УДК 620.92+621.31:519.24

ДЕТЕРМІНОВАНО-СТОХАСТИЧНІ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НОРМОВАНОЇ ЦІНИ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

В.О. Костюк, канд. техн. наук
Інститут загальної енергетики НАН України,
вул. Антоновича, 172, Київ, 03680, Україна
e-mail: vasyl.kostyuk@ienergy.kiev.ua

Розглянуто практичні аспекти застосування ймовірнісних методів для розрахунку оцінок техніко-економічних показників електрогенерувальних устав з відновлюваними джерелами енергії. Невизначеність прогнозних технічних і вартісних оцінок показників за проектом спорудження сонячної фотоелектричної станції (СФЕС) в Україні, яку пов'язують із використанням традиційного детермінованого підходу, запропоновано знизити шляхом програмно-аналітичного врахування мінливих технологічних і економічних показників через параметри керованого розподілу їх випадкових значень у структурі детерміновано-стохастичних економіко-математичних розрахункових моделей. Наведено приклади розв'язання задач для СФЕС методами Монте-Карло (MCSim) й точкового оцінювання (PEsM). Бібл. 8, рисунок, табл. 3.
Ключові слова: відновлювані джерела енергії, розрахунок нормованої ціни, життєвий цикл, фотоелектрична станція, детерміновано-стохастична модель, ймовірнісні методи, дисперсійний аналіз.

У дослідженнях [5, 8] техніко-економічних показників енергопостачальних систем з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) застосовано розрахункові моделі за схемою визначення *нормованої* ціни виробництва енергії (фактично середньозваженої собівартості – *Levelised Energy Cost*; для позначення й артикуляції вживають акронім *LEC,* також *LCOE – Levelised Cost of Electricity*). Складніші балансові моделі енергетичних систем розглянуто у монографіях [2, 6].

Мета цієї роботи – продемонструвати можливості вживаних ймовірнісних методів, придатних для обчислення уточнених оцінок обсягів, собівартості електрогенерування й цін на вироблену електроенергію за умов застосування шкали «зелених тарифів», встановлених в Україні для сонячних фотоелектричних станцій середньої потужності зокрема.

Детерміновано-стохастичні економіко-математичні моделі життєвого циклу із використанням ймовірнісних методів. Ймовірнісні методи слушно пов'язують з методологічною основою стохастичного факторного аналізу, зокрема дисперсійного й кореляційного аналізу [1, 3]. За цією методологією побудова моделі зводиться до запису функції *n* випадкових значень розрахункових параметричних змінних (параметрів) $y_m = f(X)$, причому X – вектор, що містить мінливі (слабко обумовлені) параметри у вигляді множини: $X = \{x_1, x_2, ... x_n\}$, а функція щільності розподілу (у подальшому – *PDF – Probability Density Function*) для вектора X є відомою.

Функція y_m може бути задана неявно, наприклад реалізована шляхом структурованих записів у табличному процесорі з метою подальших аналітичних досліджень, наприклад, методом дисперсійного аналізу. В загальному випадку функція y_m є векторною, і тоді шуканий вектор змінних Y_m є таким, що містить довільне число компонент – розрахункових змінних детерміновано-стохастичної моделі (ДСМ): $Y_m = \{y_1, y_2, ... y_m\}$.

Задача полягає у знаходженні функцій *PDF* для y_m або обмежується обчисленнями стандартних параметрів розподілу, якщо кількість ітерацій є достатньо великою відповідно до закону великих чисел [1]. Шукані компоненти функції y_m визначимо у вигляді оцінок *дійсної* нормованої собівартості для всіх періодів *життєвого циклу* генерувальної устави. У такому разі вираз для експлуатаційних витрат $C_t^{O\&M}$ у структурі витратних компонент PV_{cost} запишемо у дійсній вартості грошей на дату приведення всіх грошових потоків, тобто «очищеними» від дії фактора цінової ескалації (у подальшому – «інфляції») $i \neq 0$, %. Відповідно номінальні прогнозні значення компонент $C_t^{O\&M}$ записують через їх дійсні прогнозні значення у t-му році експлуатації, застосувавши множник $(1+i)^t$:

$$PV_{\cos t} = C^{cap} + \sum_t^n C_t^{O\&M} \left[\frac{1+i}{1+R} \right]^t = C^{cap} + \sum_t^n \frac{C_t^{O\&M}}{(1+r)^t}, \tag{1}$$

де R – номінальний дисконт (або середня вартість банківського капіталу), % ; r – дійсна ставка дисконту, % (розрахункове значення, яке не спостерігається на ринку капіталів); C^{cap} – загальна сума капітальних витрат на проектування, будівництво й монтаж об'єкта, з урахуванням обслуговування заборгованості за користування банківською позикою. Нормовану ціну визначають за виразом

$$L_{COE} = PV_{cost} \Big/ 8760 \cdot GW \cdot \sum_t^n \frac{C_{ft}}{(1+r)^t} \tag{2}$$

для номінального значення потужності GW енергоустави і розрахункових значень коефіцієнта використання встановленої потужності C_{ft} (КВВП) для кожного планового року t.

Метод Монте-Карло (*Monte Carlo Simulation*, у подальшому – *MCSim*). Для спрощення викладу обмежимося розглядом одновимірної функції $y_m = y$. Розрахунковий покроковий процес за цим методом зводиться до обчислення очікуваного значення Y як середнього (математичного очікування), також середньоквадратичного відхилення значень функції y для кожної завершеної ітерації з номером $k = \overline{1, L}$:

$$Y = \{ y_k | k = 1,2,... \},\ M(y) = (1/k)\sum_k y_k\ ,\ \sigma(y) = M(Y^2) - M^2(Y). \tag{3}$$

Критерієм завершення ітераційного процесу пошуку для задач цього дослідження є задана кількість L ітерацій стохастичного процесу (число розрахункових значень $y_k, k = \overline{1, L}$).

В якості компонент вектора розрахункових змінних детерміновано-стохастичної моделі, СФЕС обираємо значення цінових оцінок за схемою нормованої ціни: собівартості, обчислені з врахуванням особливостей структури обліку нормованих витрат, а також тарифної ціни на вироблену електроенергію СФЕС.

Метод Монте-Карло підтримує будь-які форми функцій щільності розподілу *PDF* параметрів моделі, і ця властивість є однією з його вагомих переваг, адже фізико-технічні параметри енергоустав на основі ВДЕ можуть набувати випадкових значень, розподілених довільно. В інженерній практиці найчастіше описують статистичні властивості техніко-економічних показників з використанням *несиметричних* розподілів: із «трикутною» формою функції щільності розподілу і/або з несиметричною формою функції щільності типу *PERT*-розподілу (версія Бета-розподілу [7]).

Значення ймовірності реалізації випадкового значення параметра моделі з несиметричною формою одновимірної функції щільності отримаємо, застосовуючи *метод зворотного перетворення*. Відомо, що для двох довільних розподілів імовірності справедливим є співвідношення

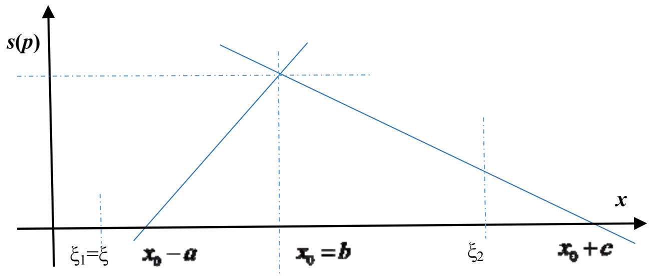
$$\xi_2 = \Pi_2^{-1}(\Pi_1(\xi_1)), \tag{4}$$

де $\Pi_1(\xi_1)$ – відомий закон розподілу випадкового значення ξ_1; $\Pi_2^{-1}(p)$ – функція, обернена до $\Pi_2(\xi_2)$; p – ймовірність набуття параметром випадкового значення ξ. У разі, якщо перший (відомий) закон розподілу є *рівномірним*, тобто $\Pi_1(\xi) = \xi \ \ \forall\, \xi \in [0, 1]$, отримаємо

$$\xi_2 = \Pi_2^{-1}(\xi). \tag{5}$$

Тут функція $\Pi_2^{-1}(\xi)$ є такою, що $\Pi_2^{-1}(\Pi_2(\xi)) = \xi$.

Зокрема, для параметра x з «трикутною» формою *PDF*-функції (див. рисунок, де несиметричну *PDF*-форму щільності утворено двома прямими лініями, які формують вершину *PDF*-функції для найбільш очікуваного значення x_0) за цим методом знайдемо значення його ймовірності $s_\Delta(p)$ через ймовірність його рівномірного розподілу $p \in [0, 1]$ за такими виразами:



$$s_{\Delta}(p)=\begin{cases}\sqrt{\dfrac{1}{1+c/a}\cdot p} & \forall p\in[0,\,z_0];\\[2ex] 1-\sqrt{\dfrac{c/a}{1+c/a}\cdot(1-p)} & \forall p\in[\,z_0,1].\end{cases} \qquad (6)$$

Відповідно до позначень, прийнятих на рисунку для параметра *x*, випадкові значення якого описуються *PERT*-розподілом (його несиметричну функцію щільності *PDF* утворено двома відтинками кривих нормального розподілу з різними параметрами, що визначаються в процесі зворотного перетворення), для всіх дійсних значень $a\ge 0,\, a<b\le c$ отримаємо ймовірності $s_{PERT}(p)$ у вигляді

$$s_{PERT}(p)=\begin{cases}\dfrac{1+\dfrac{1}{3}\cdot\Phi^{*-1}\left(1+\tilde{p}-\Phi^{*}(3)\right)}{(1+c/a)} & \forall p\in[0,\,z_0];\\[4ex] \dfrac{1+\dfrac{1}{3}\cdot c/a\cdot\Phi^{*-1}\left[\dfrac{1}{2}+\dfrac{1}{c/a}\cdot\left(\tilde{p}-\left(\Phi^{*}(3)-\dfrac{1}{2}\right)\right)\right]}{(1+c/a)} & \forall p\in[\,z_0,1],\end{cases} \qquad (7)$$

де $\Phi^{*}(x)=\dfrac{1}{\sqrt{2\pi}}\int\limits_{-\infty}^{x}e^{-\frac{\xi^2}{2}}d\xi$ – функція Лапласа з відомими властивостями [1]; $\tilde{p}=\dfrac{p}{2}(1+c/a)$. Справедливість записаних співвідношень нескладно перевірити, наприклад, для значення $p=z_0=z(x_0)=a/(c+a)$, яке визначають з виразу для обчислення випадкових значень параметра *x* через рівномірно розподілене випадкове *z*: $x(z)=(x_0-a)+(c+a)z$, $\forall z=[0,1]$.

Метод точкового оцінювання. В спеціальній літературі відомий як *Point Estimate Method* (у подальшому – *PEsM*). Метод *PEsM* дає змогу отримати розрахункові значення середнього значення $M(y)$ та середнього квадрата $M(y^2)$ невідомої змінної *y* шляхом адитивної процедури за $2n$ кроків і є реалізацією методу моментів, запропонованого К. Пірсоном [3].

Метод точкового оцінювання формалізують з використанням записів для областей імовірних значень $\gamma_{\zeta i}$ та ймовірних концентрацій $\pi_{\zeta i}$ з використанням значень третього моменту $M_3(x_\zeta)$ для кожного невизначеного параметра x_ζ, причому i=1,2. Алгоритм розрахунків є таким:

Крок 1. Початкові умови: $M(y)=M(y^2)=0$, $\zeta=1$, причому $\zeta=\overline{1,n}$.

Крок 2. Визначити області імовірних значень $\gamma_{\zeta,i}$ та ймовірних концентрацій $\pi_{\zeta,i}$:

$$\gamma_{\zeta,i}=\frac{M_3(x_\zeta)}{2\sigma^3_{x_\zeta}}+(-1)^{i+1}\sqrt{n+\frac{1}{2}\left(\frac{M_3(x_\zeta)}{2\sigma^3_{x_\zeta}}\right)^2};\quad \pi_{\zeta,i}=(-1)^i\frac{\gamma_{\zeta,3-i}}{2n\sqrt{n+\frac{1}{2}\left(\frac{M_3(x_\zeta)}{2\sigma^3_{x_\zeta}}\right)^2}}, \qquad (8)$$

де $M_3(x_\zeta)$ – момент третього порядку параметра x_ζ.

Крок 3. Визначити множину точок концентрації $x_{\zeta,i}$ за виразом

$$x_{\zeta,i}=\mu_{x_\zeta}+\gamma_{\zeta,i}\cdot\sigma_{x_\zeta},\; i=1{,}2, \qquad (9)$$

де μ_{x_ζ} і σ_{x_ζ} – задані середнє значення й стандартне середньоквадратичне відхилення параметра x_ζ відповідно; причому для більшості реальних фізичних систем варіації компонент вектора параметрів $X=\{x_1,x_2,\ldots x_{\zeta,i},\ldots x_n\}$, $i=1{,}2$ мають бути невід'ємними: $x_{\zeta,i}\ge 0$.

Крок 4. Розрахувати математичні очікування $M(y)$ і $M(y^2)$ за виразами

$$M(y) = M(y) + \sum_{i=1}^{2} \pi_{\zeta,i} f\left(x_1, x_2, \ldots x_{\zeta,i}, \ldots x_n\right); \quad (10)$$

$$M(y^2) = M(y^2) + \sum_{i=1}^{2} \pi_{\zeta,i} \cdot f^2\left(x_1, x_2, \ldots x_{\zeta,i}, \ldots x_n\right). \quad (11)$$

Крок 5. Змінити номер невизначеного параметра $\zeta = \zeta + 1$; якщо $\zeta < n$, повернутись до кроку 2, інакше продовжити і перейти до кроку 6.

Крок 6. Розрахувати середнє значення змінної y та її середньоквадратичне відхилення:

$$\mu_y = M(y); \quad \sigma_y = \sqrt{M(y^2) - M^2(y)}. \quad (12)$$

Алгебраїчні вирази для обчислення моментів несиметричного розподілу «трикутної» форми, придатні для обчислень за методом *PEsM*, наведено у табл. 1. Записи отримані аналітично для функції щільності розподілу *PDF* несиметричного розподілу випадкового параметра, зображеної на рисунку, шляхом обчислення визначених інтегралів [1] з використанням прийнятих позначень, причому покладено x_0=b.

Таблиця 1

Параметр розподілу з «трикутною» формою *PDF*	Аналітичний вираз для обчислень, записаний у термінах позначень, ужитих на рисунку
Перший момент	$M_1(x) = \mu_x = 1/3\left(a + b + c\right)$
Другий момент	$M_2(x) = 1/6\left(a^2 + b^2 + c^2 + ab + bc + ac\right)$
Дисперсія	$D(x) = M_2(x) - \mu_x{}^2 = \sigma_x^2 = 1/18\left(a^2 + b^2 + c^2 - ab - bc - ac\right)$
Третій момент	$M_3(x) = 1/10\left[a^3 + b^3 + c^3 + a^2(b+c) + b^2(a+c) - c^2(a+b) + abc\right]$

Співставні результати імітаційного моделювання техніко-економічних показників СФЕС, виконаного методами *MCSim* і *PEsM*. Вірогідні інтервали числових значень деяких мінливих параметрів ДСМ СФЕС, обрані для отримання співставних результатів моделювання ймовірнісними методами, наведено у табл. 2. Розв'язки моделі за методом точкового оцінювання *PEsM* отримано для експериментальних наборів даних, для чого вхідні параметри у серіях співставних розрахунків були розподіленими: а) рівномірно і б) за нормальним законом $N = \left[\mu_{x_\zeta}, \sigma_{x_\zeta}\right]$, $\zeta = \overline{1, n}$; для обох випадків загальне число вхідних параметрів моделі, що змінюються незалежно, становить $n = 23$ [4]. Несиметричні властивості розподілів статистичних і прогнозних значень чотирьох «керованих» мінливих параметрів, включно номінальної ставки дисконтування R , описано з допомогою *PDF*-функцій «трикутної» форми (див. рисунок).

Фактично результати розрахункових експериментів демонструють можливості застосованих у цьому дослідженні ймовірнісних методів щодо точності розрахункових даних, отриманих за допомогою побудованих економіко-математичних ДСМ для дисперсного й глибшого, кореляційного аналізу. Варіанти експериментальних розрахунків за моделлю СФЕС із варіацією 23-х параметрів, випадкові значення яких змінюються незалежно (є некорельованими), описані у табл. 3. Дані для методу Монте-Карло *MCSim* наведено для випадку 10 тис. ітерацій стохастичного процесу. Проміжний розрахунок за детермінованою моделлю виконано для фіксованих центральних значень обраних інтервалів варіації мінливих параметрів ДСМ: цей набір даних є основою для співставлення розрахункових оцінок стохастичних змінних у першому наближенні.

Висновки. Отримані результати імітаційного моделювання свідчать про принципову можливість отримувати вірогідні середньозважені цінові показники проектованих електрогенерувальних устав з ВДЕ за методами *MCSim* та *PEsM* на основі детерміновано-стохастичних моделей у разі застосування аналітичних записів функцій щільності *PDF* для будь-яких розподілів мінливих технологічних і економічних параметрів ДСМ. Застосування таких економіко-математичних ДСМ у поєднанні з бажаними методами амортизації основних засобів суттєво підвищує точність розрахункових цінових оцінок енергетичних об'єктів порівняно з записами моделей детермінованого типу. Коригування цінових показників для

Таблиця 2

Для СФЕУ, змонтованих на даху, та СФЕС відкритого типу	Одиниця виміру	Значення, діапазон	
		Мін.	Макс.
Встановлена пікова потужність СФЕУ та/або СФЕС	МВт$_{пік}$	1,1	2,0
Питомі капіталовкладення	kEUR/ МВт$_{пік}$	1,30	1,60
Термін експлуатації (тривалість «життєвого циклу»)	років	15	20
Коефіцієнт корисної дії сонячних модулів (ККД СФЕМ)	%	13	19
Деградація СФЕМ (щорічне зменшення обсягу генерації)	%	0,1	0,21
Частка умовно-змінних експлуатаційних витрат від вартості об'єкта (без врахування заробітної плати)	% / від вартості проекту	0,8	1,6
Збільшення умовно-змінних витрат з часом	% / рік	2,0	3,0
Питомі умовно-постійні експлуатаційні витрати	EUR/кВт	8,0	16,0
Дисконт номінальний	%	10,0	18,0
Інфляція (цінова ескалація)	%	7,0	10,0

Таблиця 3

Варіанти організації розрахункового експерименту показників СФЕУ		Розрахункові значення змінних моделі СФЕС 1,1 – 2,0 МВт$_{пік}$, змонтованої на даху							
		Собівартість виробленої електроенергії: очікуване середнє ***M(y)***, EUR/МВт·год; коефіцієнт варіації ***v(y)= σ(y)/ M(y)***, %						Середня ціна електроенергії, EUR/МВт·год	
		Середня _MODEL		Середня _UNIFORM		Середньозважена _ANNUITY		Збут за «зеленим тарифом»	
		$M(y_1)$	$v(y_1)$	$M(y_2)$	$v(y_2)$	$M(y_3)$	$v(y_3)$	$M(y_4)$	$v(y_4)$
Для центральних значень вхідних параметрів (детермінована модель): μ_{x_ζ}, $\zeta = 1, 2, \ldots 23$		106,06	0,0	110,67	0,0	161,69	0,0	229,16	0,0
Для рівномірно розподілених параметрів моделі, n =23	***MCSim***	105,99	19,93	110,83	20,63	169,07	16,16	228,38	15,11
	PEsM	107,37	20,96	112,60	21,28	161,22	18,33	231,90	13,87
Для нормально розподілених параметрів моделі, n =23	***MCSim***	104,70	17,90	110,34	18,52	167,43	13,78	228,11	15,11
	PEsM	106,81	18,80	112,02	18,95	161,11	16,34	231,22	12,88

випадку моделі гіпотетичної СФЕС середньої потужності сягає 10 %; похибки оцінювання суттєво зменшуються за умови визначення і врахування характеристик розподілу (*PDF*) вхідних параметрів розрахункової моделі.

Остаточні висновки щодо адекватності досліджених ДСМ слід сформулювати на підставі глибших результатів кореляційного аналізу, отриманих шляхом врахування взаємозалежностей технологічних та економічних параметрів детерміновано-стохастичної моделі.

1. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 6-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.
2. *Добровольський В.К., Стогній О.В., Костюк В.О., Каплін М.І.* Економіко-математичне моделювання енергетичних систем / Інститут загальної енергетики НАН України. – К.: Наук. думка. – 2013. – 250 с.
3. *Крамер Г.* Математические методы статистики. – М.: Мир, 1975. – 648 с.
4. *Костюк В.О.* Модифіковані схеми розрахунку нормованої ціни виробництва в задачах детерміновано-стохастичного моделювання нових електрогенерувальних об'єктів // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2015. – № 2. – С. 64–77.
5. *Костюк В.О., Шульженко С.В., Охріменко І.А.* Техніко-економічні оцінки виробництва електроенергії фотоелектричними станціями і проблема валоризації відновлюваних джерел енергії в Україні // Техн. електродинаміка. – 2014. – № 5. – С. 59–61.
6. *Подолець Р.З., Дячук О.А.* Стратегічне планування у паливно-енергетичному комплексі на базі моделі «TIMES-Україна": Наук. доп. – К.: Ін-т економіки та прогнозування НАН України, 2011. – 150 с.

7. *Pert distribution.* EPIX Analitics – ModelAssist for Crystal Ball. [Електронний ресурс].– Режим доступу: http://www.epixanalytics.com/modelassist/CrystalBall/Model_Assist.htm#Distributions/Continuous_distributions/PERT_%28Beta%29.htm . – Назва з титул. екрану.
8. *Schroder A. et al*. Current and Prospective Cost of Electricity Generation until 2050 / Deutsches Institut fur Wirtschftsforschung. – Berlin: DIW, 2013. – 94 p.

УДК 620.92+621.31:519.24
В.О. Костюк, канд. техн. наук
Институт общей энергетики НАН Украины,
ул. Антоновича, 172, Киев, 03680, Украина
Детерминированно-стохастические модели объектов электрической генерации для расчета нормируемых цен производства электроэнергии
Рассмотрены практические аспекты применения вероятностных методов для расчета оценок технико-экономических показателей электрогенерирующих установок с возобновляемыми источниками энергии. Неопределенность прогнозных стоимостных оценок проектных показателей сооружаемой солнечно-фотоэлектрической станции (СФЭС) в Украине, которую связывают с использованием классического детерминированного подхода, предлагается снизить путем программно-аналитического учета меняющихся технологических и экономических показателей посредством параметров управляемого распределения их случайных значений в структуре детерминированно-стохастических экономико-математических расчетных моделей. Даны примеры решения задач для СФЭС методами Монте-Карло (MCSim) и точечного оценивания (PEsM). Библ. 8, рисунок, табл. 3.
Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, расчет нормированной цены, жизненный цикл, фотоэлектрическая станция, детерминированно-стохастическая модель, вероятностные методы, дисперсионный анализ.

V. Kostiuk
Institute of General Energy of NAS of Ukraine,
172, Antonovycha str., Kyiv, 03680, Ukraine
Deterministic and stochastic models of electrical power utiltity applicable for computation of levelized electricity prices
Practical aspects of feasibility assessment problem are considered, basing on the levelized energy cost concept (LCOE) for newly commissioned renewable power plants to be operated under the Ukrainian law. An uncertain modeling data, either technical or cost estimates, relevant for the site with solar-photovoltaic plant (PVPP) in Ukraine will essentially influence the decision making process when classical deterministic approach is applied traditionally. To deal with uncertainties the use of value's distribution control for certain technical and economic parameters is proposed as to be introduced seamlessly within the structure of deterministic and stochastic mathematical model. Computed problem solutions by means of Monte Carlo Simulation (MCSim) and Point Estimation Method (PEsM) are presented for the typical PVPP cases. Obtained numerical results are applicable for variance analysis whilst the stochastic models should be enhanced and deployed to find feasible and optimal solutions for complex distributed generation systems (DGS). References 8, figure, tables 3.
Key words: renewable energy, levelized energy cost computation, life cycle, deterministic and stochastic model, probabilistic methods, variance analysis.

Надійшла 7.07.2015
Received 7.07.2015

УДК 621.311

ОКРЕМІ ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ МІСЦЬ ВСТАНОВЛЕННЯ ТА ПОТУЖНОСТІ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

І.С. Гончаренко, асп.
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна
e-mail: devilhanterxl@gmail.com

Впровадження розосередженої генерації (РГ) в електричні мережі обумовлено суттєвими перевагами цих установок над традиційними електростанціями. Але поряд з багатьма перевагами виникає ціла низка проблем, значну частину яких можна вирішити, виконавши оптимальне розміщення джерел розосередженої генерації в електричних мережах. У статті [3] розроблено метод розв'язання задачі визначення оптимальних місць встановлення та потужності розосередженої генерації в електричних мережах з використанням статистичних випробувань Монте-Карло, який враховує особливості електричних мереж України. Цю статтю присвяче-