

УДК 537.31

АНИЗОТРОПНИЙ МЕТАДІЕЛЕКТРИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ

АЩЕУЛОВ А.А. д-р техн. наук, професор, Інститут термоелектрики НАН і МОН України, Чернівці, Україна, e-mail: ashcheulovaa@rambler.ru;
ДЕРЕВ'ЯНЧУК М.Я. аспірант, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна, e-mail: m.derevianchuk@ukr.net;
ЛАВРЕНЮК Д.О. інженер, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна, e-mail: lavreniuk.dmytro.clg@chnu.edu.ua

Мета роботи. Дослідження особливостей перетворення енергії електричного поля анізотропним метасередовищем при від'ємному значенні діелектричної проникності в одному з обраних головних кристалографічних напрямків.

Методи дослідження. Проведено дослідження із застосуванням методів фізико-математичного моделювання анізотропного метадіелектричного перетворювача; з використанням методів оптимізації функції залежності коефіцієнта перетворення m , анізотропного метадіелектричного перетворювача, від кута α між однією з кристалографічних осей і ребром пластини a , при фіксованих коефіцієнтах анізотропії метадіелектричного матеріалу.

Отримані результати. Вперше досліджено особливості перетворення електричного поля анізотропним метасередовищем при від'ємному значенні діелектричної проникності в одному з обраних головних кристалографічних напрямків. Установлено, що у момент прикладання до верхньої та нижньої граней $a \times b$ анізотропної метадіелектричної пластини, яка є основою анізотропного метадіелектричного перетворювача, деякої різниці потенціалів ΔU призводить до поляризації її об'єму та виникнення як поздовжньої \vec{E}_{\parallel} , так і поперечної \vec{E}_{\perp} складових вихрового електричного поля. Така ситуація веде до аксіального згортання її внутрішнього поля, яка у свою чергу зумовлює появу мікрівихорів електричного поля, що подаються виразом $\text{rot } \vec{E} = \omega$, де ω – кругова частота обертання мікрівихору, а знаки «+» та «-» – позначають напрямок його обертання. Такі аксіальні електричні мікрівихори є ефективним механізмом, що перекачує енергію між фізичним вакуумом і в нашому випадку, анізотропною метадіелектричною пластинною перетворювача.

Проведено аналіз залежності коефіцієнта перетворення m цього середовища від значення анізотропії $K = \epsilon_{11} / \epsilon_{22}$. Дослідження продемонстрували, що у інтервалі $0 < K_1 < 1$ величина m характеризується від'ємним значенням, а в інтервалі $1 < K_2 < \infty$ – додатнім, це дозволило визначити області стабільного існування різних видів енергії.

Використання метадіелектричного матеріалу в порівнянні із класичним характеризується значеннями $m > 1$. Зазначимо, що в окремих випадках спостерігається аномальне зростання згаданого коефіцієнта.

Наукова новизна. З використанням уявлень вихрової електродинаміки запропоновано механізм енергетичної взаємодії між вихровим електричним полем анізотропного метасередовища та фізичним вакуумом.

Практична цінність. Запропоновано модель оригінальної конструкції анізотропного метадіелектричного перетворювача. Визначено області його практичного використання у вигляді генераторів електрики, тепла та холоду, отримано розрахункові вирази для їх коефіцієнта корисної дії, що знаходиться в інтервалі $\eta = 0,5 \div 0,98$, а температура охолодження може досягати температури рідкого гелію.

Ключові слова: анізотропні метасередовища; діелектрична проникність; перетворення; електрична потужність; коефіцієнт корисної дії; нагрівання; охолодження; генерація.

I. ВСТУП

Особливості електричних явищ у класичних анізотропних діелектричних середовищах [1]-[4] зумовили появу нового методу, а також ряду оригінальних пристроїв для трансформації як змінних, так і постійних електричних полів, які дозволяють розширити практичні можливості електротехніки, а також пов'язаних з нею галузей.

Коефіцієнт трансформації n класичного анізот-

ропного діелектричного трансформатора представляється формулою [3, 4]:

$$n = m \cdot f \quad (1)$$
$$m = \frac{\epsilon_{\perp}}{\epsilon_{\parallel}} = \frac{(\epsilon_{11} - \epsilon_{22}) \sin \alpha \cos \alpha}{\epsilon_{11} \cos^2 \alpha + \epsilon_{22} \sin^2 \alpha},$$

де m – коефіцієнт перетворення класичного анізотропного матеріалу пластини, $f = a/b$ коефіцієнт її

форми.

Дослідження значень коефіцієнта перетворення m на екстремум по куту α ($dm/d\alpha = 0$) – показала, що максимум величини m спостерігається при куті $\alpha_{max.} = \arctg \sqrt{\varepsilon_{11}/\varepsilon_{22}}$

$$m_{max.} = m(\alpha_{max.}) = \frac{\sqrt{K(K-1)}}{2K}, \quad (2)$$

де $K = \varepsilon_{11}/\varepsilon_{22}$.

При цьому слід зазначити, що у разі використання класичних анізотропних діелектричних матеріалів величина коефіцієнта перетворення m плавно зростає в порівнянні зі зростанням коефіцієнта K , безпосередньо залежить від вибору матеріалів і у зв'язку з цим досить обмежена.

II. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У 1931 р. П. Діраком було показано можливість існування станів з від'ємним значенням діелектричної (ε) та магнітної (μ) проникності в області гелієвих температур.

Фізичну інтерпретацію ефекту, що викликає від'ємні значення ε і μ речовин, названих згодом метаматеріалами вперше представив у 1967 р. В.Г. Веселаго [5], експериментально підтверджено американськими дослідниками Каліфорнійського університету Сан-Дієго в 2000 році [6].

На сьогодні у цьому напрямі опубліковано понад 1000 робіт, переважно у галузях оптики, радіофізики, та інші.

У цьому повідомленні представлені результати попередніх досліджень щодо можливості використання анізотропних метадіелектричних матеріалів для перетворення електричного поля.

III. МЕТА РОБОТИ

Дослідження особливостей перетворення енергії електричного поля анізотропним метасередовищем при від'ємному значенні діелектричної проникності в одному з обраних головних кристалографічних напрямків. Розробка оригінальної конструкції анізотропного метадіелектричного перетворювача та моделювання його робочих режимів.

IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГУ МАТЕРІАЛУ І АНАЛІЗ ОТРИМАННИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Модель анізотропного метадіелектричного перетворювача (АМДП)

Розглянемо анізотропне середовище, тензор діелектричної проникності $\hat{\varepsilon}$ якої, в головних кристалографічних осях OX , OY , OZ має такий вигляд:

$$\hat{\varepsilon} = \varepsilon_0 \begin{vmatrix} \varepsilon_{11} & 0 & 0 \\ 0 & -\varepsilon_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{33} \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Один із варіантів такого анізотропного метадіелектричного середовища є чергуюча шарувата структура на основі діелектриків з додатнім та від'ємним значеннями коефіцієнтів діелектричної проникності ε .

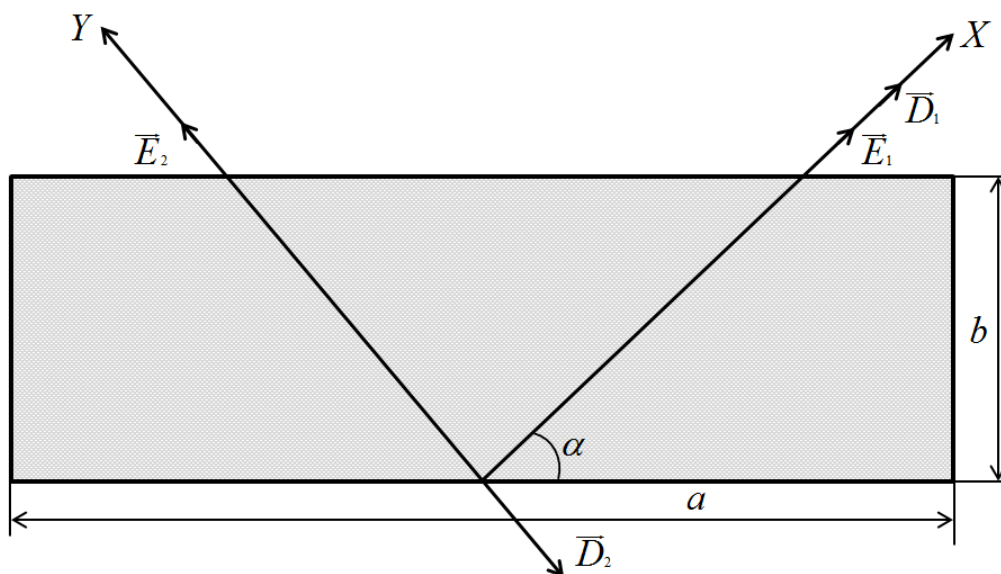


Рисунок 1. Орієнтація кристалографічних осей OX , OY та OZ анізотропної метадіелектричної пластини та розташування векторів електричних полів \vec{E}_1 , \vec{E}_2 , та індукції \vec{D}_1 , \vec{D}_2

Створення з такого матеріалу прямокутної пластини розмірами $a \times b \times c$ ($a \approx c \gg b$) кристалографіч-

ні осі OX та OY якої розміщені в площині її бічної грані $a \times b$, а одна з цих осей розташована під деяким кутом α до ребра a ($0 < \alpha < 90^\circ$) (Рис. 1), дозволяє представити тензор $\hat{\varepsilon}$ наступним чином:

$$\hat{\varepsilon} = \varepsilon_0 \begin{vmatrix} \varepsilon_{11} \cos^2 \alpha - \varepsilon_{22} \sin^2 \alpha & (\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) \sin \alpha \cos \alpha & 0 \\ (\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) \sin \alpha \cos \alpha & \varepsilon_{11} \sin^2 \alpha - \varepsilon_{22} \cos^2 \alpha & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{33} \end{vmatrix} \quad (4)$$

що характеризується наявністю як поздовжньої (ε_{\parallel}) так і поперечної (ε_{\perp}) складових

$$\varepsilon_{\parallel} = \varepsilon_0 (\varepsilon_{11} \cos^2 \alpha - \varepsilon_{22} \sin^2 \alpha) \quad (5)$$

$$\varepsilon_{\perp} = \varepsilon_0 (\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) \sin \alpha \cos \alpha. \quad (6)$$

При цьому коефіцієнт перетворення m такої пластини має такий вигляд

$$m = \frac{\varepsilon_{\perp}}{\varepsilon_{\parallel}} = \frac{(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) \sin \alpha \cos \alpha}{\varepsilon_{11} \cos^2 \alpha - \varepsilon_{22} \sin^2 \alpha} \quad (7)$$

Проведені чисельні оцінки показують, що при $a \approx c \gg b$ крайовими умовами на торцевих $b \times c$ і на бічних $a \times b$ гранях можна знехтувати [3].

Дослідження функції

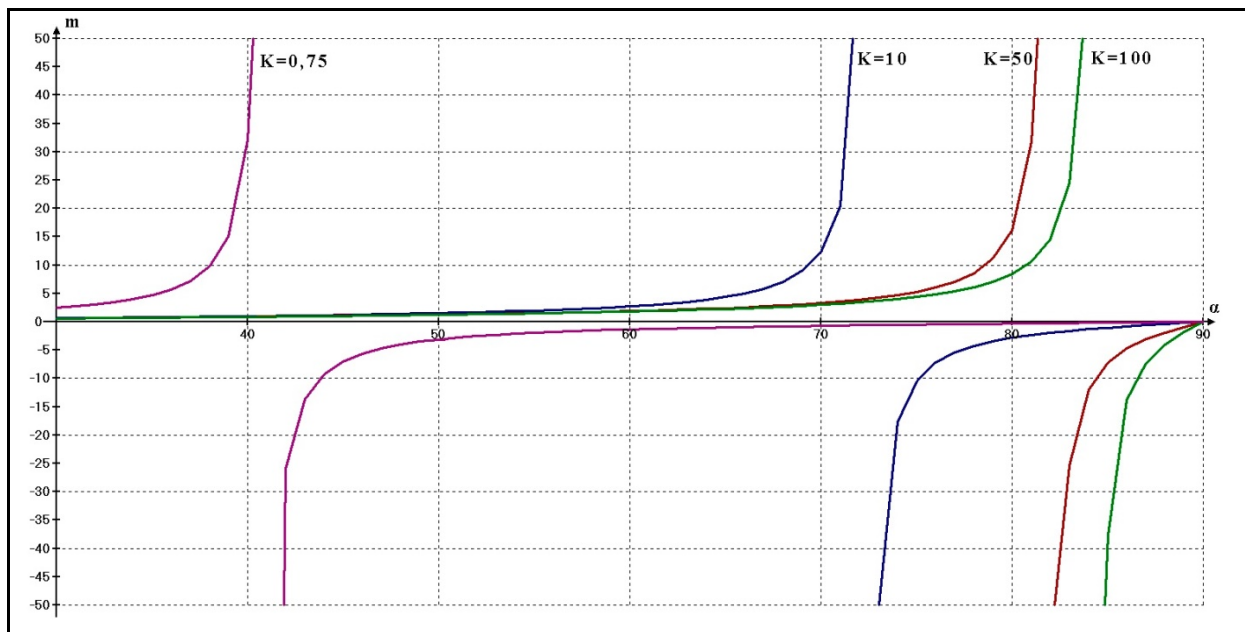


Рисунок 2. Залежність коефіцієнта перетворення m АМДП від кута α при фіксованих коефіцієнтах анізотропії метадіелектричного матеріалу $K=0,75; 10; 50; 100$. α

Таким чином, використання метаматеріалу з від'ємним значенням коефіцієнта діелектричної проникності ε_{22} в одному з основних кристалографічних напрямів веде до аномального зростання значення

$$m(K, \alpha) = \frac{(K+1) \operatorname{tg} \alpha}{K - \operatorname{tg}^2 \alpha} \quad (8)$$

на екстремум ($\partial m / \partial \alpha = 0, \partial^2 m / \partial \alpha^2 < 0$) демонструє, що точки екстремум функції відсутні.

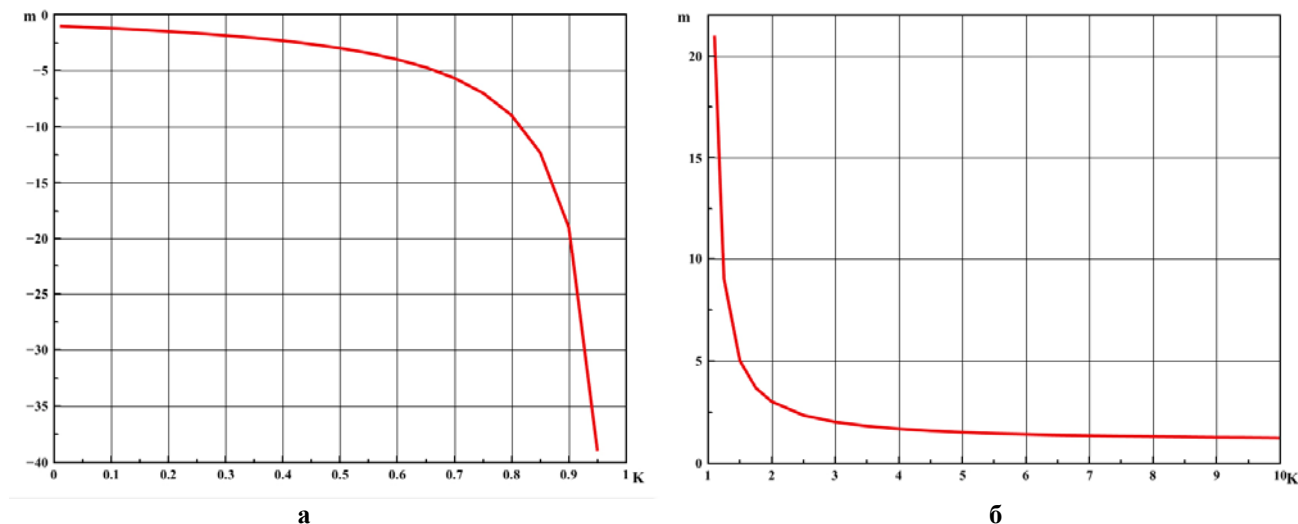
Слід зазначити, що величиною коефіцієнта m анізотропного метадіелектричного матеріалу можна варіювати в широких межах шляхом підбору оптимального кута α_{opt} . Таку можливість продемонстровано на рис. 2. для чотирьох анізотропних метадіелектричних матеріалів з коефіцієнтами анізотропії 0,75, 10, 50 і 100. З цього графіка випливає, що завжди існує можливість підбору кута α_{opt} для заданого m з необхідною величиною і знаком.

У разі $\alpha_{opt} = 45^\circ$ формула (7) матиме наступний вигляд

$$m = \frac{\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}}{\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22}} = \frac{K+1}{K-1} \quad (9)$$

коефіцієнта перетворення m , АМДП.

Пояснення цього явища з першим наближенням можна представити з використанням уявлень вихрової електродинаміки та фізичного вакууму.



а) Залежність коефіцієнта перетворення m АМДП від величини анізотропії при $0 < K_1 < 1$ та куті $\alpha_{opt.} = 45^\circ$;

б) Залежність коефіцієнта перетворення m АМДП від величини анізотропії при $1 < K_2 < \infty$ та куті $\alpha_{opt.} = 45^\circ$.

Рисунок 3. Залежність коефіцієнта перетворення m АМДП від величини анізотропії до діелектричного метаматеріалу при $\alpha_{opt.} = 45^\circ$

Відповідно до [5]-[9] від'ємне значення діелектричної проникності метаматеріалів пояснюється антипаралельним розташуванням векторів фазової \vec{V}_ϕ та групової \vec{V}_B швидкостей електричного поля \vec{E} .

У разі АМДП значення коефіцієнтів K_1 та K_2 анізотропного метадіелектричного матеріалу визначаються вибраними кристалографічними напрямками. У першому кристалографічному напрямку OX (рис. 1) розташування векторів \vec{V}_ϕ і \vec{V}_B взаємнопаралельне (класичний), а в напрямку OY – вектора \vec{V}_ϕ і \vec{V}_B орієнтуються антипаралельно (мета).

Прикладання до верхньої та нижньої граней $a \times b$ такої пластини (рис. 1) деякої різниці потенціалів $U(t) = U_m \cdot \sin(\omega t)$ призводить до поляризації її об'єму та виникнення як поздовжньої $\vec{E}_{||}$, так і поперечної \vec{E}_{\perp} складових вихрового електричного поля [11]. Така ситуація веде до аксіального згортання її внутрішнього поля, що у свою чергу зумовлює появу мікрівихорів електричного поля, що подаються згідно з [12, 13] таким виразом:

$$\text{rot} \vec{E} = \omega, \quad (10)$$

де $\omega = F(\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, a, b, c, \alpha)$ – кругова частота обертання мікрівихору, знаки «+» та «-» – позначають напрямки його обертання.

Критерій появи вихору запишемо формулою

$$\frac{\partial E_{11}}{\partial x} \neq \frac{\partial E_{22}}{\partial y}, \quad (11)$$

де E_{11} , E_{22} – напруженості електричного поля вздовж вибраних кристалографічних осей.

Такі аксіальні електричні мікрівихори є ефективним механізмом, що перекачує енергію між фізичним вакуумом і в нашому випадку, АМДП.

Як відомо, фізичний вакуум [14]-[16] являє собою високосиметричну структуровану вихрову систему, що характеризується наявністю надвисокої кількості енергії. У загальному випадку вона представляється у наступному вигляді [15].

$$W = A \cdot \sum_{n=1}^{\infty} 0,5 \hbar \omega, \quad (12)$$

де A – коефіцієнт, \hbar – постійна Планка; ω – кругова частота;

Залежно від напрямку обертання мікрівихорів пластини, що визначається величиною анізотропії коефіцієнта K матеріалу пластини при $1 < K_2 < \infty$ – правостороннє, а при $0 < K_1 < 1$ – лівостороннє – фізичний вакуум відповідно віддає енергію АМДП або приймає її від перетворювача.

Таким чином, запропонована модель, дозволяє представити оригінальну технологію створення методу трансформації енергії при високих екологічних показниках.

Застосування описаного АМДП показує, що його коефіцієнт трансформації є наступним виразом

$$n_1 = \frac{(K+1) \text{tg}(\alpha_{opt.})}{K - \text{tg}^2(\alpha_{opt.})} \cdot \frac{a}{b} = m_1 \cdot f \quad (13)$$

і тут спостерігається різке зростання значення коефі-

цієнта трансформації n_1 .

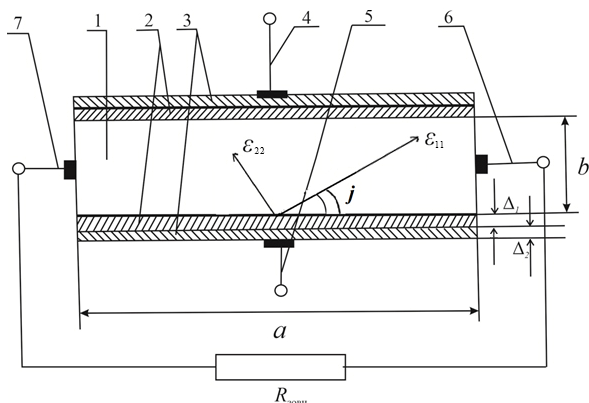
Запропонований метод взаємодії між АМДП та фізичним вакуумом дозволяє здійснювати генерації, як електрики, так і тепла та холоду.

Детальне подання фізико-математичної моделі цього методу планується представити в наступних публікаціях.

Конструктивні особливості АМДП

У загальному випадку вибір конкретної конструкції АМДП визначається як призначенням і функціональними особливостями, так і умовами його експлуатації. Один із можливих варіантів конструкції цього пристрою наведено на Рис. 4.

Основою АМДП [17] є прямокутна пластинка 1 з анізотропного метадіелектричного матеріалу, обрані кристалографічні осі OX і OY якої розташовані в площині бічної грані $a \times b$, при цьому вісь OY орієнтована під деяким кутом α_{opt} до довжини a . Верхня і нижня грані $a \times c$ цієї пластинки містять електроізолюючі шари 2, товщиною Δ_1 з діелектричною проникністю ϵ_c , на зовнішніх сторонах яких розміщені електропровідні шари 3 товщиною Δ_2 з вхідними електричними виводами 4, 5. Вихідні електричні виводи 6, 7 розміщуються на протилежних торцевих гранях $b \times c$.



1 – Пластинка з анізотропного метадіелектричного матеріалу; 2 – електроізоляційні шари; 3 – електропровідні шари; 4, 5 – вхідні; 6, 7 – вихідні електровиводи.

Рисунок 4. Конструкція АМДП

Аналіз об’ємного розподілу електричного поля пластинки 1 при орієнтації кристалографічної осі OY під кутом α_{opt} . (Рис. 1) показав, що наявність електропровідних шарів 3 веде до деякого спотворення розподілу еквіпотенційних поверхонь електричного поля, а отже, і зменшення величини коефіцієнта перетворення m .

Якщо ж вісь OY розташувати під кутом $j = \alpha_{opt} - \beta$, то еквіпотенційні поверхні електричного поля розташовуються паралельно граням $a \times c$, (Рис. 5) при цьому значення коефіцієнта перетворення АМДП визначається виразом:

$$n_3 = \frac{(\epsilon_{11} - \epsilon_{22}) \sin j \cos j}{\epsilon_{11} \cos^2 j + \epsilon_{22} \sin^2 j} \cdot \frac{a}{b} \tag{14}$$

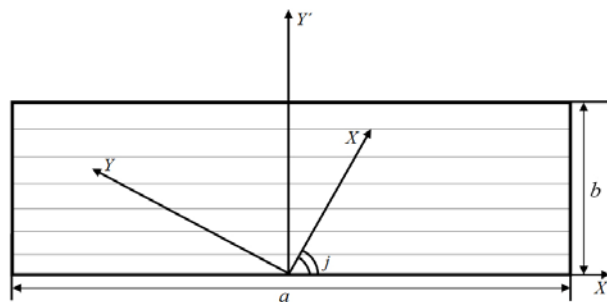


Рисунок 5. Розподіл еквіпотенційних поверхонь електричного поля при орієнтації осі OY під кутом $j = \alpha_{opt} - \beta$.

Величина кута β у цьому випадку впливає з наступного виразу:

$$\beta = \arctg \frac{\epsilon_{11} - \epsilon_{22}}{\epsilon_{11} + \epsilon_{22}} \tag{15}$$

Таке конструктивне рішення практично повністю усуває вплив електропровідних шарів 3 на об’ємний розподіл еквіпотенційних електричних поверхонь АМДП, що розглядається, а також може призвести до деякого зростання коефіцієнта перетворення.

Еквівалентна схема електричного заміщення цього пристрою щодо електричних виводів 4 і 5 являє собою три послідовно з’єднані конденсатори C_1, C_2, C_3 (конденсатори C_1, C_3 утворені електропровідним шаром 3 і поверхнями $a \times c$ з двох сторін пластинки C_2 – верхньої та нижньої поверхнями $a \times c$. При цьому

$$C_1 = C_3 = \epsilon_c \cdot (ac/\Delta_1), \tag{16}$$

$$C_2 = 0,5 \cdot (\epsilon_{11} + \epsilon_{22}) \cdot (bc/a). \tag{17}$$

Оскільки $\epsilon_c \gg (\epsilon_{11} + \epsilon_{22})$, а $b \gg \Delta_1$, то $C_1 = C_3 \gg C_2$, а значить, практично вся різниця потенціалу ΔU , що підключається до електровиводів 4, 5, виявляється, прикладена безпосередньо до верхньої і нижньої граней $a \times c$ пластинки 1.

Поперечна різниця потенціалів ΔU_{\perp} , виникає між торцевими гранями $b \times c$ пластинки, утворює вихідну ємність C_4 .

$$C_4 = 0,5 \cdot (\epsilon_{11} - \epsilon_{22}) \cdot \frac{bc}{a} \tag{18}$$

Необхідно відзначити, що анізотропний метадіелектричний матеріал являє собою шарувату структуру, що чергується, на основі шарів класичного діелектрика 1 товщини τ_1 та метадіелектрика 2 товщини τ_2 . Методика розрахунку цієї структури та її оптимізації аналогічної методики наведеної у [16].

Таким чином, підбираючи відповідне значення коефіцієнта анізотропії до матеріалів анізотропної пластини, а також її геометричні розміри, ми отримуємо можливість створення АМДП з необхідними параметрами.

Робочі режими АМДП

Режим створення електричного поля. У цьому випадку анізотропний метадіелектричний матеріал характеризується додатнім значенням коефіцієнта перетворення m ($1 < K_2 < \infty$) та орієнтацією кристолографічної осі ε_{11} під деяким обраним оптимальним кутом α_{opt} . [18].

Схема такого генератора складається з АМДП, вхідні електровиводи 4, 5 якого підключені до зовнішнього джерела електроенергії створюваної генератором, що задає. До вихідних електровиводів 6, 7 підключено зовнішнє навантаження, опором Z .

При подачі деякої потужності $P(t) = P_0 \sin(\omega t)$ на вхід АМДП, в об'ємі пластини 1 виникають електричні вихори, що взаємодіють з фізичним вакуумом. Це веде до виникнення енергетичного потоку спрямованих із фізичного вакууму в об'єм АМДП, при додатному напівперіоді енергія фізичного вакууму поглинається пристроєм проходячи через одну з бічних граней АМДП, при від'ємному значенні через протилежну бічну грань ($a \times b$). Зрештою, це призводить до появи на вихідних електровиводах 6, 7 електричної потужності, $P_{вих.}$ яка представляється в наступному вигляді:

$$P_{вих.} = P_0 \sin(\omega t_0) \frac{(K+1) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{opt.})}{K - \operatorname{tg}^2(\alpha_{opt.})}, \quad (19)$$

таким чином, правостороннє обертання електричних мікрівихорів зумовлює можливість роботи АМДП у режимі генерації електричної енергії.

Коефіцієнт корисної дії η_I у цьому випадку виглядає так:

$$\eta_I = \frac{I}{I + \frac{(K+1) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{opt.})}{K - \operatorname{tg}^2(\alpha_{opt.})} + \operatorname{tg} \delta}, \quad (20)$$

де $\operatorname{tg} \delta$ – діелектричні втрати матеріалу пластини 1.

Максимальне значення електричної потужності $P_{max.}$, яку може генерувати АМДП, визначається наступним виразом:

$$P_{max.} = (s \cdot M \cdot \Delta T) / \operatorname{tg} \delta, \quad (21)$$

де $M = a \cdot b \cdot c \cdot d$ – маса пластини; d – щільність її матеріалу; s – питома теплоємність матеріалу; T_0 – температура довкілля; $T_{сп.}$ – гранична робоча температура матеріалу, пластини 1.

У таблиці 1 наведено деякі характеристики запропонованого пристрою з різним значенням коефіцієнта анізотропії K_2 , коефіцієнт форми АМДП $f = 0,1$.

Аналіз цих даних показує зростання величини E_{\perp} та P_{\perp} із зменшенням анізотропії K матеріалу пластини.

Таблиця 1. Характеристики АМДП з коефіцієнтом форми $f = 0,1$.

Коефіцієнт анізотропії $K = \varepsilon_{11} / \varepsilon_{22}$	Величина електричного поля $E_{\parallel} \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$	Величина електричного поля $E_{\perp} \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$	Величина потужності $P_{\parallel} \text{ Вт}$	Величина потужності $P_{\perp} \text{ Вт}$
2	1	30	1	27
1,5	1	50	1	125
1,2	1	110	1	1331
1,1	1	210	1	9261
1	1	0	1	0

Слід зазначити, що при певних умовах АМДП, що розглядається, також може активно функціонувати в режимі генерації теплової потужності.

Режим охолодження, утилізації та акумуляції. Як зазначалося вище, лівостороннє обертання електричних мікрівихорів пластини призводить до зменшення внутрішньої енергії АМДП. Це веде відповідне зниження температури T анізотропної пластини [19].

При додатному напівперіоді потужності, що подається на вхід АМДП частина його внутрішньої енергії поглинається фізичним вакуумом через одну з бічних граней ($a \times b$), при від'ємному напівперіоді –

через протилежну бічну грань ($a \times b$).

У цьому випадку холодопродуктивність Q визначається таким чином [20]:

$$Q = W_{вих.} \frac{(K+1) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{opt.})}{K - \operatorname{tg}^2(\alpha_{opt.})}, \quad (22)$$

а різниця температур ΔT між навколишнім середовищем та АМДП, що досягається при адіабатичній ізоляції граней пластини,

$$\Delta T = (Q - q_{вт.}) / (s \cdot M), \quad (23)$$

де $q_{вт.}$ – втрати, зумовлені охолодженням діелектри-

чних та металевих шарів на верхній та нижній гранях перетворювача, s – теплоємність, M – його маса.

Коефіцієнт корисної дії η_2 аналізованого процесу охолодження представляється так:

$$\eta_2 = \frac{1}{1 + \frac{(K+1) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{opt.})}{K - \operatorname{tg}^2(\alpha_{opt.})} + \operatorname{tg} \delta}, \quad (24)$$

де $\operatorname{tg} \delta$ – діелектричні втрати матеріалу пластини.

У таблиці 2 наведено чисельні значення холодопродуктивності Q АМДП залежно від величини коефіцієнта анізотропії K .

Таблиця 2. Значення холодопродуктивності АМДП

D_{ex}	1	1	1	1	1
K	0,1	0,5	0,9	0,95	0,98
Q	1,2	3	19	37	99

За значення $K_1 = 0,1 \div 0,98$ та $\operatorname{tg} \delta = 10^{-2}$ коефіцієнт η_2 знаходиться в межах $\eta_2 = 0,5 \div 0,98$ та холодопродуктивності $\theta = 1,2 \div 9,8$ Вт.

Результати проведених досліджень показують перспективність використання даного пристрою, як високоефективних холодильних елементів. Даний метод дозволяє здійснювати ефективну утилізацію та акумуляцію теплової енергії, що виділяється, як конкретних об'єктів, різних приладів і пристроїв, перекачуючи її в середовище фізичного вакууму.

Поруч із розглянутим вище вихровим пристроєм АМДП дозволяє посилювати різні сигнали у широкому спектральному діапазоні; ефективно працювати як випромінювач у широкому спектральному діапазоні; при відповідному підборі оптичних матеріалів функціонувати як генератор променевої енергії в ІЧ-, видимій, УФ-, та рентгенівському спектрах; як пристрій сполучення антенних пристроїв з приймально-передаючих систем і т.д.

V. ВИСНОВКИ

Вперше запропоновано оригінальну фізичну модель енергетичної взаємодії між вихровим електричним полем пластини анізотропного метадіелектричного перетворювача та фізичним вакуумом. Аналіз цієї моделі показує, що в інтервалі $0 < K_1 < 1$ величина коефіцієнта перетворення m характеризується від'ємним значенням, а в інтервалі $1 < K_2 < \infty$ – додатнім. У першому випадку спостерігається ефект охолодження у другому – режим генерації електроенергії.

Використання метадіелектричного матеріала в порівнянні із класичним характеризується значеннями $m > 1$.

Визначено галузі практичного застосування АМДП у вигляді генераторів електрики, тепла та холоду, отримано розрахункові вирази для їх

коефіцієнта корисної дії, що знаходиться в інтервалі $\eta=0,5 \div 0,98$, а температура охолодження даного пристрою може досягати температури рідкого гелію.

Запропонована фізична модель сприятиме появі нових науково-технічних напрямків в галузі електрики та напрямках, які пов'язані із нею.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Процес трансформації електрики : пат. 134213 Україна : H02M11/00 / А. А. Ащеулов, Д. О. Лавренюк, І. С. Романюк. – № у 2018 11578; заявл. 26.11.2018; опубл. 10.05.2019, Бюл. № 9 – 4 с.
- [2] Діелектричний трансформатор : пат. 135554 Україна : H02N11/00 / А. А. Ащеулов, Д. О. Лавренюк, І.С. Романюк, М.М. Кондратенко. № у 2019 00052; заявл. 02.01.2019; опубл. 10.07.2019, Бюл. №13 – 4 с.
- [3] Ащеулов А.А., Деревянчук Н.Я., Лавренюк Д.А., Эффект трансформации в анизотропных диэлектрических средах / А.А. Ащеулов, Н.Я. Деревянчук, Д.А. Лавренюк // ТКЭА. – 2020. – №4. – С. 24-27. – Режим доступа: DOI: 10.15222/ТКЭА2020.3-4.24
- [4] Ashcheulov A.A., Derevianchuk M.Ya., Lavreniuk D.A. On the Possibility of Electrostatic Transformation by Anisotropic Dielectric Environment. / A.A. Ashcheulov, M.Ya. Derevianchuk, D. A. Lavreniuk// American Journal of Engineering Research (AJER). – 2021. – Vol. 10, no. 7 – P. 112-118. e-ISSN: 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936
- [5] Veselago V. G. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ . / V. G. Veselago // Sov. Phys. Usp., – 1968 Vol. 10. – P. 509-514. – Mode access: DOI: 10.1070/PU1968v010n04ABEH003699
- [6] Yeon Ui Lee, Junxiang Zhao, Qian Ma, Larousse Khosravi Khorashad, Clara Posner, Guangru Li, G. Bimananda M. Wisna, Zachary Burns and Jin Zhang,. Metamaterial assisted illumination nanoscopy via random super-resolution speckles. – 2000. UC San Diego
- [7] Kildishev A V, Shalaev V M Transformation optics and metamaterials / A.V. Kildishev, V.M. Shalaev // Phys., – 2011 Usp., 54, P. 53–63 – Mode access: DOI: 10.3367/UFNe.0181.201101e.0059
- [8] Фелинский С.Г., Коротков Д.А., Фелинский С.С. Критерии существования отрицательной диэлектрической проницаемости в кристаллах / С.Г. Фелинский, Д.А. Коротков, С.С. Фелинский // Наноматериалы, нанотехнологии, – 2014, Т. 12, № 36, С. 585-593.
- [9] Поплавко Ю.М. Физика диэлектриков [под ред. Ю.И. Якименко]. – Київ : НТУУ, «КПИ», 2015. – 572 с.
- [10] Най Дж. Физические свойства кристаллов и их описание при помощи тензоров и матриц [2-е

- изд.] / Дж. Най. – Москва : Мир, 1967. – 386 с.
- [11] Самойлович А.Г. Термоэлектрические и термомагнитные методы преобразования энергии / А.Г. Самойлович. – Черновцы : Рута, 2006. – 226 с.
- [12] Tamm I.E. Fundamentals of the theory of electricity / I.E. Tamm. – Moscow : FIZMATLIT, 2003 – 616 p.
- [13] Боев А.Г. Электромагнитная теория смерча. Электродинамика вихря. / А.Г. Боев // Радиофизика и радиоастрономия. – 2009 – Т.14, №2, С. 121–149.
- [14] Прохоров А.М. Физическая энциклопедия. [Т.1-Т.5 Справочное издание] / А.М. Прохоров – Москва: Советская энциклопедия, 1988-1998, –704 с., 704 с., 672 с., 704с., 760 с.
- [15] Энергия и физический вакуум / А.Н. Власов [и другие], – Волгоград : Станица-2, 2004. – 192 с.
- [16] Шипов Г.И. Теория физического вакуума / Г.И. Шипов/ – Москва: Наука, 1987. – 451 с.
- [17] Анизотропный электростатичний елемент : пат. Україна : А.А. Ащеулов – № u 2021 04174; заявл. 16.07.2021
- [18] Процес отримання електрики : пат. 149691 Україна : H02L31/052 / А. А. Ащеулов – № u 2021 02559; заявл. 17.05.2021; опубл. 01.12.2021, Бюл. № 48 – 4 с.
- [19] Процес термостатичного охолодження : пат. Україна : А.А. Ащеулов – № u 2021 03958; заявл. 07.07.2021
- [20] Ащеулов А.А., Деревянчук Н.Я., Лавренюк Д.А., Романюк И.С. Трансформация электрического тока анизотропной электропроводной средой / Ащеулов А.А., Деревянчук Н.Я., Лавренюк Д.А., Романюк И.С // ТКЭА. – 2020. – № 5-6, с. 28-32. – Режим доступа: DOI: 10.15222/ТКЭА2020.5-6.28

Стаття надійшла до редакції 01.12.2021

АНИЗОТРОПНЫЙ МЕТАДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

- АЩЕУЛОВ А.А. д-р техн. наук, профессор, Института термоэлектрики НАН і МОН України, Черновцы, Украина, e-mail: ashcheulovaa@rambler.ru;
- ДЕРЕВЯНЧУК Н.Я. аспирант, Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича, Черновцы, Украина, e-mail: m.derevianchuk@ukr.net;
- ЛАВРЕНЮК Д.О. инженер, Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича, Черновцы, Украина, e-mail: lavreniuk.dmytro.clg@chnu.edu.ua

Цель работы. Исследование особенностей преобразования энергии электрического поля анизотропной метасредой при отрицательном значении диэлектрической проницаемости в одном из выбранных главных кристаллографических направлений.

Методы исследования. Проведены исследования с применением методов физико-математического моделирования анизотропного метадиелектрического преобразователя; с использованием методов оптимизации функции зависимости коэффициента преобразования t , анизотропного метадиелектрического преобразователя, от угла α между одной из кристаллографических осей и ребром пластин a , при фиксированных коэффициентах анизотропии метадиелектрического материала.

Полученные результаты. Впервые исследованы особенности преобразования электрического поля анизотропной метасредой при отрицательном значении диэлектрической проницаемости в одном из выбранных главных кристаллографических направлений. Установлено, что в момент приложения к верхней и нижней граням анизотропной метадиелектрической пластины, которая является основой анизотропного метадиелектрического преобразователя, некоторой разности потенциалов приводит к поляризации ее объема и возникновению как продольной, так и поперечной составляющих вихревого электрического поля. Такая ситуация ведет к аксиальному сворачиванию ее внутреннего поля, что в свою очередь приводит к появлению микровихрей электрического поля, которые описываются выражением $\text{rot } \vec{E} = \omega$ где ω – круговая частота вращения микровихря, а знаки «+» и «-» – обозначают направление его вращения. Такие аксиальные электрические микровихри являются эффективным механизмом, перекачивающим энергию между физическим вакуумом и в нашем случае, анизотропной метадиелектрической пластиной преобразователя.

Проведен анализ зависимости коэффициента преобразования t этой среды от значения анизотропии $K = \epsilon_{11} / \epsilon_{22}$. Исследования продемонстрировали, что в интервале $0 < K_1 < 1$ величина t характеризуется отрицательным значением, а в интервале $1 < K_2 < \infty$ – положительным, это позволило определить области стабильного существования разных видов энергий.

Использование метадиелектрического материала по сравнению с классическим характеризуется значе-

ниями $m > 1$. Отметим, что в редких случаях наблюдается аномальный рост упоминаемого коэффициента.

Научная новизна. С использованием представлений вихревой электродинамики предложен механизм энергетического взаимодействия между энергиями электрического поля анизотропной метасреды и физического вакуума.

Практическая ценность. Предложена модель оригинальной конструкции анизотропного метадиелектрического преобразователя. Определены области практического использования анизотропного метадиелектрического преобразователя в виде генераторов электричества, тепла и холода, получены расчетные выражения для их коэффициента полезного действия, находящегося в интервале $\eta = 0,5 \div 0,98$, а температура охлаждения может достигать температуры жидкого гелия.

Ключевые слова: анизотропные метасреды; диэлектрическая проницаемость; превращение; электрическая мощность; коэффициент полезного действия; нагрев; охлаждение; генерация.

ANISOTROPIC METADIELECTRIC CONVERTER

- ASHCHEULOV A.A. Sci.D, Professor, Institute of thermoelectricity NAS and MES of Ukraine, Chernivtsi, Ukraine, e-mail: ashcheulovaa@rambler.ru;
- DEREVIANCHUK M.YA. Postgraduate student, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine, e-mail: m.derevianchuk@ukr.net;
- LAVRENIUK D.O. Engineer, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine, e-mail: lavreniuk.dmytro.clg@chnu.edu.ua

Purpose. Investigation of the peculiarities of the electric field energy conversion by an anisotropic meta-medium with a negative value of the dielectric constant in one of the selected main crystallographic directions.

Methodology. Research was carried out using methods of physical and mathematical modeling of anisotropic metadielectric converter; using methods to optimize the function of the dependence of the conversion factor m , anisotropic metadielectric converter, on the angle α between one of the crystallographic axes and the edge of the platinum a , at fixed anisotropy coefficients of metadielectric material.

Findings. For the first time, the peculiarities of the electric field transformation by an anisotropic meta-medium with a negative value of the dielectric constant in one of the selected main crystallographic directions were studied. It is established that at the moment of application to the upper and lower faces $a \times b$ of the anisotropic metadielectric plate, which is the basis of the anisotropic metadielectric converter, some potential difference ΔU leads to polarization of its volume and the emergence of both longitudinal \vec{E}_{\parallel} and transverse \vec{E}_{\perp} components of the vortex electric field. This situation leads to axial folding of its internal field, which in turn causes the appearance of micro-vortices of the electric field, given by the expression $\text{rot } \vec{E} = \omega$, where ω - the circular time of rotation of the micro-vortex, and signs "+" and "-" - indicate the direction of its rotation. Such axial electric micro vortices are an efficient mechanism that pumps energy between the physical vacuum and, in our case, the anisotropic metadielectric plate of the transducer.

The dependence of the transformation coefficient m of this medium on the value of anisotropy $K = \varepsilon_{11} / \varepsilon_{22}$ is analyzed. Studies have shown that in the interval $0 < K_1 < 1$ the value of m is characterized by a negative value, and in the interval $1 < K_2 < \infty$ - positive, this allowed us to determine the areas of stable existence of different types of energy.

The use of metadielectric material in comparison with the classical one is characterized by values of $m > 1$. Note that in some cases there is an abnormal increase in the coefficient.

Originality. Using the representations of vortex electrodynamics, the mechanism of energy interaction between the vortex electric field of an anisotropic metaenvironment and the physical vacuum is proposed.

Practical value. A model of the original design of an anisotropic metadielectric converter is proposed. Areas of its practical use in the form of generators of electricity, heat and cold are determined, calculated expressions for their efficiency are in the range $\eta = 0.5 \div 0.98$, and the cooling temperature can reach the temperature of liquid helium.

Keywords: anisotropic metaenvironments; the dielectric constant; transformation; electric power; efficiency; heat; cooling; generation.

REFERENCES

- [1] Ascheulov, A.A., Lavreniuk, D.O., Romaniuk, I.S. (2019) Electricity transformation process. *Patent of Ukraine 134213*, 9.
- [2] Ascheulov, A.A., Lavreniuk, D.O. (2019) Dielectric transformer. *Patent of Ukraine 135554*, 13.
- [3] Ascheulov, A.A., Derevianchuk, M.Ya., Lavreniuk, D.O. (2020) Transformation effect in anisotropic dielectric media. *TKEA*, 4, 23. DOI: 10.15222/TKEA2020.3-4.24
- [4] Ashcheulov, A., Derevianchuk, M., Lavreniuk, D. (2021) On the Possibility of Electrostatic Transformation by Anisotropic Dielectric Environment. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 10, 7, 112-118. e-ISSN: 2320-0847 p-ISSN: 2320-0936
- [5] Veselago, V. G. (1968) The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ . *Sov. Phys. Usp.*, 10, 509-514; DOI: 10.1070/PU1968v010n04ABEH003699
- [6] Lee, Y., Zhao, J., Ma, Q., Khorashad, L., Posner, C., Li, G., Bimananda, G., Wisna, M., Burns, Z. and Zhang, J. (2000) Metamaterial assisted illumination nanoscopy via random super-resolution speckles. UC San Diego
- [7] Kildishev, A V, Shalaev, V M (2011) Transformation optics and metamaterials. *Phys., Usp.*, 54, 53-63 DOI: 10.3367/UFNe.0181.201101e.0059
- [8] Felinsky, S.G., Korotkov, D.A., Felinsky, S.S. (2014) Criteria for the existence of negative dielectric constant in crystals. *Nanomaterials, nanotechnology*, 12, 585-593.
- [9] Poplavko, Yu.M. (2015) Physics of dielectrics [ed. Yu.I. Yakimenko] K.-NTUU, KPI, 572.
- [10] Nye, J. (1967) Physical properties of crystals and their description using tensors and matrices. I. Mir, 267.
- [11] Samoilovich, A.G. (2006) Thermoelectric and thermomagnetic methods of energy conversion. Chernivtsi, Ruta, 226.
- [12] Tamm, I.E. (2003) Fundamentals of the theory of electricity. Moscow: FIZMATLIT, 616.
- [13] Boev, A.G. (2009) Electromagnetic theory of tornado. Vortex electrodynamics. *Radiophysics and Radio Astronomy*, 14, 2, 121-149.
- [14] Prokhorov, A.M. (1988-1998) Physical encyclopedia. T.1-T.5 Reference edition, Moscow, Soviet encyclopedia, 704, 704, 672, 704, 760.
- [15] Vlasov, A.N., Goncharov, N.V., Grebenchenko, Yu.I., Olshansky, O.V., Tuzhikov, O.O. (2004) Energy and physical vacuum, Volgograd: Stanitsa-2, 192.
- [16] Shipov, G.I. (1987) Theory of physical vacuum, Moscow: Nauka, 451.
- [17] Ashcheulov, A.A. Anisotropic electrostatic element. Application u 2021 04174. Date of application submission 16.07.2021.
- [18] Ascheulov, A.A. (2021) Electricity transformation process. *Patent of Ukraine 149691*, 48.
- [19] Ascheulov, A.A (2021) The process of thermostatic cooling. Application u 2021 03958. Date of application submission 07.07.2021.
- [20] Ashcheulov A.A., Derevianchuk M.Ya., Lavrenyuk D.A., Romanyuk I.S. (2020) Transformation of electric current by anisotropic electrically conductive medium. *TCEA.*, 5-6, 28-32. DOI: 10.15222/TKEA2020.5-6.28