

## Електронні системи

УДК 621.314

DOI: [10.20535/2523-4455.2017.22.5.106578](https://doi.org/10.20535/2523-4455.2017.22.5.106578)

# Оцінка фрактальної розмірності та передавальної функції хмар

Осипенко К. С., к.т.н., ORCID [0000-0002-6674-8332](https://orcid.org/0000-0002-6674-8332)e-mail [ekateryna.osypenko@gmail.com](mailto:ekateryna.osypenko@gmail.com)

Кафедра Промислової Електроніки, Факультет Електроніки  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» [kpi.ua](http://kpi.ua)  
Київ, Україна

Жуйков В. Я., д.т.н., проф., ORCID [0000-0002-3338-2426](https://orcid.org/0000-0002-3338-2426)e-mail [valery.zhuiikov@gmail.com](mailto:valery.zhuiikov@gmail.com)

Факультет Електроніки  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» [kpi.ua](http://kpi.ua)  
Київ, Україна

**Реферат**—В наведеній статті запропоновано методику знаходження фрактальної розмірності проекції області хмарного покриву на ділянку сонячної електростанції та передавальної функції хмари, що еквівалентна її віртуальній щільності. Наведено формулу для розрахунку фрактальної розмірності проекції області хмарного покриву на окремі ділянки сонячної електростанції. Для визначення стану комірки в залежності від величини інтенсивності сонячного випромінювання при наявності імлі використано S-подібну криву. Наведено формули для визначення зображення та оригіналу передавальної функції хмари, а також формули дискретного перетворення Віленкіна-Крестенсона та симетричного перетворення на кінцевих інтервалах для визначення віртуальної щільності хмари. Показано, що знання фрактальної розмірності проекції області хмарного покриву на ділянку сонячної електростанції та передавальної функції хмари можна використовувати для визначення ділянок сонячної електростанції з самоподібними властивостями.

Бібл. 11, рис. 2.

**Ключові слова** — сонячна електростанція; відбір максимальної енергії; фрактальна розмірність; S-подібна крива; перетворення Віленкіна-Крестенсона; симетричне перетворення на кінцевих інтервалах.

### I. Вступ

Частка електроенергії, яка виробляється відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) на території України, складає близько 2% від загальної кількості виробленої електроенергії [1]. За наближеними оцінками встановлена потужність ВДЕ в Україні сягає 10 ГВт, з яких близько 500 МВт припадає на сонячні електростанції (СЕС) [2].

Застосування принципу невизначеності Гейзенберга [3] призводить до того, що для забезпечення максимальної ефективності роботи СЕС необхідно реалізувати двоканальне керування на базовому інтервалі (тривалість базового інтервалу визначається, виходячи з конкретних умов). При реалізації керування сонячними електростанціями необхідно прогнозувати стан системи на наступний базовий інтервал з подальшою корекцією, що передбачає оцінку таких фізичних параметрів зовнішнього середовища,

як: вологість повітря та температура; наявність хмар, напрямок та швидкість їх руху, складність поверхні хмар та їх щільність [4 – 6]. Крім того, хмари можуть супроводжуватись серпанком, туманом чи іншими фізичними явищами, на фоні яких наявні більш щільні утворення. Сукупність хмар та супутньої імлі будемо називати хмарним покривом.

На прикладі купчастих хмар проведемо оцінку двох з множини фізичних параметрів, які характеризують стан хмарного покриву – фрактальної розмірності та щільності хмар.

### II. ФРАКТАЛЬНА РОЗМІРНІСТЬ ПРОЕКЦІЙ ОБЛАСТІ ХМАРНОГО ПОКРИВУ

Припустимо, що: по-перше, над сонячною електростанцією потужністю від сотень МВт до одиниць ГВт, що вказує на її значну площу, існують невеликі за відносними розмірами купчасті хмари; по-друге, у просторі між хмарами знаходиться нерівномірна



імла. При проходженні хмар над сонячною електростанцією деяка частина панелей затіняється хмарою, а інша частина нерівномірною імлою, і на поверхні сонячної електростанції утворюється проекція хмари (рис. 1). В залежності від співвідношення лінійної швидкості руху хмар та швидкості Сонця, яка визначається його кутовим переміщенням, можливі декілька випадків, але в даній статті розглядається випадок, коли лінійна швидкість руху хмар значно більша за швидкість Сонця, яка визначається його кутовим переміщенням. Тоді на деякому інтервалі положення Сонця приймається фіксованим, у той час, як хмари та їх проекції переміщуються на деяку відстань.

Межа між окремими проекціями купчастих хмар у імлі визначається як середнє значення відстані між сусідніми проекціями хмар. В отриманих межах частина сонячних панелей генерує більшу енергію, а частина панелей значно меншу, що вказує на можливість використання поняття фрактальної розмірності  $D_0$  [7] проекції області хмарного покриву на окремі ділянки сонячної електростанції:

$$D_0 = \frac{\ln n}{\ln N},$$

де  $n$  – кількість елементарних комірок сонячних панелей, затінених хмарою;  $N$  – загальна кількість елементарних комірок сонячних панелей у кожній з виокремлених ділянок сонячної електростанції.

Величина фрактальної розмірності приймає цілі значення для простих геометричних об'єктів (для гладкої двовірної поверхні  $D_0 = 2$ ) і нецілі значення для самоподібних фрактальних об'єктів з сильно «порізаною» формою. У випадку, коли поверхня ділянки сонячної електростанції повністю покрита хмарами, або хмар над поверхнею немає, фрактальна розмірність ділянки  $D_0 = 2$ . У всіх інших випадках  $D_0 < 2$ . Ділянки сонячної електростанції, для яких значення фрактальної розмірності є близькими, вважатимемо самоподібними.

Оскільки одним з кроків визначення фрактальної розмірності проекції області хмарного покриву на окремі ділянки сонячної електростанції є підрахунок кількості затінених елементарних комірок, необхідно розробити методику визначення стану комірки.

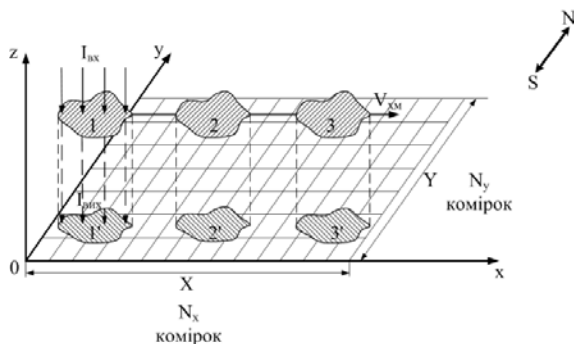


Рис. 1 Схематичне зображення проекцій хмари на сонячну панель

### III. ФУНКЦІЯ НАЛЕЖНОСТІ

Значення фрактальної розмірності проекції області хмарного покриву на окремі ділянки сонячної електростанції залежать від двох факторів. По-перше, від загального середнього значення інтенсивності сонячного випромінювання, що проходить між хмарами. Ця інтенсивність залежить від прозорості повітря, яка при імлі чи тумані зменшується, і відповідно зменшується різниця між інтенсивністю випромінювання до хмари та після неї. По-друге, від обраного значення різниці між інтенсивністю випромінювання до і після хмари. Для одного і того ж фізичного стану хмари значення фрактальної розмірності ділянки сонячної електростанції можуть бути різними.

Для визначення того, чи затінена комірка сонячної панелі, використаємо функцію належності, або S-подібну криву [8], яка дозволяє визначити стан комірки в залежності від величини інтенсивності сонячного випромінювання (рис. 2) і розраховується наступним чином:

$$f_s(I^*) = \frac{1}{1 + e^{-(I^* - I_{nor}^*)}},$$

де  $I^* = I/I_0$  – відносна інтенсивність сонячного випромінювання,  $I^* \in 0 \dots I_{max}$ ;  $I$  та  $I_0$  – інтенсивність випромінювання, що потрапляє на сонячну панель та в атмосферу Землі відповідно;  $I_{nor}^*$  – порогове значення інтенсивності;  $I_{max}$  – максимальне значення інтенсивності на поверхні сонячної панелі. Якщо величина інтенсивності сонячного випромінювання, що потрапляє на комірку сонячної панелі, менша за деяке порогове значення  $I_{nor1}^*$ ,  $I_{nor2}^*$ , комірка вважається затіненою. В іншому випадку – не затіненою. Вибір порогового значення інтенсивності для конкретної сонячної електростанції визначається максимальним рівнем енергії, що потрапляє на поверхню сонячних панелей, та алгоритмами роботи.

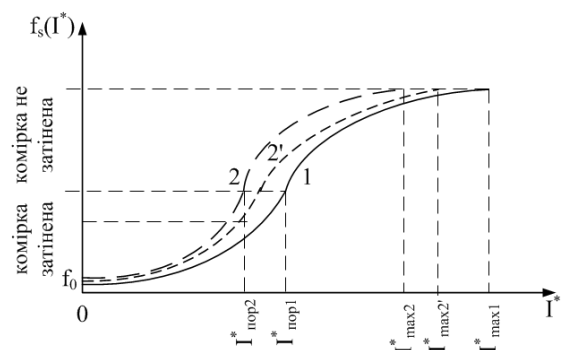


Рис. 2 Функція визначення стану комірки в залежності від величини інтенсивності сонячного випромінювання: крива 1 – повітря є прозорим; крива 2, 2' – повітря є непрозорим, наявний туман чи імла;  $f_0 = 1/(1 + e^{-I_{nor}^*})$  – значення функції належності при  $I^* = 0$ .

Як видно з рисунку 2, у випадку, коли повітря є непрозорим, може змінюватись або величина порогового значення інтенсивності випромінювання, яка пов'язана з величиною струму, що генерує система (крива 2), або діапазон значень функції  $f_y(I^*)$ , які відносяться, наприклад, до стану затіненої комірки, при чому величина порогового значення інтенсивності  $I_{пор2}^*$  залишається незмінною (крива 2').

S-подібна крива може також використовуватись для оцінки меж проєкції хмар за градієнтом імлі між хмарами.

Для прикладу, що розглядається, після визначення фрактальної розмірності проєкції області хмарного покриву на окремі ділянки сонячної електростанції перейдемо до визначення передавальної функції хмар.

#### IV. ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ХМАРИ

При проходженні сонячного випромінювання через хмару інтенсивність випромінювання зменшується за законом Бера [9], де значення коефіцієнта лінійного поглинання корелюють зі значеннями щільності хмари в точках прямої розповсюдження випромінювання. Хмарний покрив може бути одношаровим або багатшаровим з розташуванням хмар на різній висоті – від десятків метрів до десятків кілометрів – з різною формою. Для спрощення розрахунків будемо використовувати поняття еквівалентної віртуальної щільності хмари, яка буде враховувати як величину прямого, так і величину відбитого випромінювання.

Для визначення віртуальної щільності хмари представимо хмару як фільтр з деякою передавальною функцією, через який проходить сонячне випромінювання. Передавальна функція хмари визначається відношенням величини інтенсивності сонячного випромінювання на виході хмари до величини інтенсивності сонячного випромінювання на вході. Величини інтенсивностей сонячного випромінювання на виході та на вході хмари є функціями просторових координат  $(x, y)$  та часу. Час вимірювання вхідної  $I_0(x, y, t)$  та вихідної  $I(x, y, t)$  інтенсивностей випромінювання  $\Delta t$  обирається з наступних умов:

$$\begin{cases} \Delta t \cdot V_{xm} \ll X \\ \Delta t \cdot V_{xm} \ll Y \end{cases},$$

при чому  $\Delta t \ll T_x$ ,  $\Delta t \ll T_y$ , де  $T_x$  та  $T_y$  – час, за який проєкції хмари проходять відстані  $X$  та  $Y$  відповідно, які визначаються максимальними розмірами сонячної електростанції.

Застосовуючи перетворення Лапласа, переходячи з області оригіналів в область зображень, отримаємо:

$$\begin{aligned} L\{I_0(x, y, t)\} &\Rightarrow I_0(p_x, p_y, p), \\ L\{I(x, y, t)\} &\Rightarrow I(p_x, p_y, p), \end{aligned}$$

де  $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p$  – оператори  $d/dx$ ,  $d/dy$  та  $d/dt$  відповідно.

Передавальна функція хмари визначається наступним чином:

$$W(p_x, p_y, p) = \frac{I(p_x, p_y, p)}{I_0(p_x, p_y, p)}.$$

Оскільки величина інтенсивності сонячного випромінювання на вході хмари  $I_0(p)$  по всій площині є рівномірною і постійною, то вважатимемо, що за часом:

$$I_0(p) = \frac{I_{0\max}}{p}.$$

За просторовими координатами  $x$  та  $y$  величину інтенсивності сонячного випромінювання на вході хмари вважатимемо рівною її середньому значенню на інтервалі  $\Delta t$ .

Аналогічно величину інтенсивності сонячного випромінювання на виході хмари  $I(p)$  вважатимемо постійною:

$$I(p) = \frac{I_{\max}}{p}.$$

Тоді передавальна функція хмари визначається наступним чином:

$$W(p_x, p_y) = \frac{I_{\max}(p_x, p_y)}{I_{0\max}(p_x, p_y)}.$$

Для знаходження оригіналу передавальної функції в координатах  $(x, y)$  застосуємо до передавальної функції  $W(p_x, p_y)$  зворотнє перетворення Лапласа:

$$\begin{aligned} w(x, y) &= L^{-1}\{W(p_x, p_y)\} = \\ &= \frac{1}{X} \frac{1}{Y} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W(p_x, p_y) e^{p_x x + p_y y} dp_x dp_y. \end{aligned}$$

Враховуючи, що сонячне випромінювання на вході хмар  $I_0$  є постійною величиною в координатах  $(x, y)$ , для знаходження вагової функції достатньо взяти похідну по координатам  $(x, y)$  від функції  $w(x, y)$ .

Оскільки сонячні панелі складаються з окремих комірок, то при розрахунках доцільно перейти до дискретних значень.

Мінімальні лінійні розміри проєкції хмари на площину сонячної панелі визначаються з кроком  $n_x = \lfloor x/\Delta x \rfloor$ ,  $n_x = 1 \dots N_x$ ,  $n_y = \lfloor y/\Delta y \rfloor$ ,  $n_y = 1 \dots N_y$ , де  $\Delta x$  та  $\Delta y$  – лінійні розміри елементарної комірки,  $N_x = \lfloor X/\Delta x \rfloor$  та  $N_y = \lfloor Y/\Delta y \rfloor$  – кількість елементар-

них комірок сонячної панелі по осям  $Ox$  та  $Oy$  відповідно;  $\lfloor \rfloor$  – ціла частина від ділення. Згідно з теоремою Котельникова, похибка визначення лінійних розмірів сонячної панелі не перевищуватиме значень  $2n_x$  та  $2n_y$ .

Для визначення віртуальної щільності хмари у дискретній системі можуть використовуватись різні перетворення, наприклад, перетворення Лапласа чи Фур'є. Але, оскільки аргумент по осям  $Ox$  та  $Oy$  є кінцевим, доцільно перейти до перетворення на кінцевих інтервалах, наприклад до двовимірного перетворення Віленкіна-Крестенсона з кінцевим аргументом, яке у порівнянні з дискретним перетворенням Фур'є оперує зі значно меншою кількістю значень базисних функцій [10].

V. ДВОВІМІРНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ НА КІНЦЕВИХ ІНТЕРВАЛАХ

Оскільки для знаходження передавальної функції хмари необхідно виконувати обробку двовимірного масиву даних інтенсивності сонячного випромінювання, розглянемо двовимірне перетворення Віленкіна-Крестенсона (ВКФ) для функції двох змінних  $n_x$  та  $n_y$ , визначених на інтервалах  $N_x \cong m_1^{n_1}$ ,  $N_y \cong m_2^{n_2}$  відповідно, де  $m_1, n_1, m_2, n_2$  – деякі цілі числа. При таких довжинах інтервалів кількість синусних та косинусних складових базисних функцій дорівнює  $m_1$  та  $m_2$  відповідно, що зменшує об'єм обчислень, які необхідні при переході від оригінала до зображення і навпаки.

Пряме ВКФ-перетворення на інтервалі  $N = N_x N_y$  матиме вигляд:

$$W(v_x, v_y) = \frac{1}{N} \sum_{n_x=0}^{N_x-1} \cdot \sum_{n_y=0}^{N_y-1} w(n_x, n_y) \times f_W(v_x, v_y, n_x, n_y),$$

де  $w(n_x, n_y)$  та  $W(v_x, v_y)$  – дискретні значення оригіналу та зображення передавальної функції хмари; величини  $v_x$  та  $v_y$  можна трактувати як число обертів, яке виконують вектори дискретних експоненційних функцій на інтервалах  $N_x$  та  $N_y$  відповідно [11].

Базисні функції двовимірного перетворення Віленкіна-Крестенсона визначаються виразом:

$$f_W(v_x, v_y, n_x, n_y) = \exp\left(j2\pi \sum_{s=1}^{n_1} \frac{n_x^{(s)} v_x^{(s)}}{m_1}\right) \times \exp\left(j2\pi \sum_{s=1}^{n_2} \frac{n_y^{(s)} v_y^{(s)}}{m_2}\right),$$

де  $n_x^{(s)}, v_x^{(s)}$  – розрядні компоненти в  $m_1$ -ічному представленні величин  $n_x$  та  $v_x$ ;  $n_y^{(s)}, v_y^{(s)}$  – розрядні компоненти в  $m_2$ -ічному представленні величин  $n_y$  та  $v_y$ ;  $\times_m$  – знак m-кронекерівського добутку матриць.

$$f_{WN_x} = v_x \downarrow \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} & & n_x & \\ & & \rightarrow & \\ & 0 & 1 & \dots & m_1^{n_1} - 1 \\ 0 & \left| \begin{array}{cccc} f_W(0,0) & f_W(0,1) & \dots & f_W(0, m_1^{n_1} - 1) \\ f_W(1,0) & f_W(1,1) & \dots & f_W(1, m_1^{n_1} - 1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_W(m_1^{n_1}, 0) & f_W(m_1^{n_1}, 1) & \dots & f_W(m_1^{n_1} - 1, m_1^{n_1} - 1) \end{array} \right| \end{array} \\ \dots \\ m_1^{n_1} - 1 \end{array} \end{array}$$

$$f_{WN_y} = v_y \downarrow \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} & & n_y & \\ & & \rightarrow & \\ & 0 & 1 & \dots & m_2^{n_2} - 1 \\ 0 & \left| \begin{array}{cccc} f_W(0,0) & f_W(0,1) & \dots & f_W(0, m_2^{n_2} - 1) \\ f_W(1,0) & f_W(1,1) & \dots & f_W(1, m_2^{n_2} - 1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_W(m_2^{n_2}, 0) & f_W(m_2^{n_2}, 1) & \dots & f_W(m_2^{n_2} - 1, m_2^{n_2} - 1) \end{array} \right| \end{array} \\ \dots \\ m_2^{n_2} - 1 \end{array} \end{array}$$



Базисні функції  $f_W(v_x, v_y, n_x, n_y)$  представляються у матричному вигляді:

$$f_{WN} = f_{WN_x} \times_m f_{WN_y},$$

де  $f_{WN_x}$  та  $f_{WN_y}$  – матриці базисних функцій одномірного ВКФ-перетворення на інтервалах  $N_x$  та  $N_y$  відповідно.

Зворотнє перетворення записується наступним чином:

$$w(n_x, n_y) = \sum_{v_x=0}^{N_x-1} \cdot \sum_{v_y=0}^{N_y-1} W(v_x, v_y) \times f_W^*(v_x, v_y, n_x, n_y),$$

де  $f_W^*(v_x, v_y, n_x, n_y)$  – комплексно-спряжені базисні функції.

Комплексний характер функцій ВКФ-перетворення та неоднаковий вигляд прямого та зворотного перетворень ускладнюють застосування цього методу, однак при цьому зберігається інформація про фазу, тобто напрям руху хмари.

Якщо ця інформація не є важливою, тоді доцільно використовувати симетричне перетворення на кінцевих інтервалах (СКІ-перетворення) [11], базисні функції якого для випадку двох змінних описуються наступним рівнянням:

$$\varphi(v_x, v_y, n_x, n_y) = \text{cas} \left( \frac{2\pi}{m_1} \sum_{s=1}^{n_1} n_x^{(s)} v_x^{(s)} \right) \circ \text{cas} \left( \frac{2\pi}{m_2} \sum_{s=1}^{n_2} n_y^{(s)} v_y^{(s)} \right),$$

де  $\circ$  – знак операції «основна дія».

#### ВИСНОВКИ

Запропонована в статті методика визначення фрактальної розмірності проекції області хмарного покриття на ділянку сонячної електростанції та передавальної функції хмари, що еквівалентна її щільності, дозволяє визначити ділянки сонячної електростанції з самоподібними властивостями, що є підставою, наприклад, для розробки ідентичних алгоритмів керування ними.

Надійшла до редакції 09 липня 2017 р.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] L. M. Suhodolia, «Suchasnyi stan, problemy ta perspektyvy rozvytku hidroenerhetyky Ukrainy [Current state, problems and prospects of hydropower development in Ukraine],» *National Institute for Strategic Studies, Analytical report*, 2014.
- [2] V. Karpus, «V 2016 godu proizvodstvo «zelenoy» elektroenergii v Ukraine prevyisilo 1,7 mlrd kVt [In 2016 year the production of “green” electricity in Ukraine exceeded 1.7 billion kWh],» 06 February 2017. [Online]. Available: <http://itc.ua/news/v-2016-godu-proizvodstvo-zelenoy-elektroenergii-v-ukraine-prevyisilo-1-7-mlrd-kvt-ch/>.
- [3] K. S. Osypenko; V. Ya. Zhuikov, «Printsyp nevyznachenosti Geizenberga pry otslntsl rlvnia energii, shcho generuietsia vldnovliuvanymy dzhherelamy [Heisenberg’s uncertainty principle in evaluating the renewable sources power level],» *Technical Electrodynamics*, no. 1, pp. 10-16, 2017.  
**URL:**  
[http://techned.org.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1123&Itemid=77](http://techned.org.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=1123&Itemid=77)
- [4] A. N. Pavlov and V. S. Anishchenko, «Multifraktalniy analiz slozhnykh signalov [Multifractal analysis of complex signals],» *Successes of physical sciences*, vol. 177, no. 8, pp. 859-876, 2007. **DOI:** [10.3367/UFNr.0177.200708d.0859](https://doi.org/10.3367/UFNr.0177.200708d.0859)
- [5] D. I. Iudin and E. V. Koposov, *Fraktaly: ot prostoho k slozhnomu [Fractals: from simple to complex]*, Nizhny Novgorod: NNSUAB, 2012. **ISBN:** 978-5-87941-829-3
- [6] S. R. Broadbent and J. M. Hammersley, "Percolation processes: I. Crystals and mazes," *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, vol. 53, no. 3, pp. 629-641, July 1957. **DOI:** [10.1017/S0305004100032680](https://doi.org/10.1017/S0305004100032680)
- [7] M. Ya. Yablokov, «Opredelenie fraktalnoy razmernosti na osnove analiza [zobrazheniy] [Fractal Dimension Determination Based on Image Analysis],» *Journal of Physical Chemistry*, vol. 73, no. 2, pp. 162-166, 1999.
- [8] A. G. Bronevych, A. N. Karkishchenko and A. E. Lepskiy, *Analiz neopredelennosti vyideleniya informativnykh priznakov i predstavleniy izobrazheniy [Analysis of the uncertainty in the allocation of informative features and image representations]*, Moscow: Litres, 2017. **ISBN:** 9785457965034
- [9] D. V. Sivukhin, *Obschiy kurs fiziki. Tom IV. Optika [General course of physics. Volume IV. Optics]*, 3rd ed., vol. 4, Moscow: Fizmatlit, 2006, p. 792. **ISBN:** 5-9221-0228-1
- [10] A. M. Trakhtman and V. A. Trakhtman, *Osnovy teorii diskretnykh signalov na konechnykh intervalakh [The basics of theory of discrete signals on finite intervals]*, Moscow: Soviet Radio, 1975. **ISBN:** 9785458381345
- [11] V. Ya. Zhuikov, T. A. Tereshchenko and Yu. S. Petergerya, *Simmichnoye preobrazovanie na konechnykh intervalakh [Symmetric transformation on finite intervals]*, Kyiv: Avers, 2000, p. 217. **ISBN:** [9789669529749](https://doi.org/9789669529749)





УДК 621.314

# Оценка фрактальной размерности и передаточной функции облаков

Осипенко К. С., к.т.н., ORCID [0000-0002-6674-8332](https://orcid.org/0000-0002-6674-8332)

e-mail [ekateryna.osypenko@gmail.com](mailto:ekateryna.osypenko@gmail.com)

Кафедра Промышленной Электроники, Факультет Электроники,  
Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» [kpi.ua](http://kpi.ua)

Киев, Украина

Жуйков В. Я., д.т.н., проф., ORCID [0000-0002-3338-2426](https://orcid.org/0000-0002-3338-2426)

e-mail [valery.zhuikov@gmail.com](mailto:valery.zhuikov@gmail.com)

Факультет Электроники

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» [kpi.ua](http://kpi.ua)

Киев, Украина

*Реферат*—В приведенной статье предложена методика нахождения фрактальной размерности проекции области облачного покрова на участок солнечной электростанции и передаточной функции облака, которая является эквивалентом ее виртуальной плотности. Приведена формула для расчета фрактальной размерности проекции области облачного покрова на отдельные участки солнечной электростанции. Для определения состояния ячейки в зависимости от величины интенсивности солнечного излучения при наличии дымки использована S-образная кривая. Приведены формулы для определения изображения и оригинала передаточной функции облака, а также формулы дискретного преобразования Виленкина-Крестенсона и симметричного преобразования на конечных интервалах для определения виртуальной плотности облака. Показано, что знание фрактальной размерности проекции области облачного покрова на участок солнечной электростанции и передаточной функции облака можно использовать для определения участков солнечной электростанции с самоподобными свойствами.

Библ. 11, рис. 2.

*Ключевые слова* – солнечная электростанция; отбор максимальной энергии; фрактальная размерность; S-образная кривая; преобразование Виленкина-Крестенсона; симметричное преобразование на конечных интервалах.

UDC621.314

## The evaluation of fractal dimension and transfer function of the clouds

K. S. Osypenko, PhD, ORCID [0000-0002-6674-8332](https://orcid.org/0000-0002-6674-8332)

e-mail [ekateryna.osypenko@gmail.com](mailto:ekateryna.osypenko@gmail.com)

Department of Industrial Electronics, Faculty of Electronics,

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” [kpi.ua](http://kpi.ua)

Kyiv, Ukraine

V. Ya. Zhuikov, Dr.Sc.(Eng), Prof., ORCID [0000-0002-3338-2426](https://orcid.org/0000-0002-3338-2426)

e-mail [valery.zhuikov@gmail.com](mailto:valery.zhuikov@gmail.com)



Faculty of Electronics

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” [kpi.ua](http://kpi.ua)  
Kyiv, Ukraine

**Abstract**—In the presented paper data on installed capacity of renewable energy in Ukraine is given. The application of Heisenberg's uncertainty principle leads to the necessity of implementation of two-channel control on the basic interval to ensure maximum efficiency of the solar power stations. When implementing the solar power plants control it is necessary to evaluate the physical parameters of the environment, such as: humidity and temperature; presence of clouds, the direction and speed of their movement, the complexity of the surface of clouds and their density. In the presented paper on the example of cumulus clouds two of the set of physical parameters that characterize the state of the cloud cover are evaluated. The case when the linear velocity of the clouds is much greater than the velocity of the sun, which is defined by its angular displacement, is investigated. On some interval the position of the sun is remain fixed while the clouds and their projections are moving. When the cloud passes over the solar power station part of the solar panels generates more energy and part of the panels generates less. This indicates the possibility of using the concept of fractal dimension. The formula for fractal dimension calculation is given. It is shown that the values of the fractal dimension of the projection of the cloud cover area on the solar power station section depend on two factors. First, the total average value of the solar radiation intensity that passes between the clouds. Secondly, the selected value of the difference between the radiation intensity before and after the cloud. In order to determine whether the solar panel cell is shaded with the presence of haze the S curve is used. It allows determining the cell's state depending on the solar radiation intensity. If the value of the solar radiation intensity is less than a certain threshold, the cell is considered shaded. Otherwise it is considered not shaded. The formulas for determining the image and the original of cloud transfer function are given. Since solar panels consist of separate cells it is expedient to provide the calculations for discrete values. It is shown that in order to determine the virtual cloud density the two-dimensional discrete Vilenkin-Krestenson transformation with a finite argument can be used. Comparing to discrete Fourier transformation it operates with a significantly smaller number of values of the basic functions. The formulas for direct and reverse Vilenkin-Krestenson transformation are given. Matrix form for basic functions is represented. If the information about direction of the cloud motion is not significant it is advisable to use a symmetric transformation on finite intervals. Basic functions for symmetric transformation on finite intervals are presented. Knowing the transfer function of the cloud and fractal dimension of the projection of the cloud cover area on the solar power station section allows finding the sections with self-similar properties.

Ref. 11, fig. 2.

**Keywords** - solar power station; maximum power point tracking; fractal dimension; S-curve; Vilenkin-Krestenson transformation; symmetric transformation on finite intervals.

