03.25 – 30.03.25 ж.	—
Шығу қуаттарын есептеу	02.04.25 – 09.05.25 ж.	—
Экономика және экология	10.05.25 – 19.05.25 ж.	—

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен
норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған
қолтаңбалары

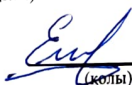
Бөлімдер атауы	Кеңесшілердің аты-жөні, (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Пьезоэлемент туралы жалпылама ақпарат	Р.Ш.Абитаева, Phd, «Энергетика» кафедрасының аға оқытушысы	22.05.2025	
Шығу қуаттарын есептеу	Р.Ш.Абитаева, Phd, «Энергетика» кафедрасының аға оқытушысы	29.05.2025	
Экономика және экология	Р.Ш.Абитаева, Phd, «Энергетика» кафедрасының аға оқытушысы	2.06.2025	
Норма бақылау	Ә.О.Бердібеков, магистр, аға оқытушы	10.06.2025	

Ғылыми жетекшісі


(қолы)

Р.Ш.Абитаева

Тапсырманы орындауға алған студент


(қолы)

Е.Бауыржанұлы

Күні

« 20 » 01 2025ж.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыс "Қалалық инфрақұрылым жағдайында энергия жинау үшін пьезоэлектрлік түрлендіргіштерді пайдалану".

Пьезоэлектрлік жүйелер – жаяу жүргіншілер мен көліктердің қозғалысынан туындайтын тербелістерді электр энергиясына айналдырудың болашағы бар шешімі. Бұл жұмыста олардың физика-техникалық негіздері, түрлері, ерекшеліктері және қала жағдайында қолдану мүмкіндіктері талданды.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа "Использование пьезоэлектрических преобразователей для сбора энергии в условиях городской инфраструктуры".

Пьезоэлектрические системы-многообещающее решение для преобразования колебаний, возникающих в результате движения пешеходов и транспортных средств, в электричество. В данной работе проанализированы их физико-технические основы, виды, особенности и возможности применения в городских условиях.

ANNOTATION

Thesis "use of piezoelectric converters for energy storage in urban infrastructure conditions".

Piezoelectric systems are a promising solution for converting vibrations resulting from the movement of pedestrians and vehicles into electricity. In this paper, their physical and technical foundations, types, features and possibilities of application in urban conditions are analyzed.

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	7
1	Ауданның электрмен жабдықтауын есептеу	8
1.1	Бастапқы шарттар	8
1.2	Қысқа тұйықталу токтарын есептеу	13
1.3	Электр аппараттары мен ток өткізгіш бөлшектерді тандау	15
2	Пьезоэлемент	21
2.1	Пайда болу тарихы	21
2.2	PZT, PVDF	22
3	Құрылымы	30
3.1	1 Өлшемді	30
3.2	2 Өлшемді	31
3.3	3 Өлшемді	33
4	Пьезоэлементтің шығыс қуатын есптеу	34
4.1	Есептеуге бастапқы мәліметтер	34
5	Экологияға жақсы әсері	38
5.1	Өзге энергия көздерімен салыстыру	40
5.2	Дәстүрлі энергетикамен салыстыру жүргізу	41
6	Болашақтағы қолданыс	46
6.1	кемшіліктер	47
	Қорытынды	49
	Пайданылған әдебиеттер тізімі	50

КІРІСПЕ

Осы шақ заманындағы қалалар халық санының күрт өсуіне, электр энергиясын тұтынудың ұлғаюына және тұрақты дамуға көшу қажеттілігіне байланысты энергиямен жабдықтау саласындағы өсіп келе жатқан сын-қатерлерге тап болуда. Мұндай жағдайларда қолданыстағы инфрақұрылымға оның функционалдығы мен архитектуралық тұтастығын бұзбай тиімді біріктіруге болатын баламалы және жаңартылатын энергия көздерін іздеу ерекше маңызға ие.

Осындай шешімдердің бірі - пьезоэлектрлік түрлендіргіштер, мысалы, жаяу жүргіншілер немесе көлік қозғалысы кезінде пайда болатын механикалық энергияны электр энергиясына айналдыра алады. Бұл технология қалалық ортаны тұтынушы ретінде ғана емес, сонымен қатар әлеуетті энергия көзі ретінде, әсіресе динамикалық жүктемесі жоғары жерлерде қарастыруға мүмкіндік береді.

Бүгінгі таңда пьезоэлектрлік жүйелер әлемнің жекелеген қалаларында белсенді зерттеулер мен енгізу кезеңінде. Дегенмен, олардың кең ауқымды қолданылуы көп нәрсені қажет етеді. Мысалға айтып кеткендей Токио, Лондон қалаларында бұл энергия көзі алғашқы қолданысқа ие болды. Сонын өзіндеде әлі аса ауқыуды тарамдады. Сол себепті осы бағыт туралы ақпарат көпшіліктің құлағына жетпеді. Соның өзіндеде бұл энергия көзінің болашағы бекем болуы шарт.

1 Ауданның электрмен жабдықтауын есептеу

1.1 Бастапқы шарттар

Ықшам ауданның тұтынатын энергия мөлшерін анықтау, келесі бөлімдерде энергиямен қамтамасыз ететін жолдардың бір-бірімен салыстыру бағытында орындалмақ. Сол себепті мен он төрт қабатты және төрт подъеден тұратын көп қабатты үйлермен және тоғыз қабатты лифт орналасқан алты үйді есептеймін. Есептік электр жүктемесі пәтерлер саны мен меншікті жүктеме бойынша анықталады:

$$P_{\text{кв}} = p_{\text{кв}} n \quad (1)$$

Лифттерді қоректендіретін желілердің есептік жүктемесі:

$$P_H = P_1 \sqrt{P B_H} \quad (2)$$

Лифттердің толық жүктемесі:

$$S_c = \frac{P_4 \cdot k_0}{\cos \varphi} \quad (3)$$

0,4 кВ желілердегі жүктеме:

А) Желі 8 және 4 подъезді 4 қабатты үйлерді қоректендіреді.

$$S_{л1} = \frac{128 \cdot 0,48 + 64 \cdot 0,59}{0,92} = 107,8 \text{кВА}$$

Ә) Желі 8 және екі 4 подъезді 4 қабатты үйлерді қоректендіреді.

$$S_{л2} = \frac{128 \cdot 0,48 + 64 \cdot 0,59 + 64 \cdot 0,59}{0,92} = 148,8 \text{кВА}$$

Б) Желі лифт орналасқан 9 қабатты 4 подъезді және дүкен орналасқан 3 үйлерді қоректендіреді.

$$S_{л3} = \frac{3 \cdot 144 \cdot 0,48}{0,92} + \frac{1 \cdot 80}{0,75} + \frac{0,9 \cdot 6 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5 \cdot 0,35}}{0,6} = 342 \text{кВА}$$

В)) Желі лифт орналасқан 9 қабатты 4 подъезді 3 үйлерді қоректендіреді.

$$S_{д4} = \frac{3 \cdot 144 \cdot 0,48}{0,92} + \frac{0,9 \cdot 6 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,35}{0,6} = 235,4 \text{ кВА}$$

0,4 кВ шиналардағы жүктеме:

$$S_{тп} = \frac{(6 \cdot 144 + 2 \cdot 128 + 3 \cdot 64) \cdot 0,39}{0,92} + \frac{1 \cdot 80}{0,75} + \frac{0,9 \cdot 6 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,35}{0,6} = 672,8 \text{ кВА}$$

10 кВ тарату желісінің жүктемесі:

Егер бір аулада осы шақты үйлер саны болса, бір ауданда 16 аула деп есептедім:

$$s = 672,8 \cdot 4 \cdot 0,9 = 2422 \text{ кВА}$$

$$s = 2422 \cdot 4 \cdot 0,9 = 8720 \text{ кВА}$$

Энергокорекке сыртқы кернеу мәнін таңдау;

$$U_p = 16 \cdot \sqrt[4]{P_p \cdot l} \quad (4)$$

$$U_p = 16 \cdot \sqrt[4]{6,6 \cdot 3} = 33,7 \text{ кВ}$$

Трансформатор саны мен қуатын таңдау

$$k_{31} = \frac{S_M}{2 \cdot S_{н.тр}} = \frac{9}{2 \cdot 10} = 0,71 \quad (5)$$

$$k_{32} = \frac{S_M}{S_{н.тр}} = \frac{9}{2 \cdot 6,3} = 0,45.$$

Трансформатор мәліметтері

1- нұсқа: $S_{н.тр}=10 \text{ МВА}$; $\Delta P_{х.х}=14,5 \text{ кВт}$; $\Delta P_{к.з}=65 \text{ кВт}$; $U_k=8 \%$; $I_{х.х}=0,5\%$;

$k_{10}=50 \text{ млн.тенге.}$

2- нұсқа: $S_{н.тр}=6,3 \text{ МВА}$; $\Delta P_{х.х}=9,4 \text{ кВт}$; $\Delta P_{к.з}=46,5 \text{ кВт}$; $U_k=7,5\%$; $I_{х.х}=0,9\%$;

$k_{16}=18,8 \text{ млн.тенге.}$

Трансформатордың қуат және энергия шығындарын есептеу

$k_{н.а}=0,05 \text{ кВт/кВА.}$

1-й нұсқа:

$$\Delta Q_{x.x} = S_{н.тр} \cdot \frac{I_{x.x}}{100} \quad (6)$$

$$\Delta Q_{x.x} = 10000 \cdot \frac{0,5}{100} = 50 \text{ квар}$$

$$\Delta Q_{к.з} = S_{н.тр} \cdot \frac{U_k}{100} \quad (7)$$

$$\Delta Q_{к.з} = 10000 \cdot \frac{8}{100} = 800 \text{ квар}$$

$$\Delta P_{x.x}^* = \Delta P_{x.x} + k_{и.п} \cdot \Delta Q_{x.x} \quad (8)$$

$$\Delta P_{x.x}^* = 14,5 + 0,05 \cdot 50 = 17 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{к.з}^* = \Delta P_{к.з} + k_{и.п} \cdot \Delta Q_{к.з} \quad (9)$$

$$\Delta P_{к.з}^* = 65 + 0,05 \cdot 800 = 105 \text{ кВт}$$

Екі параллель жұмыс істейтін трансформаторлар шығыны:

$$\Delta P_{2 \cdot 10} = N \cdot (\Delta P_{x.x}^* + k_{3 \cdot 0,5}^2 \cdot \Delta P_{к.з}^*) \quad (10)$$

$$\Delta P_{2 \cdot 10} = 2 \cdot 17 + 0,71 \cdot 2 \cdot 105 = 183,1 \text{ кВт.}$$

Мұнда $k_{3 \cdot 0,5}$ жүктемені екі бірдей трансформатор арасында екіге бөлу арқылы жаңа жүктеу коэффициенті.

2-нұсқа:

$$\Delta Q_{x.x} = 6300 \cdot \frac{0,9}{100} = 56,7 \text{ квар}$$

$$\Delta Q_{к.з} = 6300 \cdot \frac{7,5}{100} = 472,5 \text{ ква.}$$

$$\Delta P_{x.x}^* = 9,4 + 0,05 \cdot 56,7 = 12,2 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{к.з}^* = 46,5 + 0,05 \cdot 472,5 = 70,1 \text{ кВт}$$

Екі параллель жұмыс істейтін трансформаторлар шығыны:

$$\Delta P_{2 \cdot 40}^* = 2 \cdot 12,2 + 0,45 \cdot 2 \cdot 70,1 = 87,5 \text{ кВт}$$

Біз екі трансформатормен жұмыс істеу керек жүктемені табамыз:

1) 10000 кВА (1- нұсқа)

$$S_A = S_{н.тр} \sqrt{n(n-1) \frac{\Delta P_{x.x}}{\Delta P_{к.з}}} \quad (11)$$

$$S_A = 10 \sqrt{2 \cdot \frac{14,5}{65}} = 6,67 \text{ МВА}$$

2) 6300 кВА (2- нұсқа)

$$S_B = 6,3 \sqrt{2 \cdot \frac{9,4}{46,5}} = 4 \text{ МВА}$$

Трансформаторларды орнатылатын нұсқаларына техникалық-экономикалық салыстыру.

1- нұсқа:

Басты шығындар:

$$K_1 = 2 \cdot K_{10} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ млн. тг.} \quad (12)$$

Жылдық пайдалану шығындары:

Амортизация:

$$C_{a10} = k_0 \cdot K_1 = 0,1 \cdot 100 = 10 \text{ млн. } \frac{\text{тг}}{\text{жыл}} \quad (13)$$

Электр энергиясын шығын құны $C_0=1,17 \text{ тг/кВт}\cdot\text{ч}$

$$C_{п10} = C_0 \cdot \Delta \mathcal{E}_{a10} = 1,17 \cdot 6,9 = 8 \text{ млн. } \frac{\text{тг}}{\text{жыл}} \quad (14)$$

$$\Delta \mathcal{E}_{a10} = 6,9 \text{ млн. } \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{жыл}} - 1 \text{ жылдағы шығын.}$$

Жылдық жиынтық пайдалану шығыстары:

$$C_{a16} = 10 + 8 = 18 \text{ млн. } \frac{\text{тг}}{\text{жыл}} \quad (15)$$

1- нұсқа:

Басты шығындар:

$$K2 = 2 K16 = 2 \cdot 36 = 72 \text{ млн. тг.}$$

Жылдық пайдалану шығындары:
Амортизация:

$$C_{a16} = 0,1 \cdot 72 = 7,2 \text{ млн. } \frac{\text{тг}}{\text{жыл}}.$$

Электр энергиясын шығын құны $C_0 = 1,17 \text{ тг/кВт}\cdot\text{ч}$

$$C_{п16} = C_0 \cdot \Delta \mathcal{E}_{a16} = 1,17 \cdot 4,8 = 5,6 \text{ млн. } \frac{\text{тг}}{\text{жыл}}.$$

$\Delta \mathcal{E}_{16} = 4,8 \text{ млн. кВт}\cdot\text{ч/жыл}$ – 1 жылдағы шығын.

Жылдық жиынтық пайдалану шығыстары:

$$C_{\Sigma 16} = C_{a16} + C_{п16} = 7,2 + 5,6 = 12,8 \text{ млн. } \frac{\text{тг}}{\text{жыл}}.$$

2- нұсқаның бағасы және жүктеме коэффициенті жағынанда тиімді, әрі қолайлы демек соны таңдаймын.

Желінің есептік тогын анықтаймыз:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{9000}{1,73 \cdot 35} = 149 \text{ А} \quad (16)$$

АС-35 маркасын таңдаймын, бойынан өткізетін шама 175 А.

Қыздыру бойынша таңдалған қиманы токтың экономикалық тығыздығы бойынша тексереміз

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_p}{J_{\text{эк}}} = \frac{149}{1,4} = 107 \text{ мм}^2 \quad (17)$$

Мұндағы $j_{\text{эк}} = 1,4$ – токтың экономикалық тығыздығы, А/мм^2 .

$$S_{\text{эк}} < S_{\text{прин}} \quad (18)$$

Ток көзі мен электр қабылдағыш арасындағы кернеулердің рұқсат етілген ауытқуларын ескере отырып, сымдардың таңдалған қимасы (мм^2) формула бойынша тексеріледі

$$s = \frac{\sqrt{3} I_p l \cos \phi}{\gamma \Delta U} \quad (19)$$

мұндағы I_p - электр қабылдағыштың есептік тогы, А;
 l - әуе немесе кабельдік электр желісінің ұзындығы, м;
 $\cos \phi$ электр қабылдағыштың қуат коэффициенті;
 γ - өткізгіштің меншікті өткізгіштігі, $\frac{\text{м}}{(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)}$, $+20^\circ\text{C}$ температурада мыс үшін $\gamma = 53 \text{ м}/(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$, алюминий үшін $\gamma = 32 \text{ м}/(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$;
 ΔU - кернеуді жоғалтудың рұқсат етілген мәні, В.

$$s = \frac{\sqrt{3} \cdot 149 \cdot 3000 \cdot 0,6}{32 \cdot 1750} = 8,3 \text{ мм}^2$$

1.2 Қысқа тұйықталу токтарын есептеу

Қысқа тұйықталу токтарын есептеу кезінде келесі мәндер анықталады:

I'' - ҚТ тогының периодтық компонентінің бастапқы мәні;
 i_y - электр аппараттарын, оқшаулағыштарды, шиналарды динамикалық тұрақтылыққа тексеру үшін қажетті ҚТ соққы тогы;
 I_y - бірінші кезеңі ішінде динамикалық тұрақтылыққа электр аппараттарын тексеру үшін ҚТ толық тогының ең үлкен қолданыстағы мәні;
 $I_{0,2} - t = 0,2 \text{ с}$ кезде ажыратқыштарды өшіретін ток мәні;
 I_∞ - электр аппараттарын, оқшаулағыштарды, шиналарды, өту изоляторларын, кабельдерді термиялық төзімділікке тексеру үшін ҚТ тұрақты тоқтың қолданыстағы мәні;

Мен базалық қуат күшін $100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ деп қабылдаймын. Базистік кернеулерді сәйкесінше 35 пен 6,3кВ деп аламын.
 Трансформатордың кедергісі

$$X_{\text{т.б.}} = \frac{U_{\text{к.з.}} \cdot S_6}{100 \cdot S_{\text{нт}}}, \quad (20)$$

мұнда $u_{\text{к.з.}}$ - трансформатор кернеуі в %;

$S_{\text{нт}}$ - трансформатордың номиналды қуаты, $\text{МВ} \cdot \text{А}$;
 Сызықтардың индуктивті және белсенді кедергісі

$$X_{\text{лб}} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2} \quad (21)$$

$$r_{\text{лб}} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2} \quad (22)$$

$$r_0 = \frac{1000}{\gamma \cdot S} \quad (23)$$

S - сым қимасы, мм².

Базистік ток формуласы, кА;

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} \quad (24)$$

Соққы тогы КЗ

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I \quad (25)$$

мұндағы K_y – соққы коэффициенті. Кернеуі 1 кВ жоғары тізбектер үшін индуктивті қарсылықтың басым болуымен қабылдауға болады $K_y = 1,8$.
Трансформатор кедергісі (20)

$$X_{T.6*} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{6,3} = 0,75$$

Кедергі кабель желідері-6 кВ $L=250$ м

$$X_{л6} = 0,08 \cdot 0,25 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,05$$

Базистік ток 35 кВ кернеуінде (24), кА;

$$I_6 = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 35} = 1,5 \text{ кА}$$

Базистік ток 6 кВ кернеуінде (24), кА;

$$I_6 = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,2 \text{ кА}$$

К1 нүктесіндегі қысқа тұйықталу:

$$X_c = \frac{U_k \cdot S_6}{100 \cdot S_n} \quad 26$$

$$X_c = \frac{7,5 \cdot 100}{100 \cdot 6,3} = 1,1 \text{ о.е.}$$

$$I_{K-1} = \frac{I_6}{X_c} = \frac{9,2}{1,1} = 8,4 \text{ кА}$$

$$i_y = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,4 = 21,4 \text{ кА}$$

К2 нүктесіндегі қысқа тұйықталу:

$$X_{\text{желі}} = 0,444 * 3 * \frac{100}{35^2} = 0,12 \text{ о. е.}$$

$$I_{K2} = \frac{I_6}{X_c + X_L} \quad (27)$$

$$I_{K2} = \frac{9,2}{1,1 + 0,12} = 7,5 \text{ кА}$$

К2 нүктесіндегі соққы тоғы:

$$i_y = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,5 = 19 \text{ кА}$$

1.3 Электр аппараттары мен ток өткізгіш бөлшектерді таңдау

Барлық электр аппараттары номиналды кернеу, номиналды ток бойынша таңдалады және электродинамикалық және термиялық төзімділікке тексеріледі. Кернеу бойынша таңдау кезінде шарт сақталуы керек:

$$U_{ny} \leq U_{na} \quad (28)$$

Ағымдағы құрылғыларды дұрыс таңдау қалыпты режимде ұзақ уақыт жұмыс істеген кезде аппарат бөліктерінің қауіпті қызып кетуіне жол бермейді. Ол үшін қажет

$$I_{p \max} \leq I_{н.а.} \quad (29)$$

Жоғары вольтты ажыратқыштарды таңдау және тексеру. Ажыратқыштар номиналды кернеу, ұзақ ток, ажырату қабілеті бойынша таңдалады, содан кейін К3 токтарына электродинамикалық, термиялық төзімділікке тексеріледі.

1.1- кесте -U=35 кВ ажыратқыш пен ажыратқышты тандау

Тандау шарттары	Есептік мәндер	Каталог мәндері	
		Сөндіргіш С-35М-630	Ажыратқыш РВЗ-20/630УЗ
1. $U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_n = 35 \text{ кВ}$	$U_n = 35 \text{ кВ}$
2. $I_a \leq I_n$	$I_a = 300 \text{ А}$	$I_n = 630 \text{ А}$	$I_n = 630 \text{ А}$
3. $I_{к.з} \leq I_{отк.н}$	$I_{к.з} = 8,4 \text{ кА}$	$I_{отк.н} = 10 \text{ кА}$	-
4. $i_y \leq i_{пр.с}$	$i_y = 21,4 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 26 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 20 \text{ кА}$
5. $B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$	$B_k = 353 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	500 к А2·с	2000 к А2·с

1.2- кесте - U=6 кВ ажыратқыш пен ажыратқышты тандау

Тандау шарттары	Есептік мәндер	Каталог мәндері	
		Сөндіргіш ВМПЭ-11-2500	Ажыратқыш РВРЗ-10-2000
1. $U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 6,3 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
2. $I_a \leq I_n$	$I_a = 1650 \text{ А}$	$I_n = 2500 \text{ А}$	$I_n = 2000 \text{ А}$
3. $I_{к.з} \leq I_{отк.н}$	$I_{к.з} = 7,5 \text{ кА}$	$I_{отк.н} = 31 \text{ кА}$	-
4. $i_y \leq i_{пр.с}$	$i_y = 19 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 80 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 125 \text{ кА}$
5. $B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$	$B_k = 281 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	5000 кА ² · с	11000 кА ² · с

Ток пен кернеу өлшеу трансформаторларын тандау. Мен 35 кВ жағында және 6 кВ құрама шиналарда өлшеу құралдары мен Релелік қорғанысты қосу үшін ток трансформаторын тандаймын.

1.3- кесте - 35 кВ қа ток трансформаторын тандау

Тандау шарттары	Есептік мәндер	Каталог мәндері	Аңғартпа
		ТФЗМ-35-600	
1. $U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_n = 35 \text{ кВ}$	класс точности-0,5
2. $I_a \leq I_n$	$I_a = 149 \text{ А}$	$I_n = 300 \text{ А}$	$z_{2н} = 1,2 \text{ Ом}$
3. $i_y \leq I_d$	$i_y 21,4 = \text{кА}$	58 кА	$I_{н2} = 5 \text{ А}$

1.3- кесте - жалғасы

Таңдау шарттары	Есептік мәндер	Каталог мәндері	Аңғартпа
		ТФЗМ-35-600	
$4.B_k \leq (k_T \cdot I_H)^2 \cdot t_T$	$B_k = 353 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$18375 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	Фарфор окшаулағыш

1.4- кесте - 6 кВ- қа ток трансформаторын таңдау

Таңдау шарттары	Есептік мәндер	Каталог мәндері	Аңғартпа
		ТПЛК-10-1500-0,5/Р	
$1.U_{уст} \leq U_H$	$U_{уст} = 6,3 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$	класс точности-0,5
$2.I_a \leq I_H$	$I_a = 824 \text{ А}$	$I_H = 1000 \text{ А}$	$z_{2H} = 0,8 \text{ Ом}$
$3.i_y \leq k_d \cdot \sqrt{2} \cdot I_H$	$i_y = 19 \text{ кА}$	$74,5 \text{ кА}$	$I_{H2} = 5 \text{ А}$
$4.B_k \leq (k_T \cdot I_H)^2 \cdot t_T$	$B_k = 281 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$11000 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	Құйылған окшаулағыш

Мен 6 кВ желісіндегі өлшеу құралдарын қосу үшін кернеу трансформаторын таңдаймын. Мен бес өзекті, үш орамалы НТМИ типті кернеу трансформаторын таңдаймын, өйткені өлшеу құралдарын қосып қана қоймай, сонымен қатар 6 кВ тізбектегі окшаулауды үнемі бақылау қажет. Вторичная нагрузка:

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{39^2 + 28,6^2} = 48,5 \text{ ВА}$$

Таңдалған НТМИ-10-66 трансформаторы 0,5 дәлдік класында номиналды қуатқа ие, бұл 120 В есептегіштерін қосу үшін қажет., $S_{2\Sigma} = 48,5 \text{ В} \cdot \text{А} < S = 120 \text{ В} \cdot \text{А}$; трансформатор таңдалған дәлдік класында жұмыс істейді.

Екінші жүктеме бойынша ток трансформаторын тексеру үшін біз құрылғылардың барлық жүктемелерін қосамыз $S_{\text{приб}} = 8 \text{ ВА}$. Біз құрылғылардың жалпы кедергісін анықтаймыз:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{8}{25} = 0,32 \text{ Ом} \quad (30)$$

0,5 дәлдік класындағы ток трансформаторының екінші номиналды жүктемесі 0,8 Ом құрайды. Контактілердің кедергісі 0,1 Ом, содан кейін сымдардың кедергісі:

$$r_{\text{пр}} = z_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{н}} = 0,8 - 0,32 - 0,1 = 0,38 \text{ Ом}. \quad (31)$$

Алюминий өткізгіштері бар сымдардың ұзындығын 5 Ом қабылдай отырып, біз көлденең қиманы анықтаймыз:

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 50}{0,38} = 3,7 \text{ мм}^2 \quad (32)$$

Шиналар мен тірек оқшаулағыштарын таңдау. Шиналардың көлденең қимасын таңдау ток арқылы жүзеге асырылады:
 $I_{\text{раб}}$ - қалыпты режимдегі ұзақ жұмыс тогы А;

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.с}}} = \frac{8720}{\sqrt{3} \cdot 6} = 593,3 \text{ А} \quad (33)$$

Біз қораптық алюминий шиналарын таңдаймыз, өйткені олар жақындық пен беттік әсердің аз шығынын, сондай-ақ жақсы салқындату жағдайларын қамтамасыз етеді. $I_{\text{доп}}=625 \text{ А}$, (40х4); шиналардың жалпы қимасы – 160 мм².
 Таңдалған қима ұзақ рұқсат етілген токқа тексеріледі:

$$I_{\text{раб.макс}} \leq I_{\text{дл.доп}}^* \quad (34)$$

$$593 \text{ А} < 625 \text{ А}$$

Осылайша, таңдалған шиналар термиялық тұрақты.

Шиналарды динамикалық тұрақтылыққа, яғни механикалық беріктікке тексеру.

Шиналар мен оқшаулағыштарды есептеудің жеңілдетілген әдісін қарастырыңыз, онда шиналар мен оқшаулағыштар статикалық жүйе болып саналады, жүктемесі қысқа тұйықталу кезінде пайда болатын максималды электродинамикалық күшке тең.

W қимасының кедергі моменті шиналардың өлшемдері мен орналасуына байланысты, тікбұрышты шиналар үшін $W=13,3 \text{ см}^3$.

Қорап профилінің шинасын құрайтын арналар арасындағы өзара әрекеттесу күші формула бойынша анықталады:

$$f = 2 \cdot 10^{-7} k_{\phi} \cdot \frac{i_1 \cdot i_2}{a} \quad (35)$$

Мұнда a – көршілес фазалар арасындағы қашықтық, м.

$$a = h,$$

$$i_1 = i_2 = \frac{i_y}{2}, \frac{H}{m} \quad (36)$$

$$f_n = 0,5 \cdot \frac{i_y^2}{h} \cdot 10^{-7} = 0,5 \cdot \frac{(19 \cdot 1000)^2}{0,125} \cdot 10^{-7} = 144,4 \text{ Н/м}$$

σ_{ϕ} Есептік формуласы:

$$\sigma_{\phi.\text{макс}} = \frac{f_{\phi} \cdot l^2}{10 \cdot W} \quad (37)$$

σ_{ϕ} - фазалардың өзара әрекеттесуінен шина материалындағы кернеу, МПа;

$$\sigma_{\phi} = \frac{144,4 \cdot 2^2}{10 \cdot 13,3} = 7,5 \text{ МПа.}$$

Материалдағы кернеу, МПа.

$$\sigma_n = \frac{f_n \cdot l_n^2}{12 \cdot W_n} \quad (38)$$

$$\sigma_n = \frac{254 \cdot 2^2}{12 \cdot 13,3} = 6,3 \text{ МПа.}$$

Шинаның беріктілігін тексеру:

$$\sigma_{расч} = (\sigma_{\phi} + \sigma_n) \leq \sigma_{дон} \quad (39)$$

$$\sigma_{дон} = 70 \text{ МПа.}$$

$$6,5 + 7,5 \leq 70 \text{ МПа.}$$

Жолақтардың өзара әрекеттесуінен шиналар материалындағы рұқсат етілген кернеу:

$$\sigma_{n,\partial on} = \sigma_{\partial on} - \sigma_{\phi} \quad (40)$$

$$\sigma_{n,\partial on} = 70 - 7,5 = 62,5 \text{ МПа.}$$

Төсеме арасындағы арақашықтық:

$$l_{n,\text{макс}} = \sqrt{\frac{12(\sigma_{\partial on} - \sigma_{\phi}) \cdot W_n}{f_n}} = \sqrt{\frac{12(70 - 7,5) \cdot 100}{144,4}} = 22,7 \text{ м} \quad (41)$$

Төсеме саны:

$$n = \frac{l}{l_{n,\text{макс}}} - 1 = \frac{1000}{22,7} - 1 = 43 \quad (42)$$

Окшаулағыш таңдау:

$$F_u = f_{\phi} \cdot l, \text{ Н} \quad (43)$$

Мұнда f_{ϕ} - ұзындық бірлігінде фазалар арасындағы өзара әрекеттесу күші, Н/м;

$$F_u = 144,4 \cdot 22,7 = 3277,8 \text{ Н.}$$

$$F_{расч} = 1,2 \cdot F_u = 1,2 \cdot 3277,8 = 3933,5 \text{ Н} \quad (44)$$

$$F_{\partial on} \geq F_{расч} \quad (45)$$

$$F_{\partial on} = 20000 \text{ Н} > F_{расч} = 3933,5 \text{ Н.}$$

$$I_n = 2000 \text{ А} > I_{расч} = 824 \text{ А.}$$

$$U_{уст} = 6 \text{ кВ} < U = 10 \text{ кВ.}$$

1.5- кесте - Күндік қуат тұтыну

Техника атаулары	Саны	қолдану уақыты, сағ	Қуаты кВт	Қуат тұтынуы кВт·сағ
Тоңазытқыш	1504	24	0,6	21657,6
мұздатқыш	1504	24	0,4	14438,4
Кір жуғыш	1504	4	2,5	15040

1.5- кесте – жалғасы

Техника атаулары	Саны	колдану уақыты, сағ	Қуаты кВт	Қуат тұтынуы Квт·сағ
Ыдысжуғыш	600	2		
Қысқатолқынды пеш	1200	0,33	1,5	1800
Электрплитасы	300	2,5	1,2	475,2
Духовка	350	2	6	4500
Электр шайнегі	1504	0,6	2	1400
Кофемашина	200	0,33	1,5	1353,6
Блендер	600	0,6	1,2	79,2
Еттартқыш	360	0,6	0,5	180
Мультиварка	150	0,25	1,7	153
Теледидар	1504	2	0,4	120
Жеке компьютер	750	7	0,1	1052,8
принтер	750	3	0,7	1575
WI-FI	750	0,12	0,6	54
	1000	24	0,01	240
Кондиционер	600	3	2,2	3960
Ауа ылғалдандырғыш	320	4	0,15	192
Ауа баптағыш	240	8	0,1	192
Шаңсорғыш	1450	0,5	1,7	1232,5
Сорғыш	670	2,5	2,3	3852,5
Колонка	160	2	0,04	12,8
Смартфоны	6016	1,2	0,04	288,768
Фэн	800	0,25	1,2	240
Үтіг	1200	0,25	1,1	330
				74419,368

Кестедегі есептеуден бір шағын ауданның күніне жуықтап 74419,4кВт·сағ колданатыны есептелді

2 Пьезоэлемент

2.1 Пайда болу тарихы

Пьезоэлементтерді алғашқы болып 1672 жылы француз фармацевті Пьер Сигнет жүзім сабағынан синтездеп алады. Алғашында медицинада қолданылды. Пьезоэлемент материясы механикалық энергия өнімін электр энергиясына түрлендіре алатын диэлектриктер түрі. Бұл эффект орта симметриясы жоқ кристаллдарда болады. Бұны түсіну үшін кристалл құрамындағы әр молекуланы жеке қарастыруымыз керек. Әр молекула өзінің поляризациясы болады. Бір ұшы оң зарядты, екінші ұшы теріс зарядты және диполь деп аталады. Ол молекула формасымен құрамындағы атомдардың нәтижесі. Полярлы ось дегеніміз ойда сызылған сызық, екі заряд ортасында орналасқан. Монокристаллда осьтар бір бағытта болады. Сол себепті оларды симметриялы депте айтуға болады. Моно мен поли кристаллдар айырмашылығы осы полигондардың орналасуымен анықталады. Толық айырмашылығын 6 кестеде көрсетілді.

2.1 -кесте - Кристалл структурасының айырмашылығы

Параметр	Монокристалл	Поликристалл
Құрылымы	Бір кристалды тор	Шекарасы бар көптеген полигондар
Механикалық беріктік	Белгілі бір бағытта жоғары	Төмен
Өткізгіштік	Жоғары	Төмен
Өндіріс бағасы	Қымбат	Арзан
Мысалдар	Кремний, сапфир, кварц	Мыс, болат
Қолданысы	Электроника, күн батареялары	Өнеркәсіп, құрылыс

Поликристаллдарды монокристаллдарға айналдыру үшін жоғарғы температурағы қыздырып тоқ өткізу қажет. Сол арқылы өндіріс бағасын әжептәуір азайту мүмкіндігі бар.

2.2 PZT, PVDF

Осы 2 түрі кеңінен қолданылады, және әрқайсысына жеке тоқталамыз. PZT – химиялық формуласының қысқартылып жазылуы ($\text{Pb}[\text{Zr}_x \text{Ti}_{1-x}]\text{O}_3$), $0 \leq x \leq 1$. Құрамында 5-45 % көпіршікті қорғасын цирконат титанатты керамикасын, полиметилметакрилат және декстрин сияқты кеңістік түзгіштерді қосып, 1200 температурада 2 сағат көлеміне агломерациялау арқылы жасалады. Оңтайлы қыздыру процедурасы кеуек түзгіштердің термогравиметриялық талдауына

сәйкес тандалды. Әртүрлі кеуек түзгіштердің және олардың құрамының микроқұрылым мен пьезоэлектрлік қасиеттерге әсері зерттелді. Кеуек түзгіштердің көбеюімен агломерленген керамиканың кеуектілігі артып, пьезоэлектрлік өткізгіштіктің (≈ 33) және бойлық пьезоэлектрлік коэффициенттің (d_{33}) төмендеуіне, сондай-ақ гидростатикалық пьезоэлектрлік кернеудің (gh) және гидростатикалық сапаның ($DH gh$) жоғарылауына әкелді. 41% кеукті PZT сапасының гидростатикалық көрсеткіштері ($dh gh$) 95% тығыз pzt көрсеткішінен 10 есе жоғары болды.

Бұл шолу поливинилиденді фторидтің (PVDF), төзімді, химиялық инертті, бірақ электронды белсенді полимердің қасиеттері мен қолданылуын зерттейді. Жакында ғана Ұлыбританияда электронды құрылғыларға жарамды полярланған, электродпен қапталған пленка көп мөлшерде шығарылды. PVDF пьезоэлектрлік және пьезоэлектрлік қасиеттері керамикамен бәсекелеседі. Оның полимерлі табиғаты керамикадан артықшылықтар береді; мысалы, төмен баға, үлкен аумақ, икемділік, төмен акустикалық кедергі және жоғары жиілікті жұмыс. PVDF-ті сезуде (жылу мен діріл) және механикалық тербелістерді генерациялауда көптеген мүмкін қолданулар бар. Ықтимал қолданбаларға су астындағы дыбысты анықтау, инфрақызыл бақылау, ультрадыбыстық сынақ зондтары, вибраторлар және тұрмыстық электроника кіреді.

Қазіргі уақытта пьезоэлектрлік материалдардың ең көп қолданылатын түрлері литий ниобаты ($LiNbO_3$), қорғасын магний ниобат титанаты (PMN-PT), мырыш оксиді (ZnO), қорғасын цирконат титанаты (PZT), барий титанатынан бастап поливинилиден фторидіне (PVDF) дейінгі пьезоэлектрлік материалдардан тұрады. PZT сияқты қорғасын (Pb) негізіндегі керамика жоғары пьезоэлектрлік коэффициенттерге ие болғанымен, олардың қаттылығы, сынғыштығы және улылығы олардың иілгіш және созылатын құрылғыларда қолданылуын шектейді. Pb улылығына байланысты PZT негізіндегі құрылғыларды әртүрлі интеллектуалды жүйелер, медициналық бейнелеу құрылғылары, автомобильдер және дыбыс генераторлары сияқты тұтынушылық өнімдерде пайдалану туралы алаңдаушылық артып келеді. PZT негізіндегі керамика жоғары температурада қолдануға да жарамайды. Керісінше, $KNbO_3$, $NaNbO_3$ және т.б. сияқты Pb жоқ керамика биоүйлесімді болып табылады, бұл оларды тірі денелерге тікелей трансплантацияланатын сенсорлар мен жетектерде пайдалануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, олардың қасиеттерін оңай бейімдеуге болады, бұл оларды Pb негізіндегі PZT керамикасына жақсы балама етеді. Полимерлердің жоғары икемділігі, тамаша тұрақтылығы және биоүйлесімділігі бар, бұл оларды икемді құрылғыларға біріктіру үшін қолайлы етеді. Мырыш оксиді (ZnO) наноөткізгіштерін пайдаланып жасалған пьезоэлектрлік энергия жинағыштардың (PEHs) ең жоғары қуат тығыздығының мәндері ие 11 мВт см⁻³, PZT наноөткізгіштері 2,8 мВт см⁻³, $BaTiO_3$ /PDFH /PDFH com 0 8 Вт дейін. см⁻³. Қуат тығыздығы мәндерінің толық тізбесі 7 және 8 кестеде берілді. Және олардың салыстырмасы 1 суретте көрсетілген.

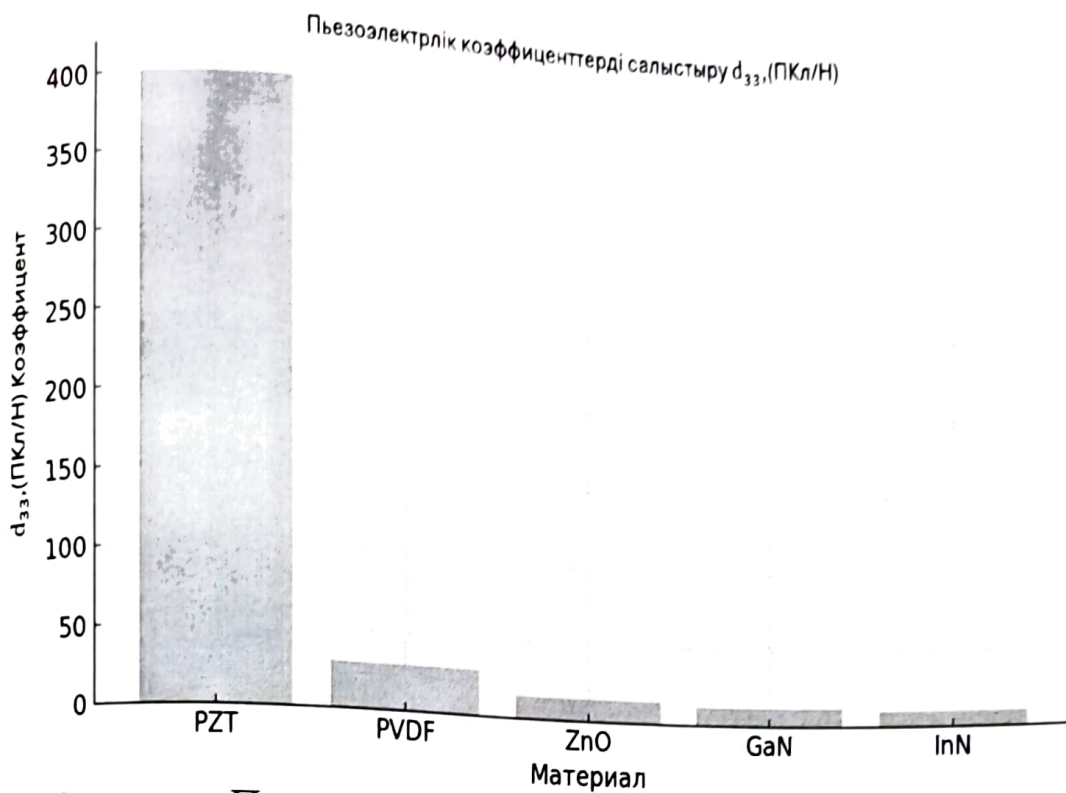
Наноматериал	Өлшемдері	Синтез әдісі	Коэффициент d_{33} [пКл/Н]	Поляризация	Механическая жүктеме / Шарт	Кернеу [В]	Ток және тығыздығы	Қуат/тығыздығы
ZnO нанониттер	$L = 0.2-0.5$ мкм	VLS (буландыру)	–	Поляризацияс ыз	5 нН	$(6-9) \times 10^{-3}$	–	≈ 10 пВт/мкм ²
P-допированные ZnO нанониттер	$D = 50$ нм, $L = 600$ нм	Термиялық буландыру	–	Поляризацияс ыз	90–120 нН	0.05–0.09	–	–
ZnO нанониттер	$D = 100-800$ нм, $L = 100-500$ мкм	Термиялық буландыру	–	Поляризацияс ыз	Саусақ тигізу	0.1–0.15	≈ 0.0005	–
ZnO наноөзектер	$D = 100$ нм, $L = 1.5-2$ мм	Су ерітіндісі $Zn(NO_3)_2 +$ HMTA	–	Поляризацияс ыз	0.9 кгс	–	≈ 1 $\mu A/cm^2$	–
ZnO наноөзектер	$D = 100$ нм, $L = 1.5-2$ мм	Су ерітіндісі $Zn(NO_3)_2 +$ HMTA	–	Поляризацияс ыз	0.9 кгс	–	4.76 $\mu A/cm^2$	–
ZnO наноөзектер	$D < 100$ нм, $L \approx 2$ мкм	Су ерітіндісі $Zn(NO_3)_2 +$ HMTA	–	Поляризацияс ыз	Бүгу	–	2 $\mu A/cm^2$	–
ZnO нанониттер	$D = 150$ нм, $L = 2$ мкм	Су ерітіндісі $Zn(NO_3)_2 +$ HMTA	–	Поляризацияс ыз	0.12% деформации	10 В	0.6 μA	10 мВт/см ³

Наноматериал	Өлшемдері	Синтез әдісі	Коэффициент d_{33} [пКл/Н]	Поляризация	Механическая жүктеме / Шарт	Кернеу [В]	Ток және тығыздығы	Қуат/тығыздығы
ZnO нанониттер	–	Гидротермальды әдіс	–	Поляризациясыз	–	20 В	6 μ А	0.2 Вт/см ³
ZnO нанониттер	–	Гидротермальды әдіс	–	Поляризациясыз	Алақан соққысы	58 В	134 μ А	0.78 Вт/см ³
ZnO нанониттер	L = 30 мкм	Парофаздық тұндыру	–	Поляризациясыз	0.11% деформация	2 В	50 нА	–
ZnO наноөзектер	L = 20 мкм	Су ерітіндісі Zn(NO ₃) ₂ + HMTA	–	Поляризациясыз	0.9 мН	4×10 ⁻⁵ В	4 нА	0.76 μ Вт/см ²
ZnO наноөзектер	D = 50–60 нм, L = 2 мкм	Су ерітіндісі Zn(NO ₃) ₂ + HMTA	–	Поляризациясыз	Үдеу 50 g	1.07 В	1.88 мА/см ²	434 μ Вт/см ²
ZnO нанониттер	D = 300 нм, L = 4 мкм	Дымқыл химиялық әдіс	–	Поляризациясыз	0.19% деформация	1.2 В	26 нА	≈70 нВт/см ²

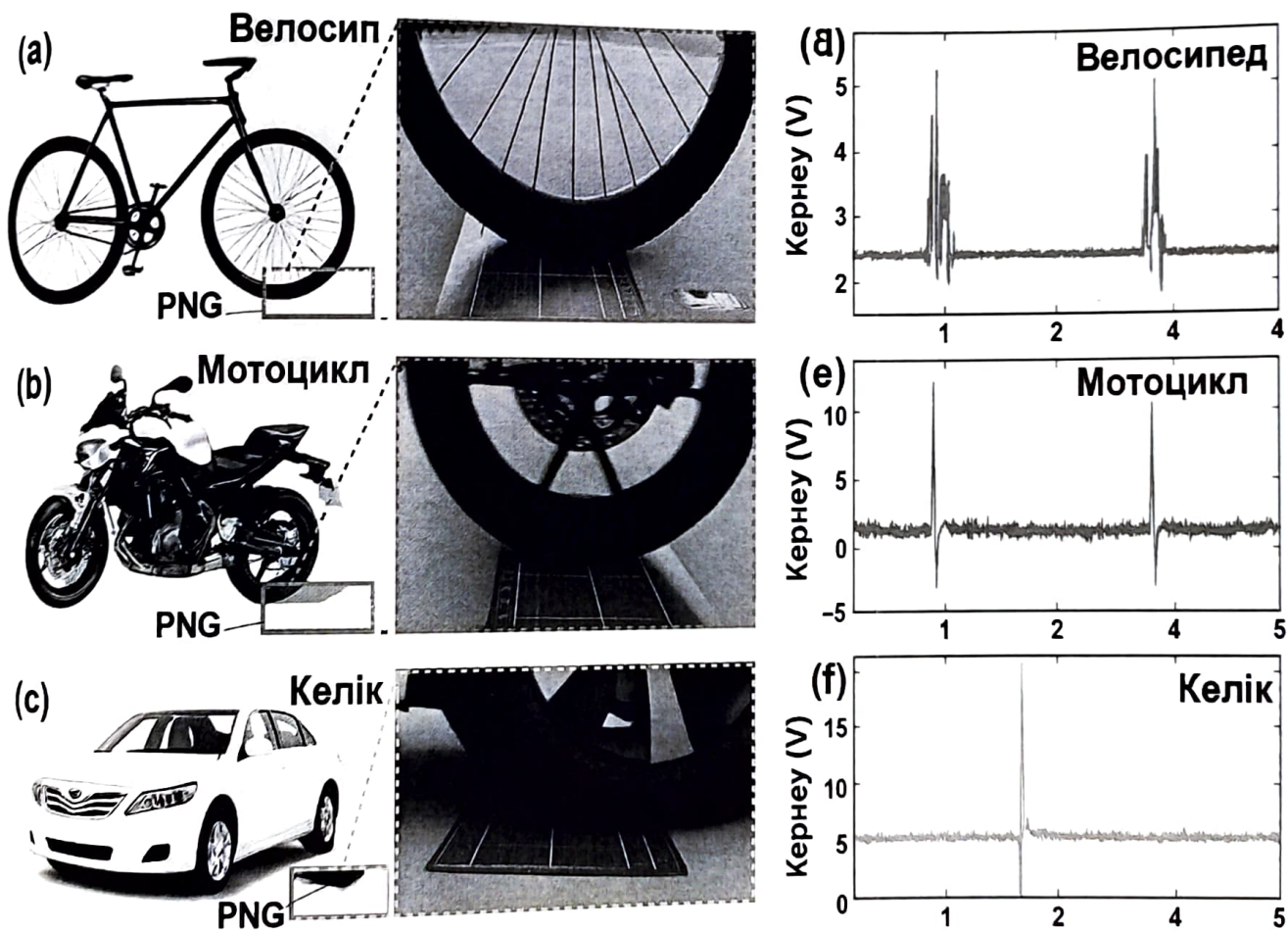
Полимерлік матрица	Толтырғыш	Толтырғыш көлемі (D, L, T)	Көлемі	Композитті синтездеу әдісі	Пьезоэлектрлік коэффициент d33 / d31 [пКл/Н]	Поляризация	Жүктеме / қысым / кедергі	Кернеу / Ток / Қуат
P(VDF-TrFE)	BaTiO ₃ (нано)	D = 10–100 нм, L = 500 нм	0–20 %	Электроспиннинг (20–35 кВ)	–	Поляризациясыз	Саусак соққысы	5.02 В при 20% / – / 25 мкВт
PVDF	BaTiO ₃ (нано)	–	1–10 %	Ерітінді құю	–	1 кВ, 30 мин бөлме температур асында	100 МОм	7.2 В при 10% / 38 нА / 0.8 мкВт/см ²
PVDF	BaTiO ₃ (нано)	D = 200 нм	0–16 %	Электроспиннинг	–	8 В, 1 ч	6 мм циклдік бұту	0.48 В при 16% / – / –
PVDF	BaTiO ₃	D = 0.8 мкм, L = 4.0 мкм	30 %	Электроспиннинг	11,4	35 кВ/мм 100 °С, 2 ч	–	– / – / –
P(VDF-TrFE)	BaTiO ₃	D = 120.65 нм	20 %	Электроспиннинг (25 кВ)	–	Поляризациясыз	700 Н	6 В / 1.5 мкА / 8.78 мВт/м ²
PVDF	ZnO (нано)	D = 100 нм	1–9 %	Ерітінді араластыру	–	50 кВ/см при 60 °С	–	– / – / –

Полимерлік матрица	Толтырғыш	Толтырғыш көлемі (D, L, T)	Көлемі	Композитті синтездеу әдісі	Пьезоэлектірлік коэффициент d33 / d31 [пКл/Н]	Поляризация	Жүктеме / қысым / кедергі	Кернеу / Ток / Қуат
P(VDF-TrFE)	BaTiO ₃ (модиф. полидопамино м)	D = 120.65 нм	20 %	Электроспиннинг (25 кВ)	–	Поляризациясыз	700 Н	6 В / 1.5 мА / 8.78 мВт/м ²
PVDF	ZnO (нано)	D = 100 нм	1–9 %	Ерітінді араластыру	–	50 кВ/см при 60 °С	–	– / – / –
PVDF	ZnO (нано)	D = 70 нм	1 %	Ерітінді құю	-6.4	Поляризациясыз	8.43 кПа	28 В / 450 нА / 0.4 мкВт
PVDF	ZnO (нано)	–	0.2 %	Sol-gel	900	5 МВ/м, 2 ч, вакуум	1600 Н/м ²	4 В / – / –
PVDF	ZnO (нано)	D = 15 нм	15 %	Электроспиннинг	–	Поляризациясыз	–	1.1 В / – / –
P(VDF-TrFE)	ZnO (нано)	D = 30 ± 10 нм	1.5–12.5 %	Spin-коутинг	32.2 при 7.5% ZnO	Поляризациясыз	Нагрузка 65 g	7.5 В / – / –
PVDF	ZnO (нано)	D ≈ 50–150 нм	0.85 %	In-situ процесс	50	Поляризациясыз	28 Н	24.5 В / 1.7 мА / 32.5 мВт/см ³
PVDF	ZnO (нано)	–	15 %	УЗ и drop-кастинг	-1.17	Поляризациясыз	15 кПа	1.81 В / 0.57 мА / 0.21 мкВт/см ²
P(VDF-TrFE)	ZnO (нано)	D = 20–60 нм	10 %	УЗ смешивание	19–22	Sorona-поляризация, 14 кВ, 5 мин	–	– / – / –

Полимерлік матрица	Толтырғыш	Толтырғыш көлемі (D, L, T)	Көлемі	Композитті синтездеу әдісі	Пьезоэлектірлік коэффициент d33 / d31 [пКл/Н]	Поляризация	Жүктеме / қысым / кедергі	Кернеу / Ток / Қуат
PVDF	ZnO (нано)	D = 0.1 μm, L = 2.8 μm	–	Spin-коутинг	–	1.2 МВ/см	3.2% деформация	0.4 В / 30 нА / –
P(VDF-HFP)	Co-допированные ZnO (нано)	–	0.5–2 %	Электроспиннинг (12 кВ)	–	Поляризациясыз	2.5 Н	2.8 В при 2% / – / –
P(VDF-HFP)	Ni-doped ZnO	–	0.5–2 %	Ерітінді құю	0.5%	Поляризациясыз	2.5 Н	1 В / 19–21 нА / –
PVDF	Fe-doped ZnO (звезда)	D ≈ 1.2 мкм	2 %	Ерітінді құю	44	Поляризациясыз	2.5 Н	2.4 В / 25 нА / 1.17 мкВт/см²



2.1- сурет – Пьезоэлементтердің коэффициенттерін салыстыру



3 Құрылымы

3.1 Бір өлшемді құрылым

Мырыш оксиді (ZnO) алуан түрлі нанокұрылымдары бар және олар өзін жартылайөткізгіш ретінде және пьезоэлектірлік қасиеттерге ие. Оның бәрі ортасимметриялы емес кристаллды тор құрылымы арқасында.

Алғашқы зертеулер 2006 жылы Ц. Л. Ванг жүргізеді. Ол массивті 1 өлшемді наноөткізгіштерді Al_2O_3 платформасында өсіреді. Катализатор ретінде алтын қолданылды. Пьезоэлектрлік эффекті өзгерту үшін, ұшы кремнийден жасалған және платинамен жабылған, күштік-атомдық микроскопия іске қосылды. Наноөткізгіштің басындағы алтын бөлшектерінің көбі буланып немесе майыстыру кезінде түсіп қалды. Өсірілген наноөткізгіштердің ұзындықтары 0,2-0,5 мкм болды. Және олардың тығыздығы салыстырмалы аз болды, соның арқасында әр жеке өткізгішпен жұмыс жасауға мүмкіндік берді.

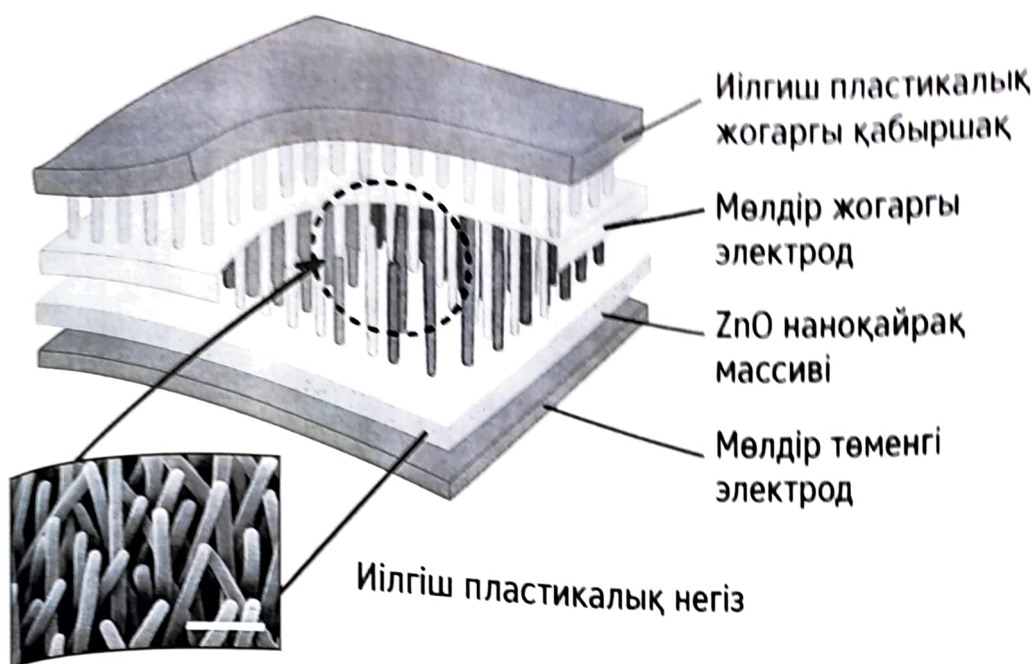
Тағы зертеулер кремний платформасында жасалды. Р-типті наноөткізгіштер 50-90 мВ аралығында кернеуді генерациялады. Ал n-тип -5 тен -10 мВ дейін кері кернеу шығарады.

Ян және соавторлары болса адам мен атжалманда пайда болатын биомеханикалық энергияны электр энергиясына, наногенератор арқылы іске асырды. Бір талшықты наногенераторды, икемді полиимид тақташасында орналасқан металл электродтарына наноөткізгіштерді бекем бекіту арқылы жасалды. Кернеудің мәнін жоғарлату үшін бірнеше наногенераторларды тізбектей жалғады: тізбектей жалғанған 4 наногенератор 0,1-0,15 В кернеу берді.

Алғашқы зертеулерде наногенераторлар толық икемді болмады. Соның кесірінен конструкция ұзақ перспективада қызмет етпеді. Бірақ 2009 жылы Чхой және оның ассистенттері PENG наногенераторларын синтездеді. Олардың қолданысы өзін қоректендіретін сенсорларда кең таралды. 0,9 кг күшпен қысқанда, $3 \times 3 \text{ см}^2$ ауданға ие наногенератор шығыста $j=1 \text{ мкА} \cdot \text{см}^2$ ток тығыздығын берді.

Бір жыл арада осы топ көміртек нанотүтікше негізінде мөлдір әрі икемді PENG жасайды. Ток тығыздығы алдыңғысына 5 есе көп болады. Бұл пьезоэлемент тұрақтылық пен беріктілікке ие болды.

Ең көп кернеу берген наногенератор түрі полиметилметакрилат қабатымен қапталған нұсқасы болды. 9 наногенераторды параллель жалғағанда кернеу мәні 58В, ал ток шамасы 134 мкА болды.



3.1- сурет - Наноталшықтан тұратын пьезоэлемент

3.2 Екі өлшемді құрылым

Бұл бөлімде мырыш оксидінен наноқабырға мен нанопарақтардың синтез және дайындалу түрлеріне шолу жасаймыз.

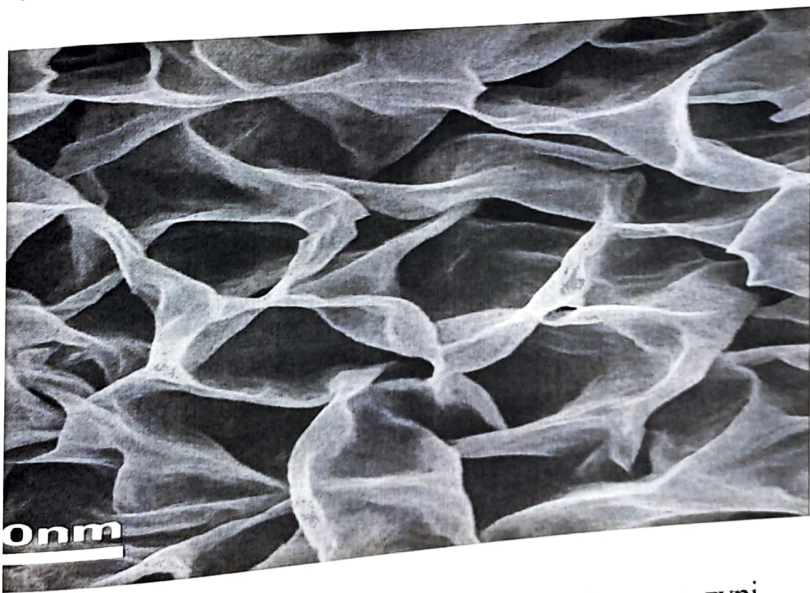
Пьезоэлектрлік энергияны өндіру үшін алюминий (Al) электродына екі өлшемді ZnO нанопарақ мен анионды нанобалшық қабатын қолдануды көрсетті. ZnO нанопарақ/анионды қабаттар торы 95 °C температурада мырыш—HMT нитратының сулы ерітіндісімен синтезделді және олардың бетінің морфологиясы біркелкі емес болды. PEG жоғарғы электрод ретінде алтынмен қапталған, төменгі электрод ретінде алюминиймен қапталған, көмегімен жасалған және олардың арасындағы ZnO/анионды наноглиндердің нанопарақ торынан гетеротүсірілім; бұл жұмыста қабатты қос гидроксид анионды наноглинаның рөлін атқарды. PENG көмегімен алынған кернеу мен ток тығыздығы $\approx 0,7$ В және 17 мкА/см^2 болды, 4 кг қысу күші қолданылды. ZnO нанолистерінің деформациялық мінез-құлқының, ZnO-ның жартылай өткізгіштік және пьезоэлектрлік қасиеттерінің және анионды нанобалшығының өздігінен түзілуінің біріктірілген әсері энергия өндіруге жауапты деп ұсынылды. Гупта және басқалар тұрақты ток электр станциясында пайдалану үшін ZnO нанобөлшектерін ванадиймен допингтеу арқылы ZnO нанопарақ синтезделеді. Бірдей қысу күшінің мәнімен $j \approx 1,0 \text{ мкА/см}^2$ қуаты алынды.

Кумар тобы алтын катализаторының қалыңдығын дәл бақылау арқылы 900 °C температурада CVD көмегімен графен субстратындағы ZnO наноқабырғамен гибридіті құрылымының синтезі туралы хабарлады. Ito (60 Ом)-Мен салыстырғанда графен қабатының (400 Ом) Жоғары кедергісіне қарамастан,

гибридті наноқабырға-наноөзекше 0,5 кг қысу күшін қолдану кезінде тұрақты токтың шығыс кернеуін 20 мВ және $Dj \approx 500 \text{ Н/см}^2$ құрады. Сараванакумар мен Ким PMMA жабылған икемді субстраттың екі бетінде ZnO наноқұрылымынан тұратын PENG жинады.[109] Наноқабырғаның қабырға қалыңдығы 60-80 нм, ұзындығы шамамен 2-3 мкм болды және наноқабырға құрылымында бос орындардың болуына байланысты ультракүлгін сәулеленуге жоғары сезімталдықты көрсетті. Адамның саусағымен деформацияланған кезде, PENG максималды Шығыс кернеуін 2,5 В және 80 нА ток берді.

Фортунато және басқалар Ito субстратында тігінен өсірілген ZnO нанобөлшектері мен алюминий субстратында өсірілген ZnO нанобөлшектерінің пьезоэлектрлік қасиеттерін салыстырды. Екі наноқұрылым да ваннадағы химиялық тұндыру арқылы синтезделді. Алынған D33 мәндері ZnO-NRs пленкалары үшін $7,01 \pm 0,33 \text{ pC/V}$ және ZnO наноқабық пленкалары үшін $2,63 \pm 0,49 \text{ pC/V}$ болды, бұл NRS пленкаларының наноқабықшалармен салыстырғанда ең жақсы пьезоэлектрлік қасиеттерін көрсетеді. Бұл ось бойымен жақсы бағдарланумен және ZnO-дан NRS ақауларының наноқабылдағыштармен салыстырғанда аз болуымен байланысты болды.

Осы бөлімде қарастырылған әдебиеттерден екі өлшемді ZnO наноқұрылымдары бір өлшемді ZnO наноқұрылымдарымен салыстырғанда төмен пьезоэлектрлік шығымдылықты көрсетеді деген қорытынды жасауға болады. 2,5 В және 80 нА максималды шығыс қуаты адам саусағымен бүгілген кезде ZnO наностендерімен салынған PENG көмегімен алынды. осы екі өлшемді наноқұрылымдарды синтездеу әдістері поляризациясыз $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, HMTA және CVD сулы ерітіндісін қолданатын гидротермиялық процесс болды.



3.2- сурет - Пьезоэлементтің наноқабырғалы түрі

Әліде көптеген зертеу жұмыстары жүруде. Әр жаңа синтез жолы пьезоэлементтердің электр генерация коэффициентін сәл болсын жоғарлатуда.

3.3 Үш өлшемді құрылым

PVDF полимерінің пьезоэлектрлік қасиеттерін арттыру мақсатында MnO_2 /графен/MWCNTs (көпқабатты көміртек нанотүтікшелері) үш өлшемді нанокұрылымын жасады. 5-суретте MnO_2 /графен/MWCNTs гибридтерін синтездеу әдісі көрсетілген. Сәйкесінше, құрамында 23 масс.% және 66 масс.% MnO_2 бар екі гибрид алынды, олар CM23 және CM66 деп аталды.

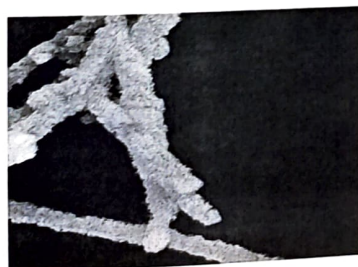
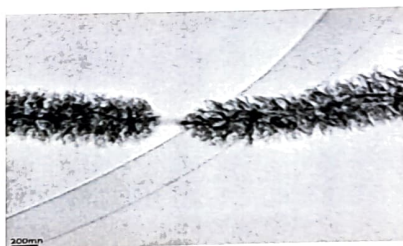
Бастапқы MWCNT-мен салыстырғанда, CM23 және CM66 гибридтері үлкен беткі ауданмен және $-\text{OH}$ топтары көп, кедір-бұдырлығымен ерекшеленді (34б-г суреттері), бұл олардың PVDF-пен жақсы үйлесімділігін қамтамасыз етті. CM23 негізіндегі нанокөміртектер (0,03–0,07 масс.%) және CM66 (0,1–0,5 масс.%) қоспалары электр өрісінде 50–80 мВ/м поляризацияланған кезде d_{33} мәні 17–33 пКл/Н деңгейіне жетті. Ал таза PVDF үшін мұндай пьезоэлектрлік сипаттамаларға 100 мВ/м-ден жоғары өріс қажет болды.

CM23 бар нанокөміртектер CM66-ға қарағанда жақсырақ өткізгіштікке ие болды, бұл жергілікті электр өрісін күшейтіп, біркелкі поляризацияға және жоғары пьезоэлектрлік өнімділікке қол жеткізуге мүмкіндік берді.

Аббасипур және авторлар үш түрлі нанокоспаның — GO (тотыққан графен), графен және галлуазит (Hal) — PVDF-тің пьезоэлектрлік қасиеттеріне әсерін зерттеді. Олар әртүрлі концентрацияда (0,05–3,2 масс.%) қолданылды.

Электроспин әдісімен алынған PVDF нановолокондарында β -фазаның мөлшері 49%-ға дейін артты, бұл PVDF ұнтағы үлгілерімен салыстырғанда әлдеқайда жоғары. Сонымен қатар, нанокосымшалар қосылғанда β -фаза шамамен тағы 10%-ға артты.

Графеннің PVDF-пен өзара әрекеттесуінің әлсіздігі салдарынан ол пьезоэлектрлік қасиеттерге ең аз әсер етті. Ал нанокоспа мөлшері $<0,1$ масс.% болған PVDF/Hal және $>0,4$ масс.% болған PVDF/GO жүйелері β -фазаның жоғары құрамымен ерекшеленді.



3.3-сурет – 3 өлшемді көрініс

4 Пьезоэлементтің шығыс қуатын есептеу

4.1 Бастапқы мәліметтер

Пьер Кюри Мен Жак Кюри 1880 жылы кварц, турмалин және Рошель тұзының кристалдарына зерттеулер жүргізу кезінде пьезоэлектрлік құбылысты ашқан ізашарлар болды. [53] екі түрлі пьезоэлектрлік эффект бар, атап айтқанда тікелей әсер және кері әсер. Тікелей пьезоэлектрлік әсерде материал поляризацияланады және қолданылатын созылу немесе қысу кернеуі кезінде кернеу шығарады. Кері әсерде электрлік потенциалды қолдану материалдағы механикалық орын ауыстыруды тудырады. Екі эффект үшін де (1) және (2) құраушы Тендеулер төменде келтірілген.

Тікелей эффект:

$$S_i = S_{ij}^E T_j + d_{im} E_m \quad (46)$$

Механикалық кернеу ($\Delta\sigma$) қолданылған кезде энергия жинау үшін (А) аймағының пьезоэлектрлік материалының қарама-қарсы беттерінде пайда болатын заряд (Q) 1 тендеуімен анықталады.

$$Q = d_{33} \cdot A \cdot \Delta\sigma \quad (47)$$

Материалдың пьезоэлектрлік коэффициенті (N-1) 33-режимде d_{33} арқылы белгіленеді. Ашық тізбек жағдайында жүктеме кедергісі шексіз, сондықтан $q = C U$ тендеуі қолданылады, мұндағы C-материалдың сыйымдылығы ($C = \frac{\epsilon_{33}^T}{h} \cdot A$) және (2) Тендеуінен кернеуді (V) есептеу үшін қолданылады.

$$U = \frac{d_{33}}{\epsilon_{33}^T} \cdot h \cdot \Delta\sigma \quad (48)$$

мұндағы " h " - материалдың қалыңдығы және 33 режиміндегі тұрақты кернеу мәніндегі диэлектрлік өткізгіштік. тендеуден "V" сөзін өрнекке ауыстыру, қолданылатын кернеуге байланысты E энергиясы (5) тендеуімен анықталады.

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \frac{d_{33}}{\epsilon_{33}^T} \cdot A \cdot t \cdot (\Delta\sigma)^2 \quad (49)$$

Демек, пьезоэлектрлік құрылғының белгілі бір қалыңдығы мен ауданында үлкен әсер ету коэффициенті бар пьезоэлектрлік материалдарды таңдау арқылы одан алынатын энергияны барынша арттыруға болады. Бұл қысқа тұйықталу кезінде пайдалы әсер деп аталады. Қысқа тұйықталу жағдайында (I) ток келесідей анықталады $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$.

$$I = d_{33} \cdot A \frac{\Delta\sigma}{\Delta t} \quad (50)$$

PENG құрылғыларының шығу қуаты көптеген ішкі және сыртқы факторларға байланысты, бұл оның қуат өндіруде айтарлықтай ауытқулар туындатуына себеп болады. Бүгінгі күні де PENG құрылғыларының төмен және тұрақсыз өнімділігі, сондай-ақ өткізу қабілетінің шектеулілігі - бұл технологияны коммерциялық қолданысқа енгізуден бұрын шешілуі тиіс ең маңызды мәселелердің бірі болып отыр.

Тиімді қуат басқару схемалары әртүрлі амплитудалық кіріс сигналдарын өңдеу мүмкіндігімен кең жиілік диапазонында жұмыс істеуге бейімделуі қажет. Пьезоэлектрлік материалдарды жетілдіру - негізгі даму бағыттарының бірі болуы тиіс. Бұл үшін d_{33} пьезоэлектрлік коэффициенттері өте жоғары (мысалы, 600 пКл/Н-нан астам) материалдарды әзірлеу қажет, өйткені болашақтағы энергия қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін осындай сипаттамалар талап етіледі.

Сонымен қатар, наногенераторларды жасау процесі өнеркәсіпте қолданылатын кең ауқымды өндірістік технологияларға бейім болуы керек, яғни автономды қуат көздері ретінде құрылғыларға біріктіру мүмкіндігін қамтамасыз етуі тиіс.

4.2 Нұскаларды есептеу

1-нұсқа:

Гидротермальді синтезделген SnO_2 қалайы диоксиді жасалған наноөткізгіштерді қолдану. PZT материалының бастапқы шарттары:

$$d_{33} = \frac{50 \text{ pC}}{\text{N}}$$

$$A = 135 \text{ cm}^2$$

$$\Delta\sigma = 100 \text{ kPa}$$

Заряд мөлшерін 47 формуламен есептейміз

$$Q = d_{33} \cdot A \cdot \Delta\sigma = 50 \cdot 10^{-12} \cdot 135 \cdot 10^{-4} \cdot 10^5 = 6750 \cdot 10^{-10} \text{ K}$$

Сыйымдылықты есептеу үшін $\epsilon_0 = 8,85 \cdot \frac{10^{-12} \text{ Ф}}{\text{м}}$ және $\epsilon_r = 10$ мәндері қолданамыз. Мұндағы ϵ_0 вакуумның диэлектрлік тұрақтысы. Ал ϵ_r материалдың салыстырмалы диэлектрлік өткізгіштігі.

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{t} = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10 \cdot \frac{135 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}} = 238 \cdot 10^{-11} \text{Ф} \quad (51)$$

Енді кернеу мәнін есептейміз

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{6750 \cdot 10^{-10}}{238 \cdot 10^{-11}} = 283,6 \text{В} \quad (52)$$

Кернеу белгілі. Демек қуаттыда есептейміз

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{283,6^2}{10^6} = 80,4 \cdot 10^{-3} \text{Вт} \quad (53)$$

Бұл есептеу тек 1 адамның жүріп өткеніне пайда болатын энергия мөлшері. Орташа есептеулер бойынша метро бекеттерінен күніне 90 мың ға жуық адам өтетіні белгілі болса. Онда Пьезоэлектрлік перненің күндік қуат өндірісі 7236Вт қа тең болмақ.

2-нұсқа:

Минералдан пайда болатын, өндірісі арзан Fe_3O_4 (магнитит) пьезоэлектрлік элементке есептеме жүргіземіз

$$d_{33} = \frac{37 \text{pC}}{\text{N}}$$

$$A = 135 \text{cm}^2$$

$$\Delta\sigma = 100 \text{kPa}$$

Заряд мөлшерін 3 формуламен есептейміз

$$Q = d_{33} \cdot A \cdot \Delta\sigma = 37 \cdot 10^{-12} \cdot 135 \cdot 10^{-4} \cdot 10^5 = 499,5 \cdot 10^{-10} \text{К}$$

Сыйымдылықты есептеу үшін $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot \frac{10^{-12} \text{Ф}}{\text{м}}$ және $\varepsilon_r = 10$ мәндері қолданамыз. Мұндағы ε_0 вакуумның диэлектрлік тұрақтысы. Ал ε_r материалдың салыстырмалы диэлектрлік өткізгіштігі.

$$C = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 500 \cdot \frac{135 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}} = 120 \cdot 10^{-9} \text{Ф}$$

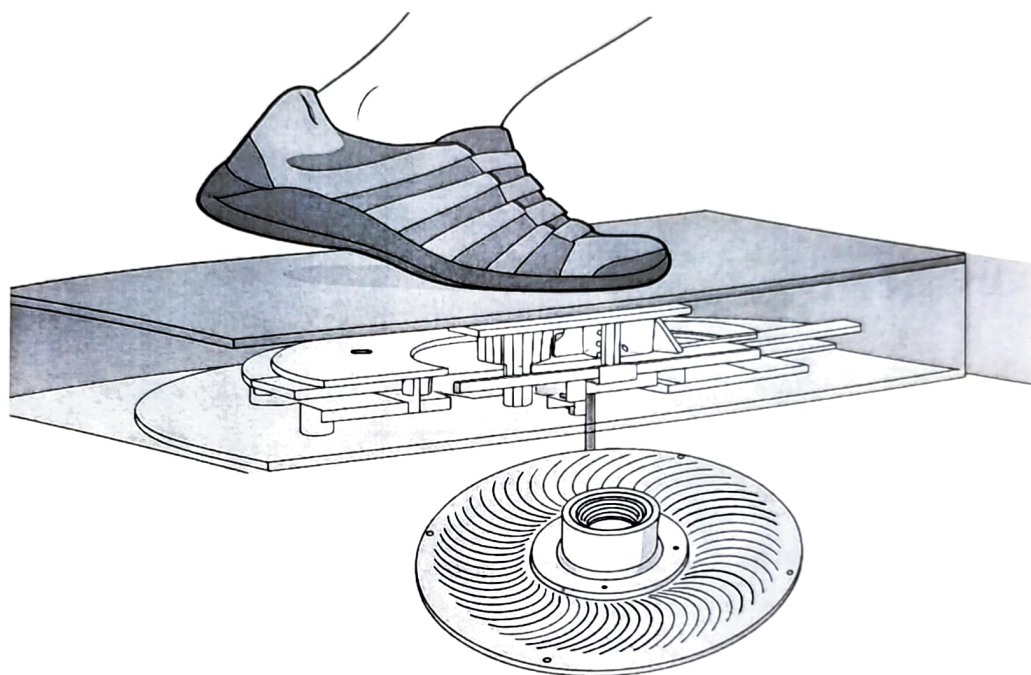
Енді кернеу мәнін есептейміз

$$U = \frac{499,5 \cdot 10^{-10}}{120 \cdot 10^{-9}} = 0,41 \text{В}$$

Кернеу белгілі. Демек қуаттыда есептейміз

$$P = \frac{0,41^2}{10^6} = 0,16 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$$

1-нұсқадағындай күніне өтетін адам санын есептейтін болсақ, қуаты 0,014Вт өндіреді. Бұл нұсқасының өндіру қуаты шамамен 500мың есе аз болсада, өзіндік құны небірі 10 есе ғана. Демек 1 нұсқада қолданылатын пьезоэлемент әлде қайда тиімді де қолайлы. Бірақ оның құрамында қорғасын бар болғансон көп мөлшерде қолданбаймыз.



4.1- сурет - Пьезопластинаның ішкі көрінісі

5 Экологияға жақсы әсері

Индустрияландыру мен ауыл шаруашылығының қарқынды дамуымен қоғамның үлкен алаңдаушылығы өткір экологиялық проблемалар мен судың ластануын тудырады. Пьезоэлектрлік материалдарды қолданатын пьезоэлектрлік каталитикалық технология - бұл электронды тесік жұптарының бөлінуіне тиімді ықпал ететін экологиялық таза әдіс, бұл өз кезегінде гидроксил радикалдары сияқты белсенді заттардың пайда болуына әкеледі ($\cdot\text{OH}$), сутегі асқын тотығы (H_2O_2) және супероксид радикалдары ($\cdot\text{O}_2$), суды ластаушы заттарды ыдыратуға қабілетті.

Шолу шеңберінде пьезоэлектрлік материалдар мен пьезокатализ механизмдері жүйелі түрде қарастырылды, поляризацияның Катализ тиімділігіне әсері баса айтылды. Пьезоэлектрлік материалдарды суды тазартуда және қоршаған ортаны ремедиациялауда қолдану да қамтылған: органикалық ластаушы заттардың ыдырауынан және ауыр металдар мен радионуклидтердің иондарын жоюдан суды дезинфекциялауға және суды ыдырату арқылы сутегі алуға дейін.

BaTiO_3 , NaNbO_3 , MoS_2 , MXenes, Zr негізіндегі құрылымдар және т.б. сияқты пьезоэлектрлік қасиеттері бар наноматериалдар бояғыштарды, антибиотиктерді және ауыр металдарды ыдыратуда, сондай-ақ H_2 генерациясында және CO_2 төмендеуінде жоғары тиімділікті көрсетті. Пьезоэлектрлік материалдар механикалық энергияны (мысалы, ультрадыбыстан, тербелістен немесе ағыннан) электр энергиясына айналдыру қабілетіне ие, осылайша қосымша энергия немесе жарық сәулеленуін қажет етпестен каталитикалық реакцияларды бастайды.

Пьезоэлектрлік түрлендіргіштер энергияны титанат барий (BaTiO_3), мырыш оксиді (ZnO) немесе поливинилиденфторид (PVDF) сияқты материалдардың механикалық деформациясы арқылы өндіреді. Бұл үдеріс жанармай жағуды, күрделі химиялық өзгерістерді немесе арнайы тазалау құрылғыларын қажет етпейді, сондықтан бұл технология энергия өндіру, пайдалану және қайта өңдеу кезеңдерінде экологиялық қауіпсіз болып саналады.

Пьезоэлектрлік жүйелердің артықшылықтары:

Энергия өндіру кезінде CO_2 , SO_2 , NO_x және қатты бөлшектердің тікелей шығарындыларының болмауы; ағынды суларды тазарту немесе қалдықтарды сүзгілеу қажеттілігінің болмауы; орнату, пайдалану және бөлшектеу кезінде экологиялық қауіпсіздік; дыбыстық және жылулық әсердің төмендігі; жанармай немесе химиялық көздерге тән ағып кету қаупінің болмауы.

Ким және авторластардың (2020) зерттеуіне сәйкес, ZnO негізіндегі пьезомодульдер жаяу жүргіншілер өткелдерінде бір жыл бойы қолданылғанда, табиғи газ арқылы өндірілетін энергиямен салыстырғанда 2,1 тонна CO_2 шығарындыларының алдын алуға мүмкіндік берген.

Сонымен қатар, өмірлік циклді талдау (LCA) көрсеткендей, пьезоэлектрлік жүйелердің толық көміртек ізі 48-ден 588 г CO_2 -экв/кВт·сағ аралығында, бұл

пайдаланылатын материалға, құрылымға және қызмет ету мерзіміне байланысты. Бұл технологияны ұзақ мерзімді пайдалануда дәстүрлі энергия көздерімен бәсекелесуге қабілетті етеді.

Соңғы зерттеулер мүмкіндігін де көрсетеді. Бұл жағдайда ZnO немесе KNN (калий-натрий-ниобат) негізіндегі материалдар механикалық әсер арқылы көміркышкыл газын тікелей отынға немесе пайдалы химиялық әсер арқылы айналдыру үшін қолданылады. Осылайша, CO_2 ластаушыдан заттарға айналдыру үшін қолданылады. белсенді түрде жоюға мүмкіндік береді.

Қолданылатын материалдар - BaTiO_3 , ZnO және PVDF - экологиялық қауіпсіз, қолжетімді және берік, әрі басқа энергия көздеріндегі уытты компоненттермен салыстырғанда қауіпсіз. Бұл материалдарға негізделген құрылғылар механикалық тозуға, дірілге және ылғалға төзімді, бұл оларды қалалық инфрақұрылымда қолдануға ыңғайлы етеді.

Осылайша, пьезоэлектрлік түрлендіргіштер қайталама ластанусыз таза энергия өндіруді ғана емес, сонымен қатар смарт және тұрақты қалалар үшін кешенді шешімнің бір бөлігіне айналып, энергия өндіру мен CO_2 -мен күресті үйлестіре алады.

Кәдімгі амортизаторлар көлік жүрісі кезінде жолдың кедір-бұдырын жұтуға бағытталған. Дәл осы процесте үлкен мөлшерде механикалық энергия ысырап болады. Егер амортизатор жүйесіне пьезоэлементтер орнатылса, онда діріл мен соққыдан пайда болған қысым электр энергиясына айналдырылып, ішкі жүйелерді (мысалы, аккумулятор, жарық, датчиктер) автономды түрде қуаттандыруға болады.

Артықшылықтары: Отын үнемділігі артады (қосымша энергияны генераторсыз өндіру арқылы); Регенеративті жүйелермен үйлесуге болады (гибрид және электромобильдер үшін өзекті); Тежелу, бұрылу және жүру кезіндегі механикалық энергияны қайта пайдалану.

Зерттеулер көрсеткендей, бір көліктің амортизатор жүйесі 20–100 Вт аралығында энергия өндіре алады - бұл борттық электроника үшін жеткілікті қуат.

Концерттік турлердегі сахналық пьезо жүйелер

Үлкен концерттер мен фестивальдерде сахна, подиум, баспалдақтар мен би алаңдары мыңдаған адамның қозғалысын қабылдайды. Бұл қозғалыстың бәрі – қайтарымызсыз жоғалып жатқан механикалық энергия. Пьезоэлектрлік панельдер мен модульдер осы қозғалысты энергияға айналдырып, сахнаның жарық жүйесін, экрандарды немесе дыбыс күшейткіштерін жергілікті қуатпен қамтамасыз ете алады.

Пайдасы: Электр сымдарын азайту, автономды құрылым жасау; Тур ұйымдастырушыларына энергия үнемдеу және тұрақты даму бейнесін көрсету; Қалалық электр желілеріне жүктемені азайту; Мобильді пьезоплатформалар турдан турға оңай тасымалданады. Мысалы, Токиода, Лондонда және Нью-Йорк

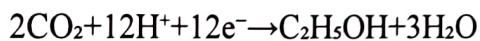
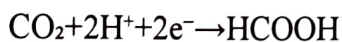
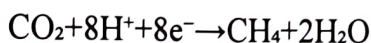
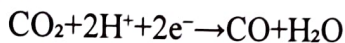
сияқты қалаларда концерттік кешендерде пьезомен энергия өндіру жобалары сәтті жүзеге асырылған.

5.1 CO₂-ні кәдеге жаратудың инновациялық әдісі ретінде пьезо-катализ

Қазіргі экологиялық сын-қатерлер көмірқышқыл газының (CO₂) шығарындыларын азайтуды ғана емес, сонымен қатар оны пайдалы заттарға айналдыратын технологияларды дамытуды талап етеді. Осындай перспективалы шешімдердің бірі – пьезо-катализ. Бұл – химиялық реакциялар дәстүрлі энергия көздерімен (электр, жарық немесе жылу) емес, пьезоэлектрлік материалдардың механикалық деформациясы арқылы қоздырылатын процесс.

Деформация кезінде (мысалы, ультрадыбыс, діріл немесе қысым әсерінен) мынадай материалдар: мырыш оксиді (ZnO), калий-натрий ниобаты (KNN) немесе барий титанаты (BaTiO₃) ішкі электр өрісін тудырады. Бұл өріс электрондар мен кемтіктерді қоздырады, ал олар өз кезегінде CO₂ молекулаларын қалпына келтіру реакцияларына қатысады. Соның нәтижесінде улы газ (CO), құмырсқа қышқылы (HCOOH), метан (CH₄) және этанол (C₂H₅OH) сияқты химиялық белсенді әрі энергетикалық тұрғыдан құнды қосылыстар түзіледі. Бұл реакциялар бөлме температурасында, атмосфералық қысымда, көбінесе сулы ортада жүзеге асады.

Реакциялар мысалдары:



Соңғы жылдардағы эксперименттік зерттеулер бұл технологияның практикалық тұрғыда жүзеге асуы мүмкін екенін дәлелдейді. Мысалы, Chen және серіктестері (2021) ZnO-наноқұбыршалары ультрадыбыстық әсер кезінде 2 сағат ішінде 11,6 мкмоль көлемінде HCOOH өндіре алатынын көрсетті. Сондай-ақ, көміртекті нанотүтікшелермен модификацияланған KNN-композиттері этанол түзілуінде жақсы нәтиже көрсетті.

Пьезо-катализдің артықшылықтары:

Сыртқы энергия көзін қажет етпейді – діріл, ультрадыбыс немесе су ағыны жеткілікті;

Экологиялық тазалық – көміртек ізінің болмауы, жоғары температура немесе зиянды реагенттер қажет емес;

Инфрақұрылымға енгізу мүмкіндігі – мысалы, өндірістік құбырлар, жол жабындары, желдету жүйелері;

Басқа технологиялармен үйлесімділігі – фото-, электро-, термокатализбен бірге тиімділікті арттыруға болады.

Қазіргі кездегі қиындықтар:
Кванттық тиімділігі төмен және өнімділігі әлі де шектеулі;
Ауқымды қолдануда қиындықтар бар – үлкен көлемдегі материалды
біркелкі деформациялау қажет;
Селективтілік жеткіліксіз – жиі өнімдердің коспасы алынады;
Беттік белсенділіктің төмендеуі – ұзақ уақыт қолданғанда материал тозуы
мүмкін.
Перспективалық даму бағыттары:
Гибридті катализаторларды жасау;
Металдармен (Ag, Cu, Ni) беткі модификациялау;
Фотокатализбен біріктіру;
Іілгіш пьезоэлектриктерді (мысалы, PVDF-композиттерін) қолдану, оларды
түрлі ортаға оңай енгізуге болады.

5.2 Дәстүрлі энергетикамен салыстыру жүргізу

Қалалардың қарқынды өсуі мен қолжетімді кеңістіктің шектеулі болуы жағдайында халықты энергиямен қамтамасыз ету барысында қолданыстағы қалалық инфрақұрылымды бұзбай, тиімді шешімдер табу аса өзекті мәселеге айналды. Дәстүрлі энергия көздері - жылу электр станциялары (ЖЭС) мен күн панельдері - белгілі бір энергетикалық үлес қосқанымен, оларды енгізу қалалық кеңістікте үлкен құрылыс жұмыстарын, ғимараттарды қайта жоспарлауды және арнайы аймақтар бөлуді талап етеді. Мұндай жағдайда пьезоэлектрлік технологиялар, әсіресе пьезопластиналар, қаланың құрылымына араласпай-ақ энергетиканы дамытудың бірегей мүмкіндігіне айналады.

Пьезопластиналар - бұл механикалық деформация кезінде (діріл, қысым, адамдардың жүрісі, көліктің қозғалысы) электр энергиясын өндіре алатын материалдар. Олар асфальтқа, тротуарларға, көпірлерге, баспалдақтарға, ғимараттардың едендеріне - яғни бар инфрақұрылымның өзіне тікелей енгізіле алады. Бұл жүйелерді орнату үшін көшелерді бұзудың, ғимараттарды өзгертудің немесе жаңа электр желілерін тартудың қажеті жоқ - энергия дәл сол қозғалыс пайда болатын жерде жиналады.

ЖЭС-тен айырмашылығы, пьезопластиналар жеке аумақты қажет етпейді, қоршалған аймақтар, шудың көзі, жылулық ластану немесе зиянды шығарындылар тудырмайды. Мұндай жүйелерге түтін мұржалары, қазандықтар немесе резервуарлар салу міндетті емес - жол жамылғысының астына жұқа активті элементтерді орналастыру жеткілікті. Күн панельдерінен ерекшелігі - пьезопластиналар қаланың сыртқы келбетіне әсер етпейді, және шатырларға, қабырғаларға немесе ашық алаңдарға арнайы конструкциялар орнатуды талап етпейді, әсіресе тығыз орналасқан немесе тарихи аудандарда бұл өте маңызды.

Сонымен қатар, пьезоэлементтер қалалық кеңістіктің функционалдығына кедергі келтірмейді: жолдар - жол күйінде қалады, көпірлер - көпір болып қала береді, тротуарлар - жаяу жүргіншілер аймағы ретінде қолданыла береді. Бірақ

енді олар қосымша энергия көздеріне айналады. Қала ішінде жүрген адамдар мен көліктер электр тогын өздері өндіреді - шусыз, ластанусыз және көзге көрінетін құрылғыларсыз.

Пайдалану тұрғысынан алғанда, бұл жүйелер техникалық қызмет көрсету жағынан да тиімді: пьезопластиналар, әсіресе иілгіш түрлері (мысалы, PVDF негізінде), инфрақұрылымды бұзбай-ақ оңай ауыстырылуы немесе кеңейтілуі мүмкін. Тозған жағдайда оларды экологияға зиян келтірмей кәдеге жаратуға болады.

Көмір мен газдың энергетикалық құны: есептеулер, логистика және экологияға әсері

Электр энергиясын өндіру үшін дәстүрлі түрде қазбалы отын түрлері - ең алдымен тас көмір мен табиғи газ жағылады. Алайда қарапайым «жарықты қосу» әрекетінің артында кен өндіру, тасымалдау, жағу және қалдықтарды кәдеге жарату сияқты ауқымды өндірістік цикл жатыр. Төменде отынның қаншасы жағылатыны, атмосфераға қандай зиянды заттар шығатыны және әр кезеңде экожүйенің қандай шығынға ұшырайтыны нақты есептермен көрсетілген.

Қанша отын қажет?

Тас көмірдің орташа жану жылуы шамамен 24 МДж/кг, ал көмір электр станцияларының пайдалы әрекет коэффициенті (ПӘК) 35%-дан аспайды. Бұл дегеніміз - 1 кг көмірден шамамен 2.33 кВт·сағ электр энергиясы алуға болады.

1 МВт·сағ (1000 кВт·сағ) энергия өндіру үшін шамамен 430 кг көмір жағу керек. Ал 1 ГВт·сағ үшін - 430 тонна қажет.

Табиғи газдың жану жылуы - 35 МДж/м³ шамасында. Қазіргі заманауи газ турбиналық станциялары 60%-ға дейінгі ПӘК-пен жұмыс істейді, бұл 1 м³ газдан 5–6 кВт·сағ энергия алуға мүмкіндік береді. Яғни, 1 МВт·сағ өндіру үшін шамамен 180 м³ газ, ал 1 ГВт·сағ үшін - 180 000 м³ немесе 133 тонна газ қажет.

Атмосфераға шығарындылар

1 ГВт·сағ энергия өндіру кезінде атмосфераға келесі заттар шығарылады:

Көмір:

Тонна CO₂; 7–15 тонна SO₂ (қышқыл жаңбыр тудыратын күкіртдиоксиді); 1–3 тонна NO_x (азот оксидтері); 1 тоннаға дейін ұсақ шаң (PM2.5, канцерогенді); 20–30 тонна күл, құрамында сынап, мышьяк, қорғасын бар.

Табиғи газ:

410 тонна CO₂; SO₂ және NO_x өте аз мөлшерде; Күл дерлік болмайды; Бірақ метан (CH₄) атмосфераға шығып кетуі мүмкін, ал ол қысқа мерзімді кезеңде (20 жылда) CO₂-ден 84 есе қауіпті.

Тасымалдау мен өндіру ерекшеліктері

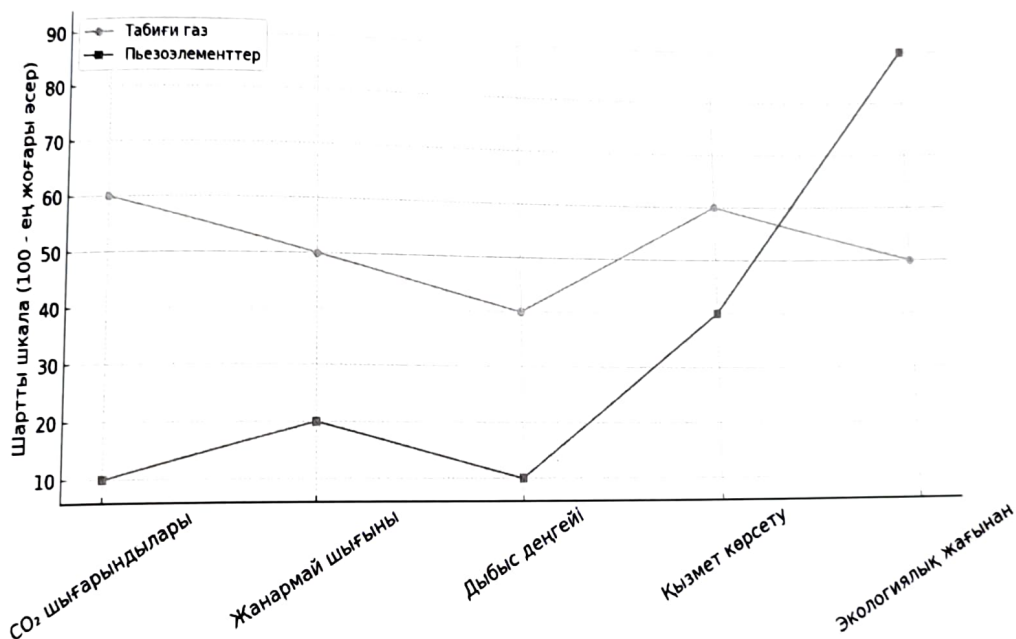
Көмір: Карьерлер мен шахталардан физикалық түрде өндіріледі; Обогащение, қоймалау және теміржол немесе жүк көлігімен тасымалдау қажет; Мысалы, 430 тонна көмірді 500 км қашықтыққа жеткізу үшін шамамен 200 литр дизель кетеді, бұл қосымша 0.6 т CO₂ шығарады; Сонымен қатар, тиеу, түсіру және сақтау жабдықтары энергияны өздері тұтынады.

Газ: Құбыр арқылы жеткізу - тиімдірек, бірақ компрессорлық станцияларға энергия қажет; Сұйытылған түрде (СПГ) жеткізу: -162°C -та сұйуту, сақтау және қайта буландыру қажет; Бұл процесс жалпы 30%-ға дейін энергия шығынына әкеледі;

Фрекинг (гидроажырау) әдісі кезінде: Жерасты құрылымдары бұзылуы мүмкін; Жер асты сулары ластанады; Сейсмикалық белсенділік күшейеді. Экологиялық салдарлар

Көмір: Ең ластаушы энергия көзі; CO_2 шығарындылары өте жоғары; SO_2 және NO_x - қышқыл жаңбырлар мен тыныс алу ауруларының негізгі себепшілері; Күл мен қалдықтар - құрамында ауыр металдар бар; Шахталар қышқыл сулар, жерасты өрттері және бұзылған ландшафттар қалдырады.

Газ: Көрінгенде «таза», бірақ: Метан шығарындылары өндіруден бастап таратуға дейінгі барлық кезеңде жүреді; Фрекинг экожүйеге және су ресурстарына кері әсер етеді; СПГ тасымалы - өте энергияны көп қажет ететін процесс. Салыстырма 4 суретте көрсетілген.



5.1-сурет – Табиғи газ бен пьезоэлементті салыстыру

Табиғи газ ұзақ уақыт бойы салыстырмалы түрде «таза» қазбалы отын ретінде қарастырылып келгенімен, қазіргі заманғы талдаулар оның тұрақты даму тұрғысынан тиімсіз екенін көрсетіп отыр. Газ өндіру процесі бұрғылауды, гидравликалық жарылысты және жерасты қабаттарын бұзуды талап етеді, бұл өз кезегінде жер асты суларын ластауға, экожүйелердің бұзылуына және сейсмикалық белсенділіктің артуына әкеліп соғады. Газды құбырлар арқылы немесе сұйытылған күйде (СПГ) тасымалдау үшін компрессорлық станцияларға, салқындатуға және қайта буландыруға үлкен энергия шығындары қажет, әрі ағып кету мен жарылыс қаупі де сақталады. Сонымен қатар, табиғи газдың негізгі компоненті - метан - көмірқышқыл газына қарағанда 84 есе күшті парниктік

әсерге ие, сондықтан аздаған ғана ағып кетулердің өзі климат үшін аса қауіпті. Бұған қоса, газ кен орындары біртіндеп сарқылып келеді, ал пайдалану шығындары артуда.

Осындай жағдайда пьезопластины - дірілден, қысымнан және механикалық қозғалыстан энергия өндіретін пьезоэлектрлік элементтер - қауіпсіз, тұрақты және инфрақұрылымға біріктіруге ыңғайлы балама бола алады. Пьезопластиналар отын қажет етпейді, зиянды шығарындылар өндірмейді, қалалық ортаның құрылымын бұзбайды және оларды жолдарға, тротуарларға немесе қоғамдық кеңістіктерге тікелей енгізуге болады. Бұл - адамдар мен көліктің күнделікті қозғалысын жергілікті, таза энергия көзіне айналдыру тәсілі. Олар дерлік қызмет көрсетуді қажет етпейді, қалдықтар өндірмейді және бұрын текке кетіп жатқан энергияны тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Осылайша, экологиялық, экономикалық және инфрақұрылымдық факторларды ескере отырып, пьезопластиналарды жаппай қолдану - газ энергетикасын одан әрі дамытудан әлдеқайда тиімді әрі қауіпсіз. Бұл - болашақтың декентрализован, тұрақты қалалық энергетикасына апарар жол.

Тас көмір - энергетикада ғасырлар бойы қолданылып келе жатқан негізгі қазбалы отын көздерінің бірі. Алайда қазіргі экологиялық және экономикалық талаптар аясында оның тиімсіздігі мен зияндылығы барған сайын айқындалып отыр. Көмір өндіру процесі - бұл жер қыртысын терең бұзатын ашық карьерлік қазба немесе шахталық әдістерді қажет ететін ауыр өнеркәсіптік операция. Мұндай әдістер ландшафттың бұзылуына, топырақ эрозиясына, жерасты суларын ластаушы қышқыл ағындарға және көмір шахталарында ұзақ мерзімді экологиялық салдарға алып келеді. Сонымен қатар, көмір тасымалдауы ауыр жүк көлігімен немесе теміржолмен жүзеге асырылады, бұл өз алдына дизельмен ластану, жол жабынының тозуы және ауадағы бөлшектердің (шаңның) артуы сияқты қосымша зиян әкеледі.

5.1- кесте – Дәстүрлі энергия ресурстарымен салыстыру

Параметрлер	Пьезоэлементы	Табиғи газ	Көмір
CO ₂	0	~440 г/кВт·ч	~950 г/кВт·ч
(SO ₂ , NO _x)	0	Төмен	Жоғары
Қалдықтар	-	CO ₂	Күл
Утилизация	Аз мөлшерде	-	Қиын
Ресурс шегі	Жоқ	Бар	Бар
Қалпына келуі	Бар	Жоқ	Жоқ
Ресурстарды өндіруге тәуелділік	Жоқ	Жоғары	Жоғары

Көмірді жағу кезінде атмосфераға өте көп мөлшерде көмірқышқыл газы (CO_2) бөлінеді - бұл климаттың өзгеруінің негізгі себептерінің бірі. Бұдан бөлек, күкірт диоксиді (SO_2) мен азот оксидтері (NO_x) бөлініп, қышқыл жаңбырлар мен тыныс алу жолдарының ауруларын тудырады. Жанудан кейінгі күл қалдықтары құрамында сынап, қорғасын, мышьяк сияқты ауыр металдарды сақтайды, бұл оларды кәдеге жарату процесін қауіпті әрі қымбат етеді. Шахталарда кейде жер асты өрттері мен метанның жарылыстары да орын алып жатады, бұл адам өміріне қауіп төндіреді. Тағы салыстырма 9 кестеде.

Пьезоэлектрлік технологиялар энергияның тұрақты көзі ретінде жоғары әлеуетке ие болғанымен, қазіргі даму кезеңінде оларды жаппай қолдануға кедергі келтіретін бірқатар маңызды шектеулер бар. Негізгі кемшіліктердің бірі - шығатын қуаттың төмендігі: бір пьезоэлемент тек микроватт немесе милливатт деңгейінде ғана энергия өндіре алады, сондықтан ол тек жергілікті немесе көмекші жүйелерге ғана жарамды. Маңызды көлемдегі энергия алу үшін үлкен алаң және тұрақты механикалық әсер қажет, бұл нақты ортада жүзеге асыру қиын.

Екінші маңызды мәселе - материалдар мен өндіріс құнының жоғарылығы. KNN, BaTiO_3 немесе PVDF секілді күрделі нанокұрылымды пьезоматериалдарды синтездеу мен өңдеу қымбат және технологиялық жағынан күрделі. Ал икемді пьезопластиналарды жаппай өндіру қазіргі таңда экономикалық тұрғыда тиімсіз.

Тағы бір елеулі мәселе - шектеулі қызмет ету мерзімі. Қалалық ортада пьезоэлементтер механикалық тозуға, ылғал мен ластануға, температура ауытқуларына ұшырайды. Бұл олардың ұзақ мерзімді жұмыс істеу қабілетін төмендетіп, жиі ауыстыруды немесе техникалық қызмет көрсетуді талап етеді.

Сонымен қатар, пьезоэлементтер тұрақсыз, импульстік айнымалы ток өндіреді, оның амплитудасы сыртқы әсердің күші мен жиілігіне байланысты болады. Бұл тоқты пайдалы түрде қолдану үшін қосымша түзеткіш және тұрақтандыру схемалары, сондай-ақ энергияны жинақтайтын құрылғылар (мысалы, суперконденсаторлар) қажет, ал бұл бүкіл жүйенің күрделілігін арттырады.

Сондай-ақ, генерация тиімділігін едәуір арттыра алатын жоғары сезімталдыққа ($d_{33} > 600$ пКл/Н) ие пьезоматериалдар әлі де зертханалық кезеңде. Қолданыстағы материалдар көбіне төмен сезімталдыққа ие және қажетті энергия деңгейін қамтамасыз ете алмайды.

Пьезоэлементтерді нақты инфрақұрылымға енгізу де оңай емес - жол жабынының жүктемесі, бұзылуға төзімділік, құрылыс нормаларына сәйкестік, қалалық электр желілері мен байланыс стандарттарымен үйлесімділік сияқты көптеген факторларды ескеру қажет. Бұл өз кезегінде жеке инженерлік жобалауды талап етіп, енгізу шығындарын арттырады.

Осылайша, қазіргі кезеңде пьезоэлементтер - болашағы бар, бірақ әзірге қосалқы технология, олар көбінесе аз қуатты автономды құрылғылар мен сенсорлық жүйелерде қолданылады. Оларды жаппай енгізу үшін мынадай шарттар қажет:

6 Болашақтағы қолданыс

Міне, Айда, Марста және терең ғарыш кеңістігінде пьезогенераторларды қолдану туралы толық мәтіннің қазақша аудармасы:

Пьезоэлектрлік генераторлар (пьезогенераторлар) — механикалық тербелістерді, қысымды және дірілді электр энергиясына айналдыру қабілетінін арқасында ғарышта қолдануға өте перспективалы технология болып табылады. Ай, Марс және басқа да ғарыш денелерінде энергияға қолжетімділік шектеулі әрі жағдайлар аса қатал болғандықтан, мұндай құрылғылар энергиямен автономды жабдықтаудың сенімді және ықшам шешімі ретінде қолданыла алады.

Күн панельдерінен айырмашылығы, олардың тиімділігі жарық деңгейіне, Күннің орналасуына және шаңның болуына (әсіресе Марста) тәуелді, ал пьезогенераторлар толық қараңғылықта, температураның күрт өзгерісінде, радиация мен вакуум жағдайында да жұмыс істей алады. Мысалы, олар қонатын аппараттардың тірек элементтеріне орнатылып, жерге қону сәтінде пайда болатын күштен энергия жинай алады немесе марсқа жүретін көліктердің шассііне енгізіліп, қозғалыс кезіндегі дірілден сенсорлар мен микроконтроллерлерді қуаттандыру үшін қолданылады.

Сонымен қатар, астронавтардың скафандрларына енгізілген пьезоматериалдар адамның қозғалысынан энергия өндіру арқылы биомониторинг жүйелерінің жұмысын жалпы жүйеге қосылусыз қолдауға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, пьезоэлементтерді ғылыми модульдердің корпустарына интеграциялауға болады, олар күндізгі және түнгі температура айырмашылығы кезінде материалдардың кеңеюі мен сығылуы есебінен ток өндіре алады.

Орбиталық станциялар мен жасанды серіктерде пьезоэлектрлік генераторлар құрылым ішіндегі діріл немесе орбита түзеткен кездегі микросоққылар арқылы сенсорлар мен сигнал беретін құрылғыларға резервтік қуат көзі бола алады. Ал алыс ғарышта, күн энергиясы жетіспейтін жағдайда, пьезогенераторларды радиоизотоптық көздермен бірге қолдануға болады, бұл жүйенің сенімділігін арттырады.

Әрине, бұл технологияның да шектеулері бар: удельдік қуат төмен, ток өндіру үшін сыртқы қайталанатын жүктеме қажет, материалдар радиация мен температура ауытқуларына сезімтал, сондай-ақ токты жинақтау және тұрақтандыру жүйелерін қажет етеді. Алайда қазіргі уақытта жоғары d_{33} коэффициентіне ие графенмен немесе нанотүтікшелермен күшейтілген жаңа пьезоматериалдарды әзірлеу белсенді түрде жүргізілуде. Қазірдің өзінде NASA, ESA, MIT және басқа да институттардың зертханаларында осындай генераторлар ғарыштық ортаға ұқсас жағдайларда сынақтан өткізілуде.

Осылайша, пьезоэлектрлік генераторлар Айда, Марста және терең ғарышта сенсорлық жүйелерді, мобильді роботтарды, скафандрлар мен автономды серіктерді энергиямен жабдықтауға арналған сенімді, ықшам және экологиялық таза шешім бола алады. Бұған дейін текке кетіп жатқан қозғалыс, діріл, соққы

түріндегі энергияны енді ең қиын жағдайда да тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

6.1 Кемшіліктер

Бүгінде пьезоэлектрлік технологияларды кеңінен енгізудің негізгі кедергілерінің бірі - олардың жоғары өзіндік құны. Пьезоэлементтерді инфрақұрылымда, көлікте, киілетін электроникада және энергетикада жаппай қолдану үшін өндірістің барлық кезеңдеріндегі шығындарды - бастапқы шикізаттан дайын жинаққа дейін - азайту қажет. Осы мақсатқа қол жеткізудің бірнеше негізгі бағыты бар.

Біріншіден, қымбат және улы материалдарды арзан әрі экологиялық қауіпсіз баламалармен ауыстыру маңызды қадам болмақ. Мысалы, дәстүрлі қолданылатын PZT (қорғасын цирконат-титанаты) жоғары тиімділікке ие болғанымен, токсинді және өңдеуі күрделі. Оның орнына титанат барий (BaTiO_3), мырыш оксиді (ZnO) және поливинилиденфторид (PVDF) негізіндегі композиттерді қолдануға болады - бұларды қолжетімді компоненттерден синтездеуге болады. Сонымен қатар, арзан полимерлер мен нанокерамикаларды біріктіретін гибриді құрылымдар да болашағы бар шешім ретінде қарастырылады, олар тиімділік пен бағаның оңтайлы балансын қамтамасыз етеді.

Екіншіден, өндіріс технологиясын жеңілдету арқылы да бағаны төмендетуге болады. Классикалық әдістер - күйдіру (спекание) және гидротермалды синтез - жоғары температура мен күрделі жабдықты қажет етеді. Ал заманауи әдістер: сол-гель синтезі, 3D басып шығару және роликтік (roll-to-roll) өндіріс - үлкен көлемде және төмен шығынмен пьезоэлементтер шығаруға мүмкіндік береді. Әсіресе жұқа қабатты және икемді формаларға көшу тиімді, өйткені оларды құрылыс конструкцияларына немесе киімге оңай енгізуге болады.

Үшінші бағыт - масштабтау және автоматтандыру. Өндіріс көлемі артқан сайын, бір дана өнімнің бағасы төмендейді. Бірдей типтегі пьезопластиналар әртүрлі салаларда қолданылатын модульдік архитектураға негізделген орталықтандырылған өндіріс логистикалық және өндірістік шығындарды айтарлықтай азайтады. Сонымен қатар, құю, кесу және жинау процестерін автоматтандыру еңбек шығындарын азайтып, ақаулар санын қысқартуға көмектеседі.

Тағы бір маңызды үнемдеу көзі — қайта өңделген шикізатты қолдану және рециклинг. BaTiO_3 және ZnO негізіндегі керамикалық құрамдастарды белгілі бір дәрежеде қалпына келтіріп, қайта пайдалануға болады. Сонымен қатар, PVDF-ті пластмасса қалдықтарынан немесе кабель оқшаулағыштарынан алу арқылы өндірістің экологиялық тұрақтылығын және экономикалық тиімділігін арттыруға болады.

Бұдан бөлек, пьезожүйелердің электрондық бөлігін оңтайландыру да маңызды. Қазіргі таңда сигналды тұрақтандыру үшін контроллерлер, түзеткіштер және аккумуляторлар қажет, ал бұл жалпы бағаны арттырады. Мұндай жағдайда литий-иондық батареялардың орнына суперконденсаторларды қолдану, негізгі электрониканы баспа платасына біріктіру немесе аз қуатты құрылғыларды пассивті схемалар арқылы қуаттандыру жүйені қарапайым әрі арзан етеді.

Зерттей келе, пьезоэлементтер өндірісін арзандату - бұл тек материалдық емес, сонымен қатар инженерлік және ұйымдастырушылық тәсілді талап ететін кешенді міндет. Арзан шикізат базасына көшу, төмен температуралы және масштабталатын технологияларды меңгеру, қайта өңдеу мен модульдік өндірісті дамыту, сондай-ақ энергияны жинау мен басқару схемаларын оңтайландыру - осылардың барлығы бірлесіп пьезогенераторларды кең ауқымды коммерциялық қолданысқа қолжетімді, тиімді және қолайлы ете алады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Қала халқының қарқынды өсуі және дәстүрлі энергия көздеріне жүктеменің артуы жағдайында баламалы, экологиялық таза шешімдерді енгізу ерекше өзекті болып отыр. Пьезоэлектрлік түрлендіргіштер — бұл күнделікті қалалық белсенділіктен туындайтын механикалық тербелістерді-жаяу жүргіншілер қозғалысын, көлікті, ғимараттар мен жолдардың тербелістерін тиімді пайдалануға қабілетті инновациялық технология.

Жұмыста қарастырылған іс-әрекет принциптері, материалдар түрлері және нақты қолдану мысалдары пьезоэлектрлік жүйелер тұрақты қалалық энергетиканың бөлігі бола алатындығын көрсетеді. Олар орталықтандырылған энергия көздеріне тәуелділікті азайтып қана қоймай, сонымен қатар минималды экологиялық ізі бар таратылған энергия жинау желілерін құруға мүмкіндік береді.

Осылайша, пьезоэлектрлік түрлендіргіштерді қалалық инфрақұрылым элементтеріне біріктіру-Болашақтың ақылды, энергияны үнемдейтін және экологиялық таза қалаларына жасалған қадам.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Козлов В. А., Билик Н. И., Билик, Файбисович Д. Л. Қалаларды электрмен жабдықтау жүйелерін жобалау бойынша анықтама 1974
- 2 Конюхова Е. А. Электроснабжение объектов: Учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования. -М.: Издательство «Мастерство» 2002
- 3 Ким Г. х., Хонг с. М-, Со Ю. - Физикалық химия және химиялық физика, 2009, 11 том
- 4 Лотфиан С., Жиро-Майе К., Юсефинежад А., Тхакур В. К., Нежад Х. Й. - ACS Omega, 2018, том 3
- 5 Нуньес-Перейра ж, Сенкадас в, Коррея в, Кардозу в. ф, Хан в, Роша Ж. г., Лансерос-Мендес с. - композициялық материалдар, в бөлімі, 2015
- 6 Ян Л., Чэн М., Лю В., Шэнь М., Цю Цз., Цзи Х., Чжао Ц. - Композиционные материалы 2018
- 7 Дж. Азар. Матер Ағынды суларды ультрадыбыстық діріл кезінде $PbTiO_3$ нанокұрылымдарының пьезо-катализаторлық әсерімен тазарту 2020
- 8 Сиддики С., Ким Д.-И., Дуй Л. Т., Нгуен М. Т., Мухаммад С., Юн У.-С., Ли Н.-И. - Нанознергетика, 2015
- 9 С. Тивари, А. Гаур, Ч. Кумар, П. Майти - Энергия, 2019
- 10 СТ КазННТУ – 09 – 2023. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала. КазННТУ, 2023.