

© В.Є. Колесник<sup>1</sup>, Ю.В. Бучавий<sup>1</sup>, А.Г. Рудченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## ВСТАНОВЛЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

© V. Kolesnyk<sup>1</sup>, Yu. Buchavyi<sup>1</sup>, A. Rudchenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## ESTABLISHMENT OF A CORRELATION BETWEEN INDICATORS OF RESOURCE SAVING AND ENVIRONMENTAL SAFETY

**Мета.** Визначення залежності між показниками ресурсозбереження та рівнем екологічної безпеки на територіях техногенно-навантажених регіонів.

**Методика.** Обґрунтований вибір показників ресурсозбереження та екологічної безпеки на об'єктах або територіях, що необхідні для порівняльного аналізу, проводився на основі критичного аналізу відомих показників та їх апробації на апіорних статистичних даних. Визначення ступеню кореляції між обраними показниками та побудова залежності між ними виконувалася на основі кореляційного, регресійного та дисперсного аналізу.

**Результати.** Проаналізовано існуючі показники ресурсозбереження та екологічної безпеки, потрібних для порівняння. Запропоновано показник ресурсозбереження у вигляді дев'яти – різницевої дискретної функції між базовим значенням використання природних ресурсів та фактичним, тобто до провадження природоохоронних заходів і після. Визначено індекс забруднення повітря Інхабера для м. Дніпра та Нікопольської агломерації. Встановлено кореляційний зв'язок між природоохоронними заходами та якістю атмосферного повітря.

**Наукова новизна.** Показано, що запропонована дев'ята є еквівалентною показнику ресурсоемності виробництва, який доцільно порівнювати з показником екологічної безпеки у вигляді індекса Інхабера. Обраний індекс характеризує викиди в атмосферу завислих речовин (аерозолів) і SO<sub>2</sub>, що припадають на душу населення, та одночасно внесок певного району (або міста) у загальний рівень забруднення атмосферного повітря в країні. Тому він рекомендований нами для порівняння з ресурсозбереженням виробництва в Україні. Встановлено залежність між показником ресурсозбереження та індексом забруднення атмосфери у вигляді рівняння регресії:  $y = 1,3 \cdot 10^6 x^{14,7} \exp(-14,1x)$ . Доведено його адекватність.

**Практична значимість.** Визначено та оцінено ряд річних показників ресурсоемності/ресурсозбереження виробництва ВВП України, а для двох міст Дніпропетровської області, з урахуванням викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Отриману залежність у вигляді наведеного вище рівняння використовувати при аналізі природоохоронної діяльності підприємств, організацій, територій, країни в цілому.

**Ключові слова:** ресурсозбереження, екологічна безпека, кореляційна залежність, дисперсійний аналіз, регресія.

**Вступ.** Дослідженням проблем ресурсозбереження, в тому числі як чинника екологічної безпеки, займалося чимало зарубіжних та вітчизняних вчених, які з різних позицій людської діяльності аналізували процеси ефективного використання та заощадження ресурсів. Досліджено теоретичні аспекти ресурсозбереження та механізми підвищення його ефективності, розглянуто прикладні

аспекти екологізації природокористування та політики ресурсозбереження, підкреслено необхідність правильного поводження з відходами, як вторинним ресурсом, тощо [1].

Термін «ресурсозбереження» був уведений до наукової лексики в середині 80-х років минулого століття [2]. На сучасному етапі варто виділити два підходи до його трактування. Відповідно до першого підходу, ресурсозбереження це будь-яка діяльність, що спрямована на охорону довкілля (С. Дорогунцов, Ю. Пітюренко та інші). По суті він передбачає орієнтацію на «консервування» природних ресурсів, яке тісно пов'язане з категорією природно-ресурсного потенціалу (ПРП). Сучасне трактування ПРП зводиться до визначення його як сукупності виявлених і придатних для використання природних ресурсів при даному рівні розвитку виробництва (у світі, країні, регіоні, на локальному рівні) [1]. Другий підхід є більш широким і базується на тезі, що ресурсозбереження мусить передбачати раціональне використання усіх без винятку ресурсів, включаючи природні (С. Мочерний, В. Іфтемічук, Л. Липницький, А. Хижняк та інші) [2]. Обидва підходи мають право на існування. Проте автор [1] вважає за доцільне використовувати саме другий підхід, оскільки він є комплексним та відповідає сучасному етапу сталого розвитку економічних відносин.

Згідно з [3] ресурсозбереження – це діяльність (організаційна, економічна, технічна, наукова, практична, інформаційна), методи, процеси, комплекс організаційно-технічних засобів, що супроводжують усі стадії життєвого циклу об'єктів та відповідне витрачання ресурсів, спрямованих на їх раціональне та економне використання.

Залежно від видів ресурсів, що зберігаються, показники ресурсозбереження поділяється на: матеріалозбереження; енергозбереження; працезбереження та фондозбереження (збереження матеріально-технічної бази виробництва) [4].

Автор [5] зазначає, що екологічна безпека виконує роль запобіжника екологічної загрози, що виявляється в локальних, регіональних і глобальних масштабах як стихійні катаклізми, соціальні кризи й техногенні катастрофи. Забезпечення прийняттого рівня екологічної безпеки є дієвим способом розв'язання екологічних проблем, що гарантує громадянам України розвиток і проживання в комфортних умовах. Створення державної системи екологічної безпеки, що включає природно-техногенну складову, означає неухильне виконання екологічних вимог стосовно об'єктів та суб'єктів довкілля, а згадана система повинна мати навіть пріоритет по відношенню до інших аспектів національної безпеки.

Рівень екологічної безпеки, що склався і складатиметься в Україні в майбутньому, визначається величиною ризику, який залежить від можливих природних і техногенних катастроф, а також від негативних процесів, котрі відбуваються повільно, але з часом можуть призвести до соціальних вибухів (екологічні проблеми, соціальні конфлікти) [5]. Тому одним зі стратегічних підходів щодо забезпечення екологічної та природно-техногенної безпеки України має бути принцип ненульового ризику, який вимагає утворення ефективної системи економічних механізмів щодо забезпечення безпеки людини, навколишнього середовища та суспільства [6–10].

Незважаючи на велику кількість наукових праць та значні досягнення у дослідженні теоретичних засад ресурсозбереження, не вирішеним залишається проблемне завдання визначення ступеню кореляції та визначення залежності між показниками ресурсозбереження та рівнем екологічної безпеки на територіях техногенно-навантажених регіонів, що стало **метою** дослідження. Для досягнення поставленої мети ставилися наступні **завдання**:

- обґрунтувати вибір показників ресурсозбереження на певних об'єктах або територіях, які можливо порівняти з відповідними показниками екологічної безпеки;

- визначити ступінь кореляції між обраними показниками (на прикладі міст Дніпропетровської області) та побудувати регресійну залежність між ними з оцінкою її достовірності;

- за результатами виконаних досліджень оцінити вплив ресурсоемності виробничої діяльності за певними категоріями на ефективність ресурсозбереження та на рівень екологічної безпеки для вказаних територій за виявленою залежністю.

Дослідження виконувалися на основі інформації, отриманої з Інтернет ресурсів [9, 11–15], з урахуванням законодавчих та нормативних документів [3, 8], а також авторських публікацій [12] та літературного джерела [1, 2, 4–7, 10, 16].

**Основна частина.** Абсолютним показником ресурсозбереження у виробничій чи господарській діяльності є зменшення використання ресурсів. Отже, як величину цього зменшення або взагалі зміни, пропонується використовувати різницевий показник у вигляді, так званої девіати (різниці) –  $D_R$ , вираженої в абсолютних величинах, а саме:

$$D_R = R_0 - R_f, \quad (1)$$

де  $R_0$  – базове значення використання природних ресурсів, що є характерним для певного об'єкту до провадження природоохоронних заходів;  $R_f$  – фактичне значення використання природних ресурсів для цього об'єкту після провадження природоохоронних заходів.

Очевидно, що наведена девіата (1) може мати як позитивне значення (у разі збереження ресурсів), так і негативне (при збільшеній витрат ресурсів). По суті вона є еквівалентною ресурсоемності – показнику ефективності використання ресурсів виробничими об'єктами, який визначається як відношення обсягу використаних ресурсів (у натуральному або грошовому еквіваленті) до відповідного обсягу виробленої за певний час продукції (у натуральному або грошовому еквіваленті) [8]. Міністерство економіки України оперує наступними категоріями ресурсоемності [9]: «Енергоемність», «Матеріалоемність», «Вуглецевоемність», «Водоемність», «Відходоемність».

Оскільки показник зміни (зменшення або збільшення) використання ресурсів відбуваються у часі, тобто  $D_R = f(t)$ , то таку дискретну функцію девіати доцільно визначати у логарифмічному вигляді для певного часового ряду дискретних величин [10]:

$$\lg D_R = \frac{\sum \lg \left( \frac{R_f}{R_0} \right)}{n} \quad (2)$$

$$\lg D_R = \frac{\lg R_k - \lg R_0}{n}, \quad (3)$$

де  $R_k$  – значення обсягів використання природних ресурсів ( $R_f$ ) на кінцевий час;  $n$  – інтервал часу (роки, місяці, дні) з моменту початку запровадження заходів з ресурсозбереження до теперішнього моменту часу.

Якщо розглядати зміну використання природних ресурсів за однакові проміжки часу, то краще використовувати формулу (2). В цьому випадку є можливість дослідити часовий хід зміни показника, тобто в динаміці, визначити ступінь його коливання, екстремальні значення, тобто проаналізувати характер змін ресурсоемності у часі. Крім того, виникає можливість виявити зміни при різних варіантах співвідношень значень  $R_f$  та  $R_0$ , зокрема якщо:

1.  $R_f = R_0$  (заходи з ресурсозбереження можливо запроваджувалися, але не ефективно). Показник  $\lg D_R = 0$ .

2.  $R_f > R_0$  (заходи з ресурсозбереження не запроваджувалися зовсім, тому є перевищення споживання ресурсів). Показник  $\lg D_R > 0$ .

3.  $R_f < R_0$  (заходи з ресурсозбереження запроваджувалися, і вони є ефективним, тому використання ресурсів зменшується). Показник  $\lg D_R < 0$ .

У випадку, якщо потрібно оцінити взагалі ефективність запровадження заходів з ресурсозбереження за конкретний час (наприклад, за час інвестування у проєкт), то зручніше використовувати формулу (3). Міркування щодо знаку показника змін аналогічні тим, що і при використанні формули (2), тобто від'ємний знак вказує на ефективність заходів, додатний – на його неефективність або на низьку ефективність при малих значеннях. Значення показника ресурсоемності (по модулю) вказує прямо пропорційно на ступінь впливу запроваджених заходів.

Як приклад, розглядалися часові зміни ресурсоемності внутрішнього валового продукту (ВВП) України в період з 2016 до 2021 року за різними категоріями [9]. Визначалися відносні зміни ресурсоемності ВВП порівняно з показниками 2015 р, прийнятими за 100 одиниць. Відповідний розподіл відносних значень ресурсоемності наведений у таблиці 1.

Таблиця 1

Розподіл відносної ресурсоемності ВВП України за різними категоріями

| Категорії ресурсоемності | Відносні значення ресурсоемності по роках |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                          | 2015                                      | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  |
| Енергоемність            | 100                                       | 102,3 | 94,7  | 95,2  | 88,5  | 88,9  | -     |
| Матеріалоемність         | 100                                       | 100   | 98,2  | 97,2  | 100,4 | 99,9  | 108,2 |
| Вуглецевоемність         | 100                                       | 105,8 | 85,1  | 83,8  | 77,9  | 72,8  | 72,2  |
| Водоемність              | 100                                       | 98,2  | 91,7  | 95,1  | 91,6  | 94,2  | 77,3  |
| Відходоемність           | 100                                       | 92,5  | 111,6 | 103,9 | 126,1 | 137,3 | 141,6 |

Значення показника  $lgD_R$ , що розраховані за формулою (2), наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Зміни ресурсоемності ВВП за категоріями, по роках

| Категорія ресурсоемності | Рівень ресурсоемності по роках, $lgD_R$ , |        |        |        |        |        | Середнє знач. |
|--------------------------|-------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
|                          | 2016                                      | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   |               |
| Енергоемність            | 0,010                                     | -0,034 | 0,002  | -0,032 | 0,002  | 0      | -0,009        |
| Матеріалоемність         | 0                                         | -0,008 | -0,005 | 0,014  | -0,002 | 0,035  | 0,006         |
| Вуглецевоемність         | 0,025                                     | -0,095 | -0,007 | -0,032 | -0,029 | -0,004 | -0,024        |
| Водоемність              | -0,008                                    | -0,030 | 0,016  | -0,016 | 0,012  | -0,086 | -0,019        |
| Відходоемність           | -0,034                                    | 0,082  | -0,031 | 0,084  | 0,037  | 0,013  | 0,025         |

Оцінимо зміни в ресурсоемності ВВП за вказані 7 років (для категорії «Енергоемність» за 6 років), розраховуючи значення показника  $lgD_R$ , на кінцевий термін, тобто 2021 рік за формулою (3). Результат внесено в таблицю 3.

Таблиця 3

Показник ресурсоемності на 2021 рік

| Категорії ресурсоемності | Значення показника |
|--------------------------|--------------------|
| Енергоемність            | - 0,0085           |
| Матеріалоемність         | 0,0049             |
| Вуглецевоемність         | - 0,0202           |
| Водоемність              | - 0,0160           |
| Відходоемність           | 0,0216             |

Для подальшого аналізу отриманих результатів доцільно перейти до 100-бальної шкали оцінювання ресурсоемності, а значить і ресусозбереження. Для цього попередньо нормуємо отримані дані визначених за формулою (2). Далі від значень показника віднімаємо найбільше значення 0,0216, виявлене для категорії «Відходоемність», а отримані відхилення нормуємо відносно мінімального значення (- 0,0202 для категорії «Вуглецевоемність»). Отримані значення ранжируємо по модулю з наступним визначенням дев'ят оцінюванням диференціюванням отриманих значень (табл. 4).

Наступним завданням є вибір серед чисельних характеристик рівнів екологічної безпеки об'єктів, розглянемо ті показники, що характеризують рівень екологічної безпеки. Такими комплексним показниками, наприклад, виступає індекс якості повітря.

*AQI* – *air quality index* – індекс якості повітря, ця аббревіатура використовується в усіх світових екологічних державних органах для інформування громадськості щодо рівня забруднення, а також для прогнозування забруднення повітря [11].

Таблиця 4

Результати і оцінювання показника ресурсоємності за 100-бальною шкалою

| Категорії ресурсоємності | $lgD_R$  | $(lgD_R - max\ lgD_R) / min\ lgD_R$ | Оцінка в балах* |
|--------------------------|----------|-------------------------------------|-----------------|
| Енергоємність            | - 0,0085 | 0,0301                              | 72              |
| Матеріалоємність         | 0,0049   | 0,0167                              | 40              |
| Вуглецевоємність         | - 0,0202 | 0,0418                              | 100             |
| Водоємність              | - 0,0160 | 0,0376                              | 90              |
| Відходоємність           | 0,0216   | 0                                   | 0               |

*Примітка\*.* Оцінки в балах за 100-бальною шкалою рекомендовано диференціювати якісними оцінками ресурсоємності/ресурсозбереження: «відмінно» – від 90 до 100; «добре» – від 74 до 89; «задовільно» – від 60 до 73; «незадовільно» – менше 60.

Для оцінки ступеня забруднення атмосфери, отримані в результаті спостережень на певному об'єкті або території середні та максимальні концентрації, зазвичай попередньо нормуються відносно величини середньої (або максимальної) концентрації, що притаманні більш великому регіону або визначені відносно певного санітарно-гігієнічного нормативу, наприклад, – гранично допустимої концентрації (ГДК). Нормовані характеристики забруднення називають індексами забруднення атмосфери (ІЗА) [12].

У різних країнах запропоновані та використовуються в практичній діяльності декілька видів ІЗА. Деякі з них засновані на непрямих показниках забруднення атмосфери. До таких ІЗА можна віднести індекс, запропонований Інхабером в Канаді, який базується на даних про викиди в атмосферу завислих речовин (аерозолів) і  $SO_2$ . Такий індекс ( $I_{ki}$ ) для різних районів Канади визначався за формулою:

$$I_{ki} = \frac{M_i / N}{\overline{M_i} / \overline{N}}, \quad (4)$$

де  $M_i$  – сумарні викиди в окремому районі;  $\overline{M_i}$  – сумарні викиди  $i$ -ої речовини, характерні для всієї території Канади;  $N$  та  $\overline{N}$  – відповідно чисельність населення оцінюваного району та в Канаді.

В чисельнику і знаменнику моделі (4) фігурують питомі рівні забруднення атмосферного повітря, що припадають на одного мешканця, відповідно в оцінюваному районі та в країні в цілому. Цей індекс характеризує внесок певного району (або міста) у загальний рівень забруднення атмосферного повітря вказаною домішкою по всій країні [13]. Отже, наведений безрозмірний показник виглядає універсальним, як для оцінювання рівня екологічної безпеки певної території, так і для порівняння з ресурсоємністю промислового виробництва на цій території.

За формулою (4) нами оцінено забруднення атмосферного повітря для Нікопольської агломерації у порівнянні з м. Дніпро, які входять до складу Дніпропетровської області. Рівні викидів забруднюючих речовин та чисельність

населення отримані за даними джерел [14] та [15], відповідно. Результати розрахунку наведені в таблиці 5.

Таблиця 5

Динаміка викидів забруднюючих речовин, чисельність населення та значення індексу Інхабера для Нікопольської агломерації та м. Дніпро [12]

| Рік  | Дніпропетровська область |                 | м. Дніпро              |                 | Нікопольська агломерація |                 | індекс Інхабера |                          |
|------|--------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
|      | Рівень викидів, тис. т   | Населення, тис. | Рівень викидів, тис. т | Населення, тис. | Рівень викидів, тис. т   | Населення, тис. | м. Дніпро       | Нікопольська агломерація |
| 2014 | 855,8                    | 3292,4          | 87,7                   | 993,1           | 35,1                     | 205,8           | 0,34            | 0,66                     |
| 2015 | 723,9                    | 3276,6          | 48,5                   | 989,8           | 30,3                     | 204,8           | 0,22            | 0,67                     |
| 2016 | 833,0                    | 3254,9          | 80,6                   | 983,8           | 29,3                     | 203,4           | 0,32            | 0,56                     |
| 2017 | 657,3                    | 3230,4          | 45,7                   | 976,5           | 33,7                     | 201,8           | 0,23            | 0,82                     |
| 2018 | 614,3                    | 3231,1          | 47,1                   | 1000,5          | 34,7                     | 200,0           | 0,25            | 0,91                     |
| 2019 | 576,9                    | 3206,5          | 40,8                   | 998,1           | 30,2                     | 198,6           | 0,23            | 0,85                     |
| 2020 | 534,7                    | 3176,6          | 31,1                   | 990,7           | 26,8                     | 197,1           | 0,19            | 0,81                     |
| 2021 | 537,6                    | 3142,0          | 28,6                   | 980,9           | 33,7                     | 195,4           | 0,17            | 1,01                     |

Для наочного порівняння графіки динаміки індексу Інхабера для Нікопольської агломерації та м. Дніпро наведені у вигляді стовбчастих діаграм на рис. 1.

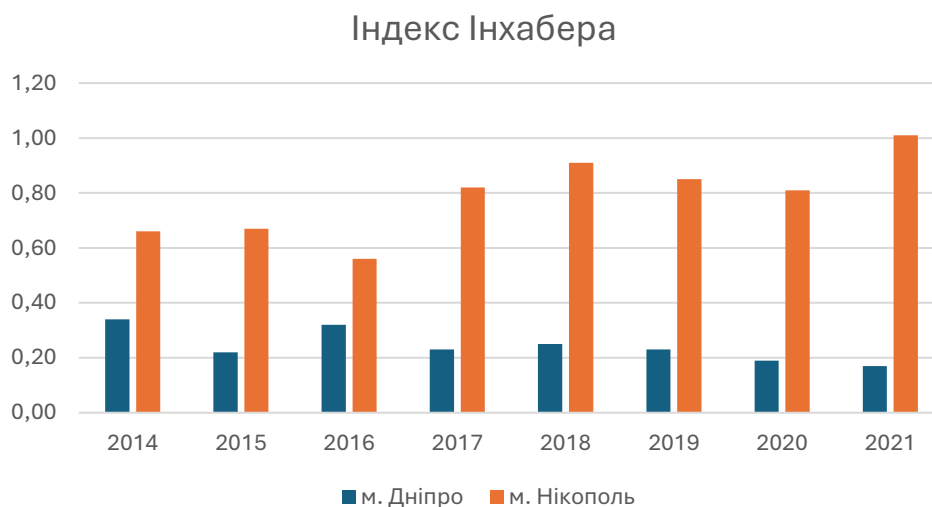


Рис. 1. Стовпчасті діаграми індексу Інхабера для Нікопольської агломерації та м. Дніпро по роках [12]

Часовий хід індексу Інхабера для м. Дніпро виявив зменшення впливу забруднюючих речовин від стаціонарних джерел на атмосферне повітря та доклілля в цілому, а для Нікопольської агломерації – виявив тенденцію до зростання, навіть при зниженні рівня викидів [12].

Далі проаналізуємо ступінь кореляції між заходами, спрямованими на зниження ресурсоемності, та рівнем екологічної безпеки, а потім певну залежність між цими показниками. Як показники приймаємо ресурсоемність за категорією «Відходоемність» та індекс Інхабера для міста Нікополь (табл. 6).

Таблиця 6

Дані щодо рівня ресурсоемності ВВП України (категорія «Відходоемність») та індекс Інхабера (для м. Нікополь) в період з 2016 по 2021 р.р.

| Показник | Роки  |       |       |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  |
| $DR_i$   | 0,925 | 1,206 | 0,931 | 1,214 | 1,089 | 1,031 |
| $I_{ki}$ | 0,56  | 0,82  | 0,91  | 0,85  | 0,81  | 1,01  |

Ступінь кореляції між наведеними показниками визначимо за коефіцієнтом кореляції [10]:

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (5)$$

За змінну величину  $X$  приймаємо  $DR_i$ , а за залежну  $Y - I_{ki}$ . Для знаходження  $R_{xy}$ , будемо таблицю 7.

Таблиця 7

Допоміжні значення для розрахунку коефіцієнта кореляції

| i        | $x_i$        | $y_i$       | $(x_i - \bar{x})$ | $(y_i - \bar{y})$ | $(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ | $(y_i - \bar{y})^2$ |
|----------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------|
| 1        | 0,925        | 0,56        | - 0,141           | - 0,267           | 0,038                            | 0,020               | 0,07129             |
| 2        | 0,931        | 0,91        | - 0,135           | 0,083             | - 0,011                          | 0,018               | 0,00690             |
| 3        | 1,031        | 1,01        | - 0,035           | 0,183             | - 0,006                          | 0,001               | 0,03349             |
| 4        | 1,089        | 0,81        | 0,023             | - 0,017           | - 0,001                          | 0,001               | 0,00029             |
| 5        | 1,206        | 0,82        | 0,140             | - 0,007           | - 0,001                          | 0,020               | 0,00005             |
| 6        | 1,214        | 0,85        | 0,148             | 0,23              | 0,003                            | 0,022               | 0,00053             |
| $\Sigma$ | <b>6,396</b> | <b>4,96</b> | -                 | -                 | 0,022                            | <b>0,082</b>        | <b>0,11255</b>      |

Примітка. Середні значення відповідно  $\bar{x} = \Sigma x / n = 6,396 / 6 = 1,066$ ,  $\bar{y} = \Sigma y / n = 4,96 / 6 = 0,827$

Підставляємо у (5) допоміжні значення із таблиці 7 та визначаємо коефіцієнт кореляції:

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{0,022}{\sqrt{0,082 \cdot 0,11255}} = 0,23.$$

Значення коефіцієнта кореляції, яке за модулем може мати значення від 0 (відсутність кореляції) до 1 (функціональна залежність), склало  $R_{xy} = 0,23 < 0,3$ . Отже, отримане значення вказує на слабкий зв'язок між змінною величиною  $DR_i$  та  $I_{ki}$ , тобто залежність  $I_k = f(D_R)$  матиме не високу достовірність. Разом з тим, перевіримо коефіцієнт кореляції на достовірність за  $t$ -критерієм Стьюдента [10]:

$$t_{факт} = R_{xy} \sqrt{\frac{n-2}{1-R_{xy}^2}} = 0,23 \sqrt{\frac{6-2}{1-0,23^2}} = 0,472.$$

Умовою достовірності є  $t_{факт} \geq t_{ст}$ , де  $t_{ст}$  стандартні значення  $t$ -критерію Стьюдента. В нашому випадку,  $t_{ст} = 0,46$  при рівні значимості  $\alpha = 1\%$  та ступені свободи  $k = n - 2 = 6 - 2 = 4$ . Коефіцієнт кореляції достовірний, оскільки умова достовірності виконується. Отже варто ідентифікувати залежність  $I_k = f(D_R)$ .

Функцію залежності індексу якості повітря від показника ресурсоємності, тобто  $I_k = f(D_R)$  визначимо шляхом регресійного аналізу [10]. Для цього спочатку нанесемо емпіричні точкові значення, що наведені в кореляційній таблиці 6, на поле кореляції (рис. 2). Потім за характером розташування точок оберемо за методикою [16] та ідентифікуємо функцію у вигляді моделі:

$$y = ax^b \exp(-cx) \quad (6)$$

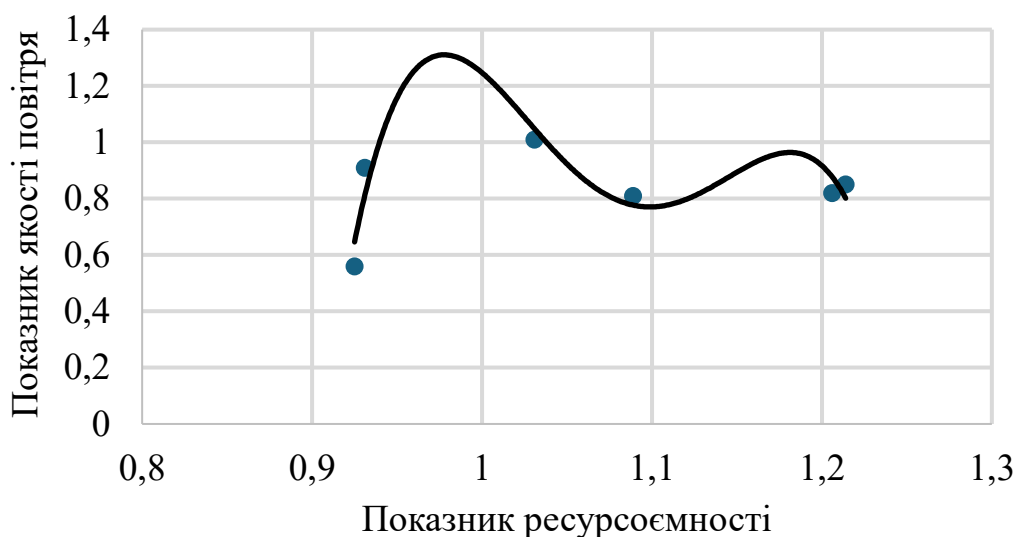


Рис. 2. Емпіричні значення функції  $I_k = f(D_R)$  – суцільна лінія та вихідні дані

Для визначення параметрів  $a$ ,  $b$ ,  $c \neq 0$  моделі підставимо в рівняння (6) наявні значення змінних та функції ( $x_1 = 0,991$ ,  $y_1 = 0,91$ ;  $x_2 = 1,031$ ,  $y_2 = 1,01$ ;  $x_3 = 1,214$ ,  $y_3 = 0,85$ ) і складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} y_1 = ax_1^b e^{-cx_1} \\ y_2 = ax_2^b e^{-cx_2} \\ y_3 = ax_3^b e^{-cx_3} \end{cases} \quad (7)$$

Логарифмуємо (7) та отримаємо систему рівнянь, де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  є невідомі показники:

$$\begin{cases} -0,094 = \ln(a) - 0,072b - 0,931c \\ +0,010 = \ln(a) + 0,031b - 1,031c \\ -0,163 = \ln(a) + 0,194b - 1,214c \end{cases} \quad (8)$$

Вирішуємо систему рівнянь (8). Отримаємо:  $a = 1,3 \cdot 10^6$ ,  $b = 14,7$  та  $c = 14,1$ . Тоді (6) ідентифікуємо як:

$$y = 1,3 \cdot 10^6 x^{14,7} \exp(-14,1x) \quad (9)$$

Для перевірки ідентифікованої моделі (9) на адекватність скористаємося дисперсійним аналізом [10]. Допоміжні показники наведені в таблиці 8.

Таблиця 8

Допоміжні значення для розрахунку F-критерію Фішера

| $i$                        | $x_i$        | $y_i$       | $\tilde{y}$ | $(y_i - \tilde{y}_i)^2$ | $(y_i - \bar{y})^2$ |
|----------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------------------|---------------------|
| 1                          | 0,925        | 0,56        | 0,895       | 0,11239                 | 0,07129             |
| 2                          | 0,931        | 0,91        | 0,905       | $2,87 \cdot 10^{-5}$    | 0,00690             |
| 3                          | 1,031        | 1,01        | 0,990       | 0,00042                 | 0,03349             |
| 4                          | 1,089        | 0,81        | 0,977       | 0,02775                 | 0,00029             |
| 5                          | 1,206        | 0,82        | 0,841       | 0,00044                 | 0,00005             |
| 6                          | 1,214        | 0,85        | 0,828       | 0,00049                 | 0,00053             |
| <b><math>\Sigma</math></b> | <b>6,396</b> | <b>4,96</b> | –           | <b>0,142</b>            | <b>0,113</b>        |

Дисперсія неадекватності регресійної моделі знаходять за формулою

$$s_R^2 = \frac{\sum (y_i - \tilde{y}_i)^2}{a - m},$$

де  $a$  – число класових інтервалів, для яких знаходили емпіричні середні  $\tilde{y}$ ;  $m$  – число параметрів, що визначаються у регресійній моделі. В нашому випадку  $a = 6$ ,  $m = 3$ , тоді

$$s_R^2 = \frac{\sum (y_i - \tilde{y}_i)^2}{a - m} = \frac{0,142}{6 - 3} = 0,0473.$$

Залишкова дисперсія може бути отримана за формулою

$$s_e^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2}{n-1} = \frac{0,113}{6-1} = 0,0226.$$

Порівняння двох дисперсій здійснювали за F-критерієм Фішера:

$$F_{\text{факт}} = \frac{S_R^2}{S_e^2} = \frac{0,0473}{0,0226} = 2,09.$$

Ідентифікована модель адекватна, якщо виконується умова:  $F_{\text{факт}} < F_{\text{ст}}$ . Для рівняння регресії (9)  $F_{\text{ст}} = 5,41$  (при рівні значимості  $\alpha = 1\%$  та ступені свободи  $k_1 = 3$ ,  $k_2 = 5$ ). Тобто, умова виконується, отже вважаємо, що модель отриманої залежності є цілком адекватною. Тому її можна використовувати на практиці.

**Аналіз та обговорення результатів.** В ході виконаних досліджень та аналізу отриманих даних, що наведені в таблиці 2 стосовно змін ресурсоемності по роках на прикладі ВВП України, показано:

- для категорій «Енергоемність», «Вуглецевоемність» та «Водоемність» заходи щодо ресурсозбереження є ефективними;
- для категорій «Матеріалоемність» та «Відходоемність» заходи щодо ресурсозбереження не є ефективними;
- найбільш ефективними були заходи в галузі збереження водних ресурсів (категорія «Водоемність»);
- для категорії «Енергоемність» спостерігається коливання показника від додатного до від’ємного, тобто це вказує на недостатність запровадження заходів енергозбереження в енергетичній галузі;
- для категорії «Відходоемність» показник є найбільшим і це вказує на недостатність природоохоронних заходів при поводженні з відходами в цілому по Україні.

Аналіз впливу змін ресурсоемності на якість атмосферного повітря для територій м. Нікополь за даними таблиці 4 показав, що заходи з ресурсозбереження для категорій «Вуглецевоемність» та «Водоемність» оцінюються як «відмінно»; для категорії «Енергоемність» – «задовільно», а для категорій «Матеріалоемність» та «Відходоемність» – «не задовільно».

Аналізуючи графік функції  $I_k = f(D_R)$  зазначимо, що максимум забруднення атмосферного повітря спостерігається при значенні показника ресурсоемності за категорією «Відходоемності» 1,031 (для 2021 р.), а відповідний індекс Інхабера склав 1,01. Тобто, підтверджується, що при поводженні з відходами запровадження природоохоронних заходів є не достатнім.

**Висновки.** Обґрунтовано вибір показника ресурсозбереження на певних об’єктах у вигляді дев’яти – різницевої дискретної функції між базовим значенням використання природних ресурсів та фактичним значенням їх використання, тобто до провадження природоохоронних заходів і після.

Показано, що запропонована дев’ята є еквівалентною показнику ресурсоемності виробництва, який при оцінці ресурсозбереження доцільно в нормованому вигляді порівнювати з показником екологічної безпеки у вигляді індекса

Інхабера. Цей індекс визначає викиди в атмосферу, що припадають на душу населення, та одночасно характеризує внесок певного району (або міста) у загальний рівень забруднення атмосферного повітря в країні. Тому виглядає прийнятним для порівняння з ресурсозбереженням на об'єктах чи територіях.

Визначено та оцінено показники ресурсоемності виробництва, пов'язаними із забрудненням атмосферного повітря на прикладі Нікопольської агломерації у порівнянні з м. Дніпро, що в кінцевому результаті дозволило визначити ступінь кореляції цих показників та побудувати достатньо достовірну і адекватну регресійну модель існуючої між ними залежності.

Як практичний результат визначено та оцінено ряд річних показників ресурсоемності/ресурсозбереження виробництва ВВП України, а для двох міст Дніпропетровської області, з урахуванням викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Отриману залежність у вигляді наведеного вище рівняння використовувати при аналізі природоохоронної діяльності підприємств, організацій, територій, країни в цілому.

#### Перелік посилань

1. Єршова, О. О. (2013). Ресурсозбереження як ефективний спосіб господарювання на підприємствах АПК. *Ефективна економіка*, 4. <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1971>.
2. Рибалко, Л. П. (2012). Сучасні підходи до трактування сутності поняття ресурсозбереження. *БІЗНЕС-ІНФОРМ*, 3. <http://ekhnou.org.ua/content/suchani-pidhodi-do-traktuvannya-sutnosti-ponyattya-resursozberezhennya>.
3. Держстандарт України. (1997). *Ресурсозбереження. Основні положення*. (ДСТУ 3051-95 (ГОСТ 30166-95)). Держстандарт України.
4. Біла, І.С., & Красман, Н.В. (2018). Розвиток ресурсозбереження в Україні. *Економіка та управління національним господарством*, 21, 53–58. [http://www.market-infr.od.ua/journals/2018/21\\_2018\\_ukr/12.pdf](http://www.market-infr.od.ua/journals/2018/21_2018_ukr/12.pdf)
5. Іванюта, С. П., & Качинський, А. Б. (2012). *Екологічна та природно-техногенна безпека України: регіональний вимір загроз і ризиків: монографія*. Національний інститут стратегічних досліджень. [http://niss.gov.ua/sites/default/files/2013-04/Ivanyuta\\_mon-64d60.pdf](http://niss.gov.ua/sites/default/files/2013-04/Ivanyuta_mon-64d60.pdf).
6. Горбулін, В. П., & Качинський, А. Б. (2007). *Системно-концептуальні засади стратегії національної безпеки України*. ДП «Євроатлантикінформ».
7. Качинський, А. Б. (2001). *Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращання* / А. Б. Качинський. Національний інститут стратегічних досліджень.
8. Наказ Мінекономрозвитку від 06.06.2019 №965 «Про затвердження методичних рекомендацій щодо розрахунку показників ресурсоемності валового внутрішнього продукту на рівні національної економіки за основними групами ресурсів, продуктивності праці на рівні національної економіки, регіональному рівні та за видами економічної діяльності і коефіцієнта віддачі основних засобів на рівні національної економіки та за видами економічної діяльності» (2019). <https://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=a63ce9bf-5282-4fa0-984a-d3efa9253300&title=NakazMinekonomrozvitkuVid06-06-2019-965>.
9. Державна служба статистики України <https://data.gov.ua/dataset/e964f35b-d084-422e-a10d-2d12fabaf5d2>.
10. Чепур, С. С. (2015). *Біометрія: Методичний посібник*. УжНУ «Говерла».
11. Товариство АвтоЕкоПрилад <https://eco.aep.kiev.ua/novini/chto-takoe-aqi-i-pochemu-ego-znachenie-ochen-vazhno-dlya-ekologicheskogo-budushhego-strany/>.
12. Коновалов, В. О., & Колесник, В. Є. (2024). Визначення індексу забруднення атмосферного повітря Нікопольської агломерації. У А.В. Павличенко, І.С. Нікітенко, Т.М. Лубенець, Б.М. Манін (Ред.), *Матеріали 79-ї студентської науково-технічної конференції «Тиждень*

- студентської науки» (Дніпро, 8-12 квітня 2024 року) (с. 277-279). Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». <https://ecology.nmu.org.ua/ua/Studies/zvit-2024.pdf>.
13. Манідіна, Є. А. (n.d.). Конспект лекцій з дисципліни «Комплексна оцінка якості навколишнього середовища». Офіційний сайт Запорізького національного університету [https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1175216/mod\\_resource/content/1/Лекція%203.%20Методи.pdf](https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1175216/mod_resource/content/1/Лекція%203.%20Методи.pdf)
  14. Офіційний сайт Дніпропетровської обласної військової адміністрації. <https://adm.dp.gov.ua/pro-oblast/ekologiya-pro-oblast/ekologiya>.
  15. Сайт статистики МінФін. <https://index.minfin.com.ua/ua/reference/people/dnepropetrovskaya/>
  16. Bronshtein, E., & Semendyaev, K. (1979). *Handbuch der Mathematik für Ingenieure und Studenten höherer technischer Bildungseinrichtungen* (13. Auflage). (G. Grosche & V. Maurer, Eds). Verlag «Teubner» DDR.

### ABSTRACT

**Purpose.** Determination of the relationship between resource saving indicators and the level of environmental safety in the territories of technogenically loaded regions.

**The methods.** A reasonable choice of indicators of resource conservation and environmental safety at objects or territories necessary for comparative analysis was carried out on the basis of a critical analysis of known indicators and their approbation on a priori statistical data. Determining the degree of correlation between the selected indicators and building a relationship between them was carried out on the basis of correlation, regression and dispersion analysis.

**Findings.** The existing indicators of resource saving and environmental safety required for comparison are analyzed. An indicator of resource conservation in the form of deviate – a difference discrete function between the basic value of the use of natural resources and the actual one, i.e. before and after the implementation of environmental measures, is proposed. The Inhaber air pollution index for the city of Dnipro and the Nikopol agglomeration has been determined. A correlation between environmental protection measures and air quality has been established.

**The originality.** It is shown that the proposed deviation is equivalent to the indicator of resource intensity of production, which is advisable to compare with the indicator of environmental safety in the form of the Inhaber index. The selected index characterizes the emissions of suspended substances (aerosols) and SO<sub>2</sub> into the atmosphere per capita, and at the same time the contribution of a certain district (or city) to the overall level of air pollution in the country. Therefore, it is recommended by us for comparison with the resource saving of production in Ukraine. The relationship between the resource saving indicator and the atmospheric pollution index is established in the form of a regression equation:  $y = 1,3 \cdot 10^6 x^{14,7} \exp(-14,1x)$ . Its adequacy has been proven.

**Practical implementation.** A number of annual indicators of resource intensity/resource saving of GDP production in Ukraine have been identified and evaluated, and for two cities of the Dnipropetrovsk region, taking into account emissions of pollutants into the atmosphere. The obtained dependence in the form of the above equation can be used in the analysis of environmental activities of enterprises, organizations, territories, and the country as a whole.

**Keywords:** resource conservation, environmental safety, correlation dependence, analysis of variance, regression.