

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АНАЛІЗУ ЧУТЛИВОСТІ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПРОЕКТУ ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Б.Г. Тучинський, канд. екон. наук, ст. наук. співроб., **С.О. Кудря**, чл.-кор. НАН України, докт. техн. наук, проф.,
В.А. Точений, канд. техн. наук, **І.В. Іванченко**

Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
02094, вул. Гната Хоткевича, 20А, м. Київ, Україна.

Важливим розділом інвестиційних розрахунків є аналіз чутливості, який дозволяє упорядкувати вихідні параметри проекту за впливом їх змін на зміни показників ефективності проекту. Загальноживаним інструментом аналізу чутливості є spider-діаграма – сукупність графіків в спільній системі координат. Цей метод аналізу чутливості є суто графічним. Він надає наочне уявлення про наближену якісну картину чутливості, залишаючи дослідників без відповідних кількісних оцінок і аналітичних конструкцій. В даній статті проблема аналізу чутливості інвестиційного проекту ВЕС вирішується шляхом побудови і дослідження відповідної економіко-математичної моделі. Модель складається з системи рівнянь, що відображає прямі і опосередковані зв'язки між початковими параметрами і показниками інвестиційного проекту ВЕС. Далі, система рівнянь згортається до функції всіх представлених параметрів, до якої застосовуються формули розрахунку коефіцієнтів еластичності. В статті представлено формули розрахунку параметрів математичної моделі коефіцієнтів еластичності чистої приведеної вартості інвестиційного проекту ВЕС і подано результати розрахунків коефіцієнтів еластичності інвестиційного проекту ВЕС. Наявність в явній формі розв'язку економіко-математичної моделі дозволило отримати явні формули для коефіцієнтів еластичності і виконати всебічне математичне дослідження проблеми. Аналіз результатів експериментальних розрахунків коефіцієнтів еластичності показав, що економічна ефективність інвестиційного проекту ВЕС найбільш чутлива до змін КВВП і тарифу на електроенергію ВЕС, а зі збільшенням норми дисконтування грошових потоків чутливість проекту до зміни первісних параметрів збільшується (за абсолютним значенням). Представлені результати розрахунків продемонстрували ефективність застосування коефіцієнтів еластичності як для класичного, так і для нестандартного аналізу чутливості інвестиційних проектів ВЕС.

Бібл. 6, табл. 5, рис. 3.

Ключові слова: аналіз чутливості, інвестиційний проект ВЕС, чиста приведена вартість, коефіцієнти еластичності, економічна ефективність.

MATHEMATICAL MODEL OF SENSITIVITY ANALYSIS OF ECONOMIC EFFICIENCY OF WIND POWER PLANT INVESTMENT PROJECT

B. Turchynskyi, candidate of economic sciences, senior researcher, **S. Kudrya**, corresponding member of NAS, doctor of technical sciences, professor, **V. Tochenyi**, candidate of technical sciences, **I. Ivanchenko**

Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine,
02094, 20A Hnata Khotkevycha St., Kyiv, Ukraine.

Important section of investment calculations is the sensitivity analysis, which allows you to put in order the initial parameters of the project according to the impact of their changes on changes in project effectiveness. A commonly used tool for sensitivity analysis is a spider chart – a set of graphs in a common coordinate system. This method of sensitivity analysis is purely graphical. It provides a clear idea of the approximate qualitative picture of sensitivity, leaving researchers without appropriate quantitative assessments and analytical constructions. In this article, the problem of sensitivity analysis of the wind farm investment project is solved by building and studying an appropriate economic and mathematical model. The model consists of a system of equations that reflects the direct and indirect relationships between the initial parameters and indicators of the wind farm investment project. Next, the system of equations is reduced to the function of all the presented parameters, to which the formulas for calculating the coefficients of elasticity are applied. The article presents the formulas for calculating the parameters of the mathematical model of the coefficients of elasticity of the net present value of the wind farm investment project and presents the results of calculations of the elasticity coefficients of the wind farm investment project. The existence of an explicit solution of the economic-mathematical model allowed to obtain explicit formulas for the coefficients of elasticity and to perform a comprehensive mathematical study of the problem. Analysis of the results of experimental calculations of elasticity coefficients showed that the economic efficiency of the wind farm investment project is most sensitive to changes Capacity factor and electricity tariffs of wind farms, and with increasing cash flow discount rate the sensitivity of the project to changes in initial parameters increases (in absolute terms). The presented results of calculations demonstrated the effectiveness of the application of elasticity coefficients for both classical and non-standard sensitivity analysis of wind farm investment projects. References 6, tables 5, fig. 3.

Keywords: sensitivity analysis, wind farm investment project, net present value, elasticity coefficients, economic efficiency.



Б.Г. Тучинський
B. Tychynskiy

Відомості про автора: старший науковий співробітник відділу вітроенергетики Інституту відновлюваної енергетики НАН України, старший науковий співробітник, кандидат економічних наук.

Освіта: Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, механіко-математичний факультет.

Наукова сфера: прикладна математика, обчислювальні методи в математиці, математична статистика, математичні моделі і методи в економіці, інвестиційний аналіз, вітроенергетика.

Публікації: 117.

ORCID: 0000-0002-5180-6886

Контакти: тел./факс: +38(044)206-28-09

e-mail: bortu77@yahoo.com

Author information: senior researcher at wind energy department at Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine, senior researcher, candidate of economic sciences.

Education: Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Mechanics and Mathematics.

Research area: applied mathematics, computational methods in mathematics, mathematical statistics, mathematical models and methods in economics, investment analysis, wind power.

Publications: 117.

ORCID: 0000-0002-5180-6886

Contacts: tel./fax: +38(044)206-28-09

e-mail: bortu77@yahoo.com



С.О. Кудря
S. Kudria

Відомості про автора: директор Інституту відновлюваної енергетики НАН України, член-кореспондент НАН України, професор, доктор технічних наук.

Освіта: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», хіміко-технологічний факультет.

Наукова сфера: відновлювані джерела енергії, акумулювання енергії, енергоефективні технології, воднева енергетика.

Публікації: 370.

ORCID: 0000-0002-4798-6853

Контакти: тел./факс: +38(044)206-28-09

e-mail: renewable@ukr.net

Author information: director of the Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine, Corresponding Member of NAS of Ukraine, professor, doctor of technical sciences.

Education: National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Faculty of Chemical Technology.

Research area: renewable energy sources, energy storage, energy efficient technologies, hydrogen energy.

Publications: 370.

ORCID: 0000-0002-4798-6853

Contacts: tel./fax: +38(044)206-28-09

e-mail: renewable@ukr.net



В.А. Точеній
V. Tocheniy

Відомості про автора: старший науковий співробітник відділу вітроенергетики Інституту відновлюваної енергетики НАН України, кандидат технічних наук.

Освіта: Національна академія державного управління при Президентові України. Магістр державного управління.

Наукова сфера: довгострокове прогнозування виробітку електроенергії ВЕУ на площадці ВЕС, математичне моделювання аналізу витрат на реалізацію інвестиційного проекту ВЕС.

Публікації: 26.

ORCID: 0000-0003-2811-7836

Контакти: тел./факс: +38(044)206-28-09

e-mail: aa1144ii@gmail.com

Author information: Senior Researcher at wind energy department at Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine, Candidate of Technical Sciences.

Education: National academy for public administration under the President of Ukraine. Master of Public Administration.

Research area: long-term prediction of wind power generation at the wind farm site, mathematical modeling analysis of the costs of the investment project wind farm.

Publications: 26.

ORCID: 0000-0003-2811-7836

Contacts: tel./fax: +38(044)206-28-09

e-mail: aa1144ii@gmail.com



I. V. Іванченко
I. Ivanchenko

Відомості про автора: головний технолог відділу вітроенергетики Інституту відновлюваної енергетики НАН України.

Освіта: Київський національний університет технологій та дизайну, інженерно-економічний факультет.

Область наукових інтересів: вітроенергетика, оцінка вітроенергетичного потенціалу, економічна ефективність інвестицій в будівництво вітрових електростанцій.

Публікації: 30.

ORCID: 0000-0002-5083-4180

Контакти:

тел./факс: +38 (044) 206-28-09

e-mail: mntcwind@gmail.com

Author information: chief technologist at wind energy department at Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine.

Education: Kiev National University of Technology and Design, Faculty of Engineering and Economics.

Main research interests: wind energy, assessment of wind energy potential, economic efficiency of investments in the construction of wind power plants.

Publications: 30.

ORCID: 0000-0002-5083-4180

Contacts:

tel./fax: +38 (044) 206-28-09

e-mail: mntcwind@gmail.com

Перелік використаних позначень та скорочень:

ВЕС – вітрова електростанція;

КВВП – коефіцієнт використання встановленої потужності;

NPV – чиста приведена вартість проекту;

МВт – мегават;

кВт – кіловат;

e – коефіцієнт еластичності.

Вступ. Сучасний розвиток вітроенергетики потребує значних обсягів інвестування. В зв'язку з цим виникає необхідність в ретельних інвестиційних розрахунках коштовних вітроенергетичних проектів. Важливим розділом таких розрахунків є так званий аналіз чутливості, який дозволяє упорядкувати вихідні параметри проекту за впливом їх змін на зміни показників ефективності проекту. Загальноживаним інструментом аналізу чутливості є spider-діаграма (павукоподібна діаграма) – сукупність графіків в

спільній системі координат, в якій по осі абсцис відкладається відносне збільшення значення параметра (в % до базового значення), а по осі ординат – відносне збільшення значення показника ефективності. Цей метод аналізу чутливості є суто графічним. Він надає наочне уявлення про наближену якісну картину чутливості, залишаючи дослідників без відповідних кількісних оцінок і аналітичних конструкцій. На рис.1 подано приклад такої діаграми.

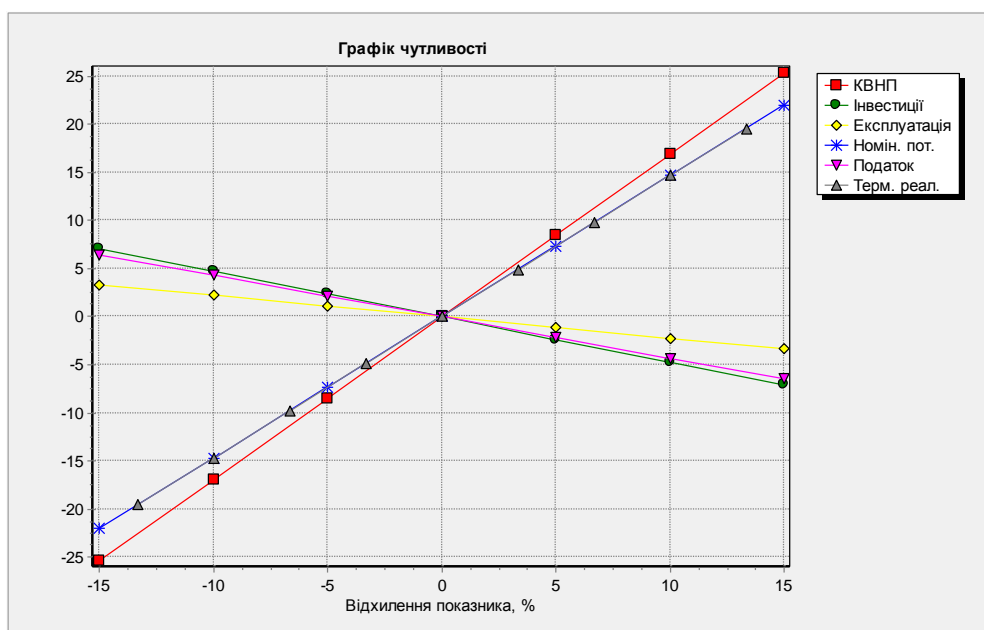


Рис. 1. Приклад spider-діаграми чутливості інвестиційного проекту.

Fig. 1. An example of a spider-diagram of the sensitivity of an investment project.

В той же час, в іншій галузі економічної науки – макроекономіці – давно розроблено і активно використовується інший інструментарій аналізу чутливості – коефіцієнти еластичності [1, 4, 5]. Цей інструментарій забезпечує отримання не лише графічної моделі чутливості, а більш універсальної математичної моделі, з більшими можливостями дослідження проблеми.

В даній статті проблема аналізу чутливості інвестиційного проекту ВЕС вирішується шляхом побудови і дослідження відповідної економіко-математичної моделі. Розроблена модель виходить з наступних припущень:

- кроком розрахунку є один рік;
- вся електроенергія, вироблена вітровою електростанцією, продається на енергоринку;
- енергетичне обладнання ВЕС за термін реалізації проекту не вибуває з експлуатації через фізичне або моральне зношення;
- амортизація нараховується за регресивною схемою;

– щорічний прибуток від продажу електроенергії перевищує нараховану амортизацію;

– зовнішні інвестиції здійснюються лише один раз — перед початком реалізації проекту;

– проект здійснюється без залучення кредитних ресурсів;

– параметри моделі не змінюються протягом терміну реалізації інвестиційного проекту.

Модель складається з системи рівнянь, що відображає прямі і опосередковані зв'язки між початковими параметрами і показниками інвестиційного проекту ВЕС. Далі, система рівнянь згортається до функції всіх представлених параметрів, до якої застосовуються формули розрахунку коефіцієнтів еластичності [4, 6].

Економіко-математична модель інвестиційного проекту ВЕС. Перелік первісних параметрів для оцінки показників ефективності інвестиційного проекту ВЕС представлено в табл. 1.

Таблиця 1. Первісні параметри інвестиційного проекту ВЕС.

Table 1. Initial parameters of the wind farm investment project.

Параметр	Одиниця виміру	Позначення	Значення
Встановлена потужність ВЕС	МВт	P'	100
Питомі інвестиції в проект	€/кВт	i	1250
Коефіцієнт-нетто використання встановленої потужності ВЕС (КВВП)	—	k	0.35
Тариф на електроенергію ВЕС	€/кВт·год	τ	0.10
Термін реалізації проекту	років	T	25
Норматив річних поточних витрат	% від суми інвестицій	ω'	1.5
Ставка податку на прибуток ВЕС	%	g'	18
Норма дисконтування грошових потоків	%	ρ'	7
Коефіцієнт амортизації основних засобів	—	δ	0.124
Кількість годин в році	годин	Y	8760

В табл. 2 подано рівняння відповідної математичної моделі. В описі моделі індекс часу

застосовується лише для показників, які є змінними в часі.

Таблиця 2. Рівняння моделі.
Table 2. Equation of the model.

Показник	Одиниця виміру	Формула розрахунку	№
<i>Блок масштабування параметрів</i>			
Встановлена потужність ВЕС	кВт	$P = 1000P'$.	(1)
Норматив річних поточних витрат	—	$\omega = \frac{\omega'}{100}$.	(2)
Ставка податку на прибуток ВЕС	—	$g = \frac{g'}{100}$.	(3)
Норма дисконтування грошових потоків	—	$\rho = \frac{\rho'}{100}$.	(4)
<i>Блок прибутку бруто</i>			
Сума інвестицій в проект	€	$I = Pi$.	(5)
Річний виробіток електроенергії ВЕС	кВт·год	$E = YkP$.	(6)
Річна виручка від реалізації електроенергії ВЕС	€	$V = \tau E = YkP\tau$.	(7)
Річні поточні витрати	€	$O = \omega I = \omega iP$.	(8)
Річний прибуток до оподаткування	€	$Z = V - O = YkP\tau - \omega iP = P(Yk\tau - \omega i)$.	(9)
<i>Блок прибутку нетто</i>			
Балансова вартість основних фондів ВЕС	€	$B_t = (1 - \delta)^t I$.	(10)
Амортизація (за регресивною схемою)	€	$D_t = \delta(1 - \delta)^{t-1} I = \delta(1 - \delta)^{t-1} iP$.	(11)
Сума податку на прибуток	€	$N_t = g(Z - D_t)$.	(12)
Річний прибуток після оподаткування	€	$Z'_t = Z - N_t = Z - g(Z - D_t) = (1 - g)Z + gD_t = (1 - g)Z + g\delta(1 - \delta)^{t-1} I = [(1 - g)(Yk\tau - \omega i) + ig\delta(1 - \delta)^{t-1}] P$.	(13)
Чиста приведена вартість проекту	€	$NPV_0 = -I,$ $NPV_t = NPV_{t-1} + \frac{Z'_t}{(1 + \rho)^t}$.	(14)

Чиста приведена вартість [2, 3] є загально визнаним критерієм економічної ефективності інвестиційного проекту. З урахуванням (13) отримуємо для неї:

$$NPV = P \left[-i + (1 - g)(Yk\tau - \omega i) \cdot \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1 + \rho)^t} + \frac{ig\delta}{1 - \delta} \sum_{t=1}^T \left(\frac{1 - \delta}{1 + \rho} \right)^t \right]. \quad (15)$$

Застосовуючи формулу суми членів геометричної прогресії, отримуємо остаточно:

$$NPV = P \left[-i + (1 - g)(Yk\tau - \omega i) \cdot R(\rho, T) + \frac{ig\delta}{1 - \delta} \cdot Q(\rho, \delta, T) \right], \quad (16)$$

де

$$R(\rho, T) \equiv \begin{cases} \frac{\frac{1}{1 + \rho} \left[\frac{1}{(1 + \rho)^T} - 1 \right]}{\frac{1}{1 + \rho} - 1} = \frac{1 - \frac{1}{(1 + \rho)^T}}{\rho} = \frac{1}{\rho} [1 - (1 + \rho)^{-T}], \text{ якщо } \rho > 0, \\ T, \text{ якщо } \rho = 0. \end{cases} \quad (17)$$

$$Q(\rho, \delta, T) \equiv \frac{\frac{1-\delta}{1+\rho} \left[1 - \left(\frac{1-\delta}{1+\rho} \right)^T \right]}{1 - \frac{1-\delta}{1+\rho}} \tag{18}$$

Коефіцієнти еластичності первісних параметрів інвестиційного проекту ВЕС. Для аналізу чутливості чистої приведеної вартості інвестиційного проекту ВЕС доцільно застосувати коефіцієнти еластичності [1, 5]. В загальному випадку, такий коефіцієнт дає відповідь на запитання — якою буде відносна зміна значення функції, якщо відносно значення аргументу зміниться на малу величину (скажімо, на 1%)? Застосування таких коефіцієнтів дозволяє упорядкувати фактори за їх впливом на зміну критерію. Обчислення коефіцієнта еластичності для *i*-го аргументу функції $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ в точці $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$ здійснюють за формулою [4]:

$$e(x_i) = \frac{\partial f}{\partial x_i}(x') \cdot \frac{x'_i}{f(x')} \dots \tag{19}$$

Нижче представлено результати застосування формули (19) до функції (16).

Легко переконатись, що в окремому випадку, якщо функція є лінійною по аргументу, тобто $y = ax_i + b$, відповідний коефіцієнт еластичності обчислюється за формулою

$$e(x_i) = \frac{1}{1 + \frac{b}{a} \cdot \frac{1}{x_i}} \tag{20}$$

В табл. 3 представлено формули розрахунку параметрів рівняння (20) для чистої приведеної вартості інвестиційного проекту ВЕС. Для аналізу з табл. 1 відібрано чотири параметри. Вони є лінійними членами формули (19) і тому допускають застосування формули (20).

Таблиця 3. Формули розрахунку параметрів математичної моделі коефіцієнтів еластичності чистої приведеної вартості інвестиційного проекту ВЕС.

Table 3. Formulas for calculating the parameters of the mathematical model of the coefficients of elasticity of the net present value of the wind farm investment project.

Первісний параметр	<i>a</i>	<i>b</i>	№
Тариф на електроенергію ВЕС	$YP(1-g)kR(\rho, T)$	$-iP \left[\frac{(1-g)\omega R(\rho, T) - \frac{g\delta}{1-\delta} Q(\rho, \delta, T) + 1}{1-\delta} \right]$	(21)
КВВП	$YP(1-g)\tau R(\rho, T)$	$-iP \left[\frac{(1-g)\omega R(\rho, T) - \frac{g\delta}{1-\delta} Q(\rho, \delta, T) + 1}{1-\delta} \right]$	(22)
Питомі інвестиції	$P \left[\frac{-\omega(1-g)R(\rho, T) + \frac{g\delta}{1-\delta} Q(\rho, \delta, T) - 1}{1-\delta} \right]$	$YP(1-g)k\tau R(\rho, T)$	(23)
Норматив річних експлуатаційних витрат	$-iP(1-g)R(\rho, T)$	$P \left[\frac{Y(1-g)k\tau R(\rho, T) + \frac{ig\delta}{1-\delta} Q(\rho, \delta, T) - i}{1-\delta} \right]$	(24)

Аналіз результатів експериментальних розрахунків коефіцієнтів еластичності. В табл. 4 подано результати розрахунків коефіцієнтів еластичності інвестиційного проекту ВЕС за формулами (21)-(24) і даними табл. 1.

Таблиця 4. Коефіцієнти еластичності чистої приведеної вартості проекту ВЕС.

Table 4. Coefficients of elasticity of the net present value of the WPP project.

Первісний параметр	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>e</i>
Тариф на електроенергію ВЕС	2929850.65	-128.63	1.78
КВВП	837.10	-128.63	1.78
Питомі інвестиції	-102.91	292.99	-0.78
Норматив річних експлуатаційних витрат	-1194.49	182.27	-0.11

З даних останнього стовпчика табл. 4 випливає, що економічна ефективність інвестиційного проекту ВЕС найбільш чутлива до змін КВВП і тарифу на електроенергію ВЕС. Так, зростання цих параметрів на 1% призводить до зростання чистої приведеної вартості проекту на 1.78%.

В табл. 5 і рис. 2 подано результати аналізу

впливу на коефіцієнти еластичності первісних параметрів значень цих параметрів. Коефіцієнти еластичності розраховано для базового значення кожного з первісних параметрів (множник дорівнює одиниці, а також для трьох значень параметра в сторону зменшення і трьох значень в сторону збільшення.

Таблиця 5. Залежність коефіцієнтів еластичності від значень первісних параметрів.

Table 5. Dependence of elasticity coefficients on the values of initial parameters.

Значення множника	КВВП	<i>e</i>	Тариф на електроенергію ВЕС, €/кВт·год	<i>e</i>	Питомі інвестиції, €/млн/МВт	<i>e</i>	Норматив річних експлуатаційних витрат, % від інв.	<i>e</i>
0.7	0.25	2.68	0.07	2.68	0.88	-0.44	1.05	-0.07
0.8	0.28	2.22	0.08	2.22	1.00	-0.54	1.20	-0.09
0.9	0.32	1.95	0.09	1.95	1.13	-0.65	1.35	-0.10
1.0	0.35	1.78	0.10	1.78	1.25	-0.78	1.50	-0.11
1.1	0.39	1.66	0.11	1.66	1.38	-0.93	1.65	-0.12
1.2	0.42	1.58	0.12	1.58	1.50	-1.11	1.80	-0.13
1.3	0.46	1.51	0.13	1.51	1.63	-1.33	1.95	-0.15

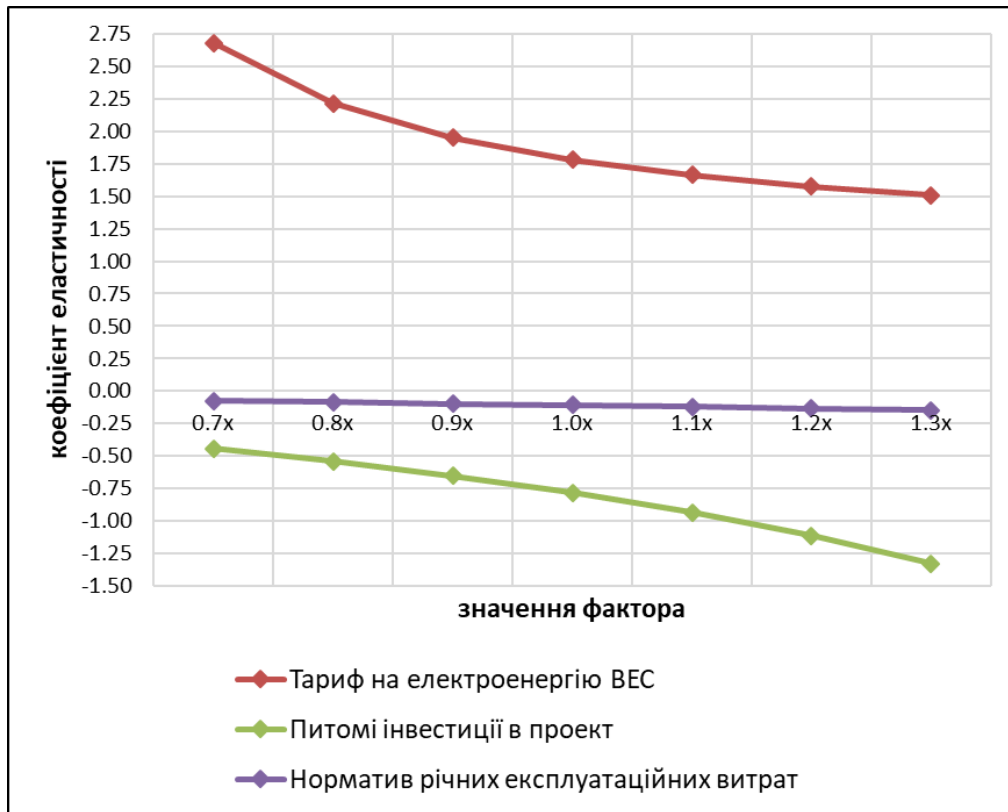


Рис. 2. Графіки залежності коефіцієнтів еластичності від значень первісних параметрів.

Fig. 2. Graphs of dependence of elasticity coefficients on the values of initial parameters.

З рис. 2 виливає, що чутливість чистої приведеної вартості інвестиційного проекту ВЕС монотонно спадає з ростом значень первісних параметрів.

ентів еластичності від норми дисконтування грошових потоків. З неї випливає, що зі збільшенням цього параметру чутливість проекту до зміни первісних параметрів збільшується (за абсолютним значенням).

На рис. 3 подано діаграму залежності коефіціє-

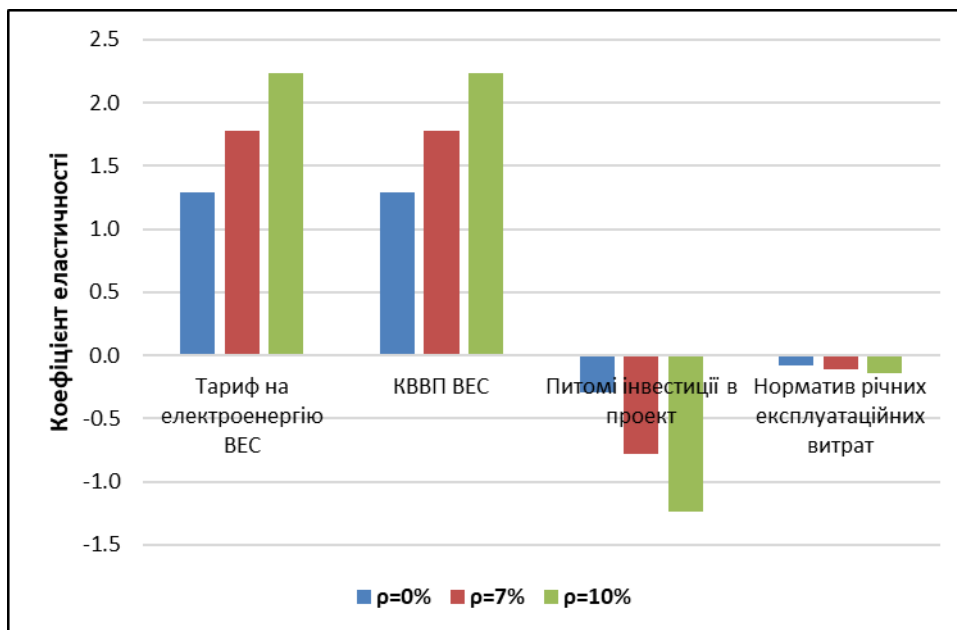


Рис. 3 Діаграма залежності коефіцієнтів еластичності від норми дисконтування грошових потоків.

Fig. 3. Diagram of the dependence of the elasticity coefficients on the discount rate of cash flows.

Висновки.

1. Для аналізу чутливості економічної ефективності інвестиційних проектів ВЕС доцільно застосовувати запозичений з макроекономіки інструментарій коефіцієнтів еластичності. Ці показники дозволяють математично обґрунтовано упорядкувати первісні параметри інвестиційного проекту ВЕС за їх чутливістю до малих змін.

2. Наявність в явній формі розв'язку економіко-математичної моделі дозволяє отримати явні формули для коефіцієнтів еластичності і виконати всебічне математичне дослідження проблеми.

3. Представлені результати розрахунків продемонстрували ефективність застосування коефіцієнтів еластичності як для класичного, так і для нестандартного аналізу чутливості інвестиційних проектів ВЕС.

1. *Бернар И., Колли Ж.-К.* Толковый экономический и финансовый словарь. Т. 1. М. Международные отношения. 1997. 639 с.

2. *Бирман Г., Шмидт С.* Экономический анализ инвестиционных проектов. М. Банки и биржи. Издательское объединение «ЮНИТИ». 1997. С.149-158.

3. *Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А.* Оценка эффективности инвестиционных проектов. М. Дело. 2007. С. 139-145.

4. *Интрилигатор М.* Математические методы оптимизации и экономическая теория. М. Прогресс. 1975. 536 с.

5. *Фандель Г.* Теория производства и витрат. К. Таксон. 2000. 85 с.

6. *Тучинский Б.Г., Точеный В.А., Иванченко И.В., Антон А.А.* Анализ и моделирование затрат ветровой электростанции на производство электроэнергии. Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2012. № 7. С. 68-76.

REFERENCES

1. *Bernar I., Kollu Zh.-K.* Tolkovyj ekonomicheskij i finansovyj slovar. [Thesaurus Economic and Financial Dictionary]. Т. 1. М. Mezhdunarodnye otnosheniya. 1997. 639 p. [in Russian].

2. *Birman G., Shmidt S.* Ekonomicheskij analiz investicionnyh proektov. [Economic analysis of investment projects]. М. Banki i birzhi. Izdatelskoe obiedinenie "YUNITI". 1997. Pp. 149-158. [in Russian].

3. *Vilenskij P.L., Livshic V.N., Smolyak S.A.* Ocenka effektivnosti investicionnyh proektov. [Evaluation of the effectiveness of investment projects]. М. Delo. 2007. Pp. 139-145. [in Russian].

4. *Intriligator M.* Matematicheskie metody optimizacii i ekonomicheskaya teoriya. [Optimization Mathematical Methods and Economic Theory]. М. Progress. 1975. 536 p. [in Russian].

5. *Fandel H.* Teoriia vyrobnytstva i vytrat. [Theory of production and costs]. К. Takson. 2000. 85 p. [in Ukrainian].

6. *Tuchinskij B.G., Tochenyj V.A., Ivanchenko I.V., Anton A.A.* Analiz i modelirovanie zatrat vetrovoj elektrostancii na proizvodstvo elektroenergii. [Analysis and modeling of wind power costs for power generation]. Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Alternativnaya energetika i ekologiya» (ISJAEE). 2012. No. 7. Pp. 68-76. [in Russian].

Стаття надійшла до редакції 07.07.20
Остаточна версія 17.09.20