

О. В. Березюк, д. т. н.

РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАФТОПРОДУКТІВ В ҐРУНТАХ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Останніми роками в Україні значно зросла загальна площа полігонів твердих побутових відходів та сміттєзвалищ, в тому числі й перевантажених, які порушують норми екологічної безпеки та є об'єктами інтенсивного екологічного навантаження, що загрожує забрудненням навколишнього середовища хімічними речовинами, спричиняючи хімічному забрудненню ґрунтів, зокрема нафтопродуктами. Визначення регресійної залежності концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігонів твердих побутових відходів є актуальною науково-технічною задачею.

Метою дослідження є визначення регресійної залежності нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігонів твердих побутових відходів. Під час проведення дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором раціонального виду функції із шістнадцяти найпоширеніших варіантів за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції. Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір.

Отримано адекватну регресійну степеневу залежність концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігонів твердих побутових відходів, яку застосовано для визначення безпечної відстані розміщення полігонів твердих побутових відходів від земель сільськогосподарського призначення за показником рівня хімічного забруднення ґрунтів нафтопродуктами. Побудовано графічну інтерпретацію залежності концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігону твердих побутових відходів, яка дозволяє наочно проілюструвати цю залежність та показати збіжність теоретичних результатів з фактичними на рівні 0,9999996. Визначено, що безпечна відстань розміщення полігонів твердих побутових відходів від земель сільськогосподарського призначення за показником рівня хімічного забруднення ґрунтів нафтопродуктами складає 66 м.

Ключові слова: сміттєзвалище, полігон, тверді побутові відходи, хімічне забруднення, концентрація, нафтопродукти, ґрунт, регресійний аналіз.

Вступ

Для безпеки навколишнього природного середовища та охорони здоров'я людини велику небезпеку становлять тверді побутові відходи (ТПВ) [1, 2], що є сумішшю компонентів, на відміну від будівельних [3, 4] чи промислових [5] відходів, які є, переважно, однорідними й відносно легко підлягають переробці. Щорічний об'єм утворення ТПВ на території України перевищує 54 млн. м³, основна частина яких захоронюється на 6107 полігонах та сміттєзвалищах площею майже 7700 га та лише частково переробляються або утилізуються на сміттєспалювальних заводах, на відміну від високорозвинутих країн з широким впровадженням сучасних технологій переробки та утилізації ТПВ [6]. Протягом 1999 - 2014 рр. втричі збільшилась сумарна площа полігонів та сміттєзвалищ в Україні. Майже вдвічі зросла площа перевантажених та більше ніж втричі тих полігонів і сміттєзвалищ, які порушують норми екологічної безпеки, загрожуючи забрудненням навколишнього середовища (атмосфери, гідросфери та літосфери), зокрема й через хімічне забруднення ґрунтів, що викликає захворювання живих організмів [7], забруднення

прилеглих земельних ділянок [8], в тому числі земель сільськогосподарського призначення. Тому з метою зменшення темпів зростання площ полігонів та їхнього негативного впливу на навколишнє природне середовище виконують технологічну операцію ущільнення ТПВ під час завантаження в сміттєвоз [9, 10]. Зменшенню темпів зростання площ полігонів також сприятиме зневоднення ТПВ [11].

Постановка проблеми

Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 265 серед пріоритетних напрямів поведінки з ТПВ в Україні є забезпечення організації контролю за наявними та закритими полігонами ТПВ для запобігання шкідливому впливу на довкілля та здоров'я людини [12]. Тому визначення регресійної залежності концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігону твердих побутових відходів, яка може бути використана для визначення безпечної відстані розміщення полігонів ТПВ від земель сільськогосподарського призначення за показником рівня хімічного забруднення ґрунтів нафтопродуктами, є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В матеріалах статті [13] запропоновано математичні моделі прогнозування об'ємів утворення ТПВ та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні, за допомогою яких встановлено, що загальна площа полігонів та сміттєзвалищ, а також тих, що не відповідають нормам екобезпеки збільшується з часом приблизно за експоненціальним законом, а площа перевантажених полігонів та сміттєзвалищ, як тих, що відповідають, так і тих, що не відповідають нормам екобезпеки зростає щорічно майже лінійно. З метою зменшення темпів зростання площ полігонів виконується технологічна операція ущільнення ТПВ під час завантаження у сміттєвоз [9, 10]. Високий коефіцієнт ущільнення ТПВ забезпечує більш ефективне використання площі полігона [14, 15].

Про значне забруднення важкими металами ґрунтів через захоронення ТПВ вказано в роботах [16 – 19]. В статті [20] наведені дані щодо впливу важких металів на мікробіоценоз дерново-слабодізолистого ґрунту.

В статті [21] викладено огляд найбільш поширених методів ремедіації важких металів в ґрунті. В роботі [22] наведено дані щодо питомих затрат електроенергії на зменшення концентрацій методом електрохімічної ремедіації таких важких металів в ґрунті полігонів ТПВ, як кадмій, свинець та цинк. Цей метод оснований на використанні електричного струму для виділення відповідних забруднюючих речовин. Методом електрохімічної ремедіації можна відновлювати ґрунти безпосередньо на поверхні землі без їх відбору у спеціальні ємності, що робить процес менш енергоємним. В статті [23] визначено регресійну залежність питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів ТПВ через забруднення важкими металами (кадмію, свинцю та цинку) від їхніх концентрацій та ГДК. В роботі [24] опубліковано удосконалену математичну модель питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів ТПВ через забруднення важкими металами від концентрацій кобальту, міді, нікелю, хрому, ванадію та марганцю, які дозволяють оцінити енерговитрати очищення забруднених ґрунтів від вказаних речовин.

В статті [25] зазначено, що традиційно міське середовище проблему накопичення відходів вирішує за рахунок сільських територій, внаслідок чого виникає проблема забруднення останніх. А саме погіршення якості ґрунтів, води, повітря, а також встановлено, що полігон ТПВ може бути причиною погіршення якості питних вод та санітарно-гігієнічного стану ґрунтів на прилеглих сільських територіях. В статті [26] визначено регресійну залежність концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігонів ТПВ, що застосовано для визначення небезпечної глибини хімічного забруднення ґрунтів. В роботі [27] зазначено, що у період

експлуатації полігону ТПВ виникає небезпека забруднення ґрунтів відходами та нафтопродуктами, обумовлена впливом транспорту, що працює на полігоні. Автори публікації [28] зазначають, що небезпека забруднення ґрунтів нафтопродуктами полягає в їх міграції профілем ґрунту і виникненні небезпеки вторинного забруднення ґрунтових та поверхневих вод. В статті [29] наведена хімічна характеристика ґрунтів території полігону ТПВ с. Сенча Лохвицького району Полтавської області, зокрема рівень забрудненості нафтопродуктами на різних відстанях до полігону. Однак конкретних математичних залежностей концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігону твердих побутових відходів, в результаті аналізу відомих публікацій, автором не виявлено.

Мета і завдання статті

Метою цієї статті є використання методу регресійного аналізу при визначенні концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігону твердих побутових відходів, що може бути використано для визначення безпечної відстані розміщення полігонів ТПВ від земель сільськогосподарського призначення за показником рівня хімічного забруднення ґрунтів нафтопродуктами.

Методи і матеріали

Для визначення регресійної залежності концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігону ТПВ використано такі методи: регресійний аналіз результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей, комп'ютерне моделювання.

Результати досліджень

У таблиці 1 показані концентрації нафтопродуктів в ґрунтах полігону ТПВ с. Сенча Лохвицького району Полтавської області [29], отримані за допомогою методу вискоєфективної рідинної хроматографії. На основі даних таблиці 1 планувалось отримати парну регресійну залежність концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігонів ТПВ.

Таблиця 1

Концентрації нафтопродуктів в ґрунтах полігону ТПВ [29]

Відстань від полігону, ТПВ	0	50	100	200
Концентрація нафтопродуктів в ґрунті, мг/кг	1500	1100	798	264

Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, що дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась методом найменших квадратів [30] за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz" [31], яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір, і детально описана в роботі [32].

Програма "RegAnaliz" дозволяє проводити регресійний аналіз результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором раціонального виду функції із 16-ти найпоширеніших варіантів за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції зі збереженням результатів в форматі MS Excel та Bitmap.

Результати регресійного аналізу наведені в таблиці 2, де сірим кольором позначено комірку з максимальним значенням коефіцієнта кореляції R , що відповідає степеневій функції №16.

Отже, за результатами регресійного аналізу на основі даних таблиці 1, як найбільш адекватну остаточно прийнято таку регресійну залежність:

$$C_{\text{НП}} = 1500 - 16,47x^{0,815} \quad [\text{мг/кг}], \quad (1)$$

де $C_{нп}$ – концентрація нафтопродуктів в ґрунті, мг/кг; x – відстань до полігону ТПВ, м.

Таблиця 2

Результати регресійного аналізу залежності концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігону ТПВ

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,9954280	9	$y = ax^b$	0,5901348
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,9453512	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,7484184
3	$y = a + b / x$	0,7481048	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,7488349
4	$y = x / (a + bx)$	0,9379301	12	$y = a / (b + x)$	0,9453512
5	$y = ab^x$	0,9885910	13	$y = ax / (b + x)$	0,4563523
6	$y = ae^{bx}$	0,9885910	14	$y = ae^{b/x}$	0,5897661
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,9885910	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,5897661
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,4563431	16	$y = a + bx^n$	0,9999996

На рис. 1 показані фактична та теоретична графічні залежності концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігону ТПВ.

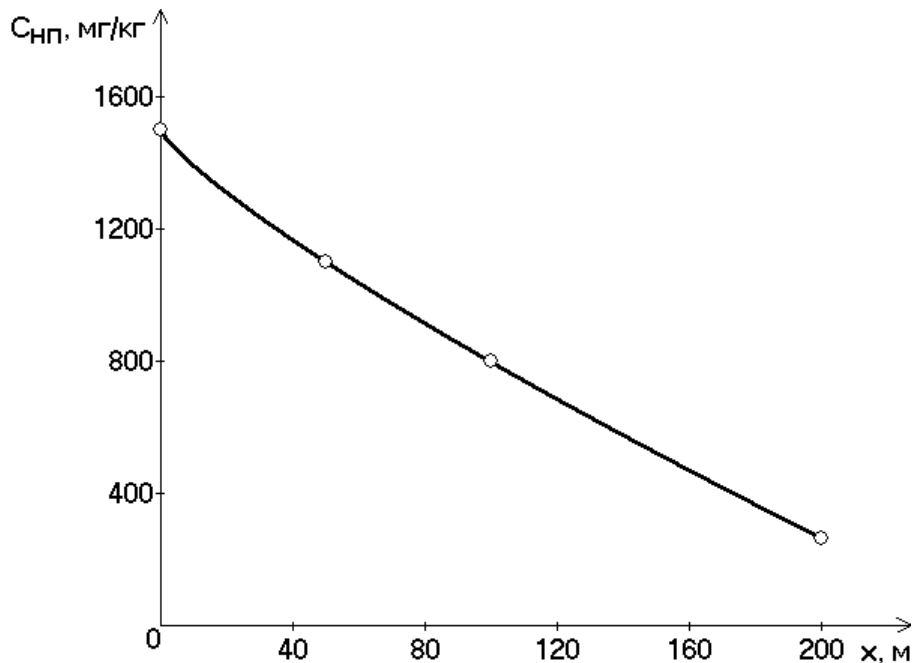


Рис. 1. Зміна концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігону ТПВ

Порівняння фактичних та теоретичних даних показало, що теоретичні концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігону ТПВ, розраховані за допомогою рівняння регресії (1), несуттєво відрізняються від даних, наведених в роботі [29], що підтверджує визначену раніше точність отриманої залежності на рівні 0,9999996.

Підставивши значення гранично допустимої концентрації нафтопродуктів в ґрунті ГДК = 1000 мг/кг [29] в рівняння регресії (1), визначимо безпечну відстань розміщення полігонів ТПВ від земель сільськогосподарського призначення за показником рівня хімічного забруднення ґрунтів нафтопродуктами

$$x = \left(\frac{1500 - C_{нп}}{16,47} \right)^{\frac{1}{0,815}} = \left(\frac{1500 - 1000}{16,47} \right)^{\frac{1}{0,815}} \approx 66 \text{ (м)}.$$

Висновки

1. Використано метод регресійного аналізу при визначенні концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігону твердих побутових відходів, що застосовано для визначення безпечної відстані розміщення полігонів ТПВ від земель сільськогосподарського призначення за показником рівня хімічного забруднення ґрунтів нафтопродуктами.

2. Побудовано графічну зміну концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігону твердих побутових відходів, яка дозволяє наочно проілюструвати цю регресійну залежність та показати збіжність теоретичних результатів з фактичними на рівні 0,9999996.

3. Визначено, що безпечна відстань розміщення полігонів ТПВ від земель сільськогосподарського призначення за показником рівня хімічного забруднення ґрунтів нафтопродуктами складає 66 м.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Hamer G. Solid waste treatment and disposal : effects on public health and environmental safety / G. Hamer // *Biotechnology advances*. – 2003. – Vol. 22, №. 1 – 2. – P. 71 – 79. – <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2003.08.007>.
2. Сагдеева О. А. Оцінка рівня екологічної небезпеки звалищ твердих муніципальних відходів / О. А. Сагдеева, Г. В. Крусір, А. Л. Цикало // *Екологічна безпека*. – 2018. – № 1. – С. 75 – 83.
3. Лемішко К. К. Використання промислових відходів енергетичної та хімічної галузі в технології виготовлення будівельних виробів / К. К. Лемішко, М. Ю. Стаднійчук, М. С. Лемешев // *Матеріали науково-практичної конференції «Енергія. Бізнес. Комфорт»*, 26 грудня 2018 р. – Одеса : ОНАХТ, 2019. – С. 23 – 25.
4. Ковальський В. П. Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах / В. П. Ковальський, О. С. Сідлак // *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: науково-технічний збірник*. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. – № 1 (16). – С. 35 – 40.
5. Синюк О. М. Наукові основи проектування обладнання для переробки полімерних відходів у виробі легкої промисловості : дис. ... доктора техн. наук : 05.05.10 / Синюк Олег Миколайович. – Хмельницький, 2018. – 485 с.
6. Мороз О. В. Економічні аспекти вирішення екологічних проблем утилізації твердих побутових відходів : монографія / О. В. Мороз, А. О. Свентух, О. Т. Свентух. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 110 с.
7. Піскун Р. П. Функціональна морфологія головного мозку при атеросклерозі в експерименті та під впливом вінпоцетину / Р. П. Піскун, С. М. Горбатюк // *Таврический медико-биологический вестник*. – 2006. – Т. 9, № 3. – С. 100 – 113.
8. Березюк О. В. Моделювання динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час літнього компостування / О. В. Березюк, С. М. Горбатюк, Л. Л. Березюк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2013. – № 4. – С. 17 – 20.
9. Березюк О. В. Структура машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів / О. В. Березюк // *Вісник машинобудування та транспорту*. – 2015. – № 2. – С. 3 – 7.
10. Березюк О. В. Шляхи підвищення ефективності пресування твердих побутових відходів у сміттєвозах / О. В. Березюк // *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві : науково-технічний збірник*. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – № 1 (6). – С. 111 – 114.
11. Березюк О. В. Експериментальне дослідження процесів зневоднення твердих побутових відходів шнековим пресом / О. В. Березюк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2018. – № 5. – С. 18 – 24.
12. Кабінет Міністрів України. Постанова № 265 “Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами” [Електронний ресурс] 4 березня 2004 / Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF>.
13. Березюк О. В. Математичне моделювання прогнозування об’ємів утворення твердих побутових відходів та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні / О. В. Березюк // *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: Науково-технічний збірник*. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – № 2. – С. 88 – 91.
14. Попович В. В. Ефективність експлуатації сміттєвозів у середовищі "місто-сміттєзвалище" / В. В. Попович, О. В. Придатко, М. І. Сичевський // *Науковий вісник НЛТУ України*. – 2017. – Т. 27, № 10. – С. 111 – 116.
15. Березюк О. В. Привод зневоднення та ущільнення твердих побутових відходів у сміттєвозі / О. В. Березюк // *Вісник машинобудування та транспорту*. – 2016. – № 2. – С. 14 – 18.
16. Impact Assessment of Contamination Pattern of Solid Waste Dumpsites Soil: A Comparative Study of Bauchi Metropolis / D. S. Buteh, I. Y. Chindo, E. O. Ekanem [et al.] // *World Journal of Analytical Chemistry*. – 2013. – Vol.

1, № 4. – P. 59 – 62.

17. Tripathi A. A study of physico-chemical properties and heavy metals in contaminated soils of municipal waste dumpsites at Allahabad India / A. Tripathi, D. R. Misra // International Journal Of Environmental Sciences. – 2012. – Vol. 2, № 4. – P. 1 – 10.

18. Heavy metal distribution in soil and plant in municipal solid waste compost amended plots / F. Ayari, H. Hamdi, N. Jedidi [et al.] // Int. J. Environ. Sci. Tech. – 2010. – № 7 (3). – P. 465 – 472.

19. Chao Su. A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques / Chao Su, LiQin Jiang, WenJun Zhang // Environmental Skeptics and Critics. – 2014. – № 3 (2). – P. 24 - 38.

20. Гринчишин Н. М. Вплив важких металів на мікробіоценоз дерново-слабопідзолистого ґрунту / Н. М. Гринчишин, Т. М. Лозовицька // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького. – 2009. – Т. 11, № 2 (41), Ч. 4. – С. 54 – 57.

21. Nanda S. Remediation of heavy metal contaminated soil / S. Nanda, J. Abraham // African Journal of Biotechnology. – 2013. – Vol. 12 (21). – P. 3099 – 3109.

22. Лысенко Л. Перспективы решения проблемы загрязнения почв тяжелыми металлами / Л. Лысенко, М. Пономарев, Б. Корнилович // Экологические технологии и ресурсосбережение. – 2001. – № 4. – С. 59 – 63.

23. Березюк О. В. Моделювання питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів твердих побутових відходів від забруднення важкими металами / О. В. Березюк // Комунальне господарство міст. Серія: безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика. – 2015. – № 1 (120). – С. 240 – 242.

24. Березюк О. В. Удосконалення математичної моделі питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів твердих побутових відходів від забруднення важкими металами / О. В. Березюк // Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи : II міжнар. наук.-практ. конф. : матеріали конф. – Львів : ЛДУ БЖД, 2015. – С. 185 – 187.

25. Макаренко Н. А. Вплив полігонів твердих побутових відходів на прилеглі сільські території / Н. А. Макаренко, О. О. Будак // Таврійський науковий вісник. – 2015. – № 93. – С. 227 – 233.

26. Використання методу регресійного аналізу при визначенні концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігонів твердих побутових відходів / О. В. Березюк // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2022. – № 1. – 6 с. – Режим доступу до журналу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/649/609>.

27. Плаксіна А. О. Вплив полігонів ТПВ на навколишнє середовище / А. О. Плаксіна, В. В. Березуцький // Безпека людини в сучасних умовах : матеріали доп. 7-ї Міжнар. наук.-метод. конф. та 105 Міжнар. конф. Європейської асоціації безпеки (EAS), 3 – 4 грудня 2015 р. – Харків : НТУ "ХП", 2015. – С. 246 – 251.

28. Дуда К. С. Техногенне забруднення ґрунту нафтопродуктами / К. С. Дуда, К. С. Сосєдко, О. Ф. Бабаджанова // Пожежна та техногенна безпека: наука і практика : Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів і студентів. – Черкаси : ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2016. – С. 21.

29. Типологізація техногенно порушених земель, які знаходяться під звалищами твердих побутових відходів, з урахуванням локальних особливостей / П. В. Писаренко, М. С. Самойлік, М. А. Галицька [та ін.] // Аграрні інновації. – 2022. – № 13. – С. 113 – 120.

30. Михалевич В. М. Математичні системи комп'ютерної алгебри як засіб підвищення ефективності і якості освітнього процесу з вищої математики / В. М. Михалевич, О. І. Шевчук, Н. Л. Буга // Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми // Зб. наук. прац. – Київ-Вінниця : ДОВ «Вінниця», 2007. – Випуск 14. – С. 357 - 360.

31. Березюк О. В. Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz") / О. В. Березюк // Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 49486. – К. : Державна служба інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації: 03.06.2013.

32. Березюк О. В. Встановлення регресій параметрів захоронення відходів та потреби в ущільнювальних машинах на основі комп'ютерної програми "RegAnaliz" / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 1. – С. 40 – 45.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2022.

Стаття пройшла рецензування 18.09.2022.

Березюк Олег Володимирович – д. т. н., доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки.

Вінницький національний технічний університет.