

ЕКСПЕРТНА МОДЕЛЬ ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОПРОДУКТАМИ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Я. О. Адаменко, Т. Б. Качала

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна. E-mail: yarad@inbox.ru

Розглянуті основні результати одного з завдань міжнародного проекту HUSKROUA/1001/110, а саме експертне оцінювання ймовірного забруднення ґрунтового покриву території Івано-Франківської області нафтопродуктами. Приведений алгоритм та розрахунки оцінювання ступеня компетентності експертів. Подані результати використання експертних оцінок для встановлення рангів забруднення нафтопродуктами земельних ділянок території Івано-Франківської області від різних галузей промисловості. Проведено співставлення одержаних результатів експертних оцінок з розрахунками за методом медіан рангів та середніх оцінок. Методика експертних оцінок, що застосована дозволить в подальшому вирішити питання щодо розроблення системи екологічного моніторингу ґрунтового покриву та розробити методи відновлення забруднених нафтопродуктами земельних ділянок.

Ключеві слова: нафтопродукти, ґрунт, експерт, забруднення, ранг, коефіцієнт конкордації.

ЕКСПЕРТНА МОДЕЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ЗЕМЕЛЬНИХ УЧАСТКОВ ІВАНО-ФРАНКОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Я. О. Адаменко, Т. Б. Качала

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
ул. Карпатская, 15, г. Івано-Франковск, 76019, Україна. E-mail: yarad@inbox.ru

Рассмотрены основные результаты одной из задач международного проекта HUSKROUA/1001/110, а именно экспертная оценка возможного загрязнения почвенного покрова территории Ивано-Франковской области нефтепродуктами. Приведенный алгоритм и расчеты оценки степени компетентности экспертов. Представленные результаты использования экспертных оценок для установления рангов загрязнения нефтепродуктами земельных участков территории Ивано-Франковской области от различных отраслей промышленности. Проведено сопоставление полученных результатов экспертных оценок с расчетами по методу медиан рангов и средних оценок. Предложенная методика экспертных оценок позволит в дальнейшем решить вопрос по разработке системы экологического мониторинга почвенного покрова и разработать методы восстановления загрязненных нефтепродуктами земельных участков.

Ключевые слова: нефтепродукты, ґрунт, експерт, забруднення, ранг, коефіцієнт конкордації.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Відновлення хімічно забруднених ділянок та їх реабілітація є важливим завданням у захисті навколишнього середовища. Для вирішення цього завдання розроблені технології відновлення ґрунтового покриву та його рекультивативної області. Однак, їх ефективне використання вимагає врахування численних взаємопов'язаних факторів, які включають інформацію про природно-антропогенні геосистеми, властивості і розповсюдження забруднень, можливості і ефективності різних технологій відновлення ґрунтового середовища. Такий облік утруднений без застосування комп'ютерних технологій обробки та аналізу даних на базі штучного інтелекту.

Метою роботи є використання методу експертних оцінок для встановлення рівня забруднення нафтопродуктами земельних ділянок в межах адміністративної області.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Експертні системи, що є однією з областей застосування штучного інтелекту, використовуються для аналізу і обробки різних типів інформації шляхом імітації ходу міркування, яким би скористався експерт при вирішенні поставленого завдання. Дослідження в області штучного інтелекту ведуться в різних країнах світу. Експертні системи успішно застосовуються в таких областях науки, як медицина, хімія, математика, геологія, планування і т.д. Ведуться дослідження і розробки нових експертних систем в екології [1-4 та ін.]. Найбільш доцільним на початкових етапах встановлення екологічної проблеми ми вважаємо використовувати експертну узагальнену думку щодо вирі-

шення поставленого завдання. Для цього широко використовуються методи системного аналізу [2].

Основні результати роботи виконані в рамках міжнародного проекту «Управління забрудненими нафтопродуктами ділянками» (HUSKROUA/1001/110), що фінансується Європейською комісією в рамках Програми співробітництва Угорщина-Словаччина-Румунія-Україна на 2007-2013 роки [5].

Одне з завдань досліджень міжнародного проекту HUSKROUA/1001/110 було встановлення потенційних місць забруднення нафтопродуктами ділянок в межах Івано-Франківської області. Для цього був застосований один з методів системного аналізу – метод Дельфи. Для розроблення експертної моделі забруднення нафтопродуктами ділянок землі нами використувалася наступний алгоритм:

- 1) уточнення проблем або об'єктів для експертизи;
- 2) формування групи експертів;
- 3) розробка анкети та опитування експертів;
- 4) математичне опрацювання результатів опитування;
- 5) уточнення експертами своїх оцінок.

За першим кроком алгоритму була уточнена проблема проведення подальшої оцінки, а саме за допомогою мозкового штурму експертами було встановлено, що в межах Івано-Франківської області потенційними забруднювачами ґрунтового покриву нафтопродуктами можуть бути наступні види господарської діяльності:

- нафто- і газопереробні заводи;
- об'єкти нафто- і газовидобутку;

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

- газокompресорні станції;
- газорозподільні станції (ГРС) та газорозподільні пункти (ГРП);
- автотранспортні підприємства;
- автозаправні станції (АЗС);
- автогазозаправні пункти (АГЗП) та автогазозаправні станції (АГЗС);
- об'єкти авіаційної галузі;
- залізничний транспорт та об'єкти залізничної інфраструктури.

Наступний крок – формування групи експертів. Конкретний склад і чисельність групи експертів визначається характером аналізованих проблем, можливістю притягнення до експертизи компетентних спеціалістів [6]. Ступінь компетентності експертів визначається за формулою:

$$K_k = \frac{K_3 + K_a}{2}, \quad (1)$$

де K_3 – коефіцієнт ступеня знайомства експерта з проблемою; $K_3 \leq 1$;

K_a – коефіцієнт аргументованості рішень експерта, $K_a \leq 1$.

Коефіцієнт ступеня знайомства (K_3) визначається самооцінкою експерта за десятибальною шкалою і множенням оцінки на 0,1. Може бути використана така шкала оцінок ступеня знайомства експерта з проблемою:

- 0 балів – експерт не знайомий із проблемою;
- 1-3 бали – погано знайомий, але проблема входить до кола інтересів;
- 4-6 балів – задовільно знайомий, але практично не займається;
- 7-9 балів – добре знайомий і займається практично;
- 10 балів – вузький фахівець із проблеми.

Для одержання значення K_a може бути використана шкала аргументованості (табл. 1). Експерт відмічає відповідну графу по кожному виду джерел, а потім числа з відзначених граф підсумовуються.

Таблиця 1 – Шкала оцінок аргументованості думок експертів

Джерело аргументів	Ступінь впливу аргументів		
	високий	середній	низький
Теоретичний аналіз	0,3	0,2	0,1
Досвід	0,5	0,4	0,2
Література	0,1	0,08	0,04
Інтуїція	0,05	0,04	0,02

Якщо розрахована ступінь компетентності експертів (коефіцієнт K_k) менша за 0,5, то такий експерт не приймає участі у подальшій експертній оцінці та визначається інший експерт.

Для виконання експертної оцінки було залучено одинадцять експертів з числа компетентних спеціалістів проекту HUSKROUA/1001/110, для яких шляхом самоаналізу була встановлена їх ступінь компетентності для вирішення проблеми у проведенні експертної оцінки забруднення нафтопродуктами земельних ділянок Івано-Франківської області (табл. 2). Розрахунок аргументованості експертів показав, що всі одинадцять експертів в достатній мірі компетентні в вирішенні даної проблеми та можуть приймати участь у подальшій експертній оцінці.

На третьому етапі експертами була самостійно розроблена база даних з об'єктів, які ймовірно забруднюють ґрунтовий покрив нафтопродуктами. До озна-

ченої база даних увійшло 407 об'єктів різних галузей промисловості (табл. 3). База даних формувалася на даних обласного управління статистики та відомостей з мережі Internet, також всі об'єкти були нанесені на карту Івано-Франківської області [5].

Для усвідомлення загальної думки експертів щодо рівня ймовірного забруднення ґрунтового покриву нафтопродуктами експертам була запропонована наступна бальна оцінка:

- 0 балів – територія не забруднена;
- 10-50 балів – територія слабо забруднена – фон до 0,4 ГДК;
- 60-80 балів – територія забруднена – вище фону 0,4-1,0 ГДК;
- 90-100 балів – територія сильно забруднена – вище 1,0 ГДК.

Таблиця 2 – Оцінка ступеня компетентності експертів

Експерт	Коло наукових інтересів експерта	K_3	K_a	K_k
1	Моделювання оцінок впливів техногенних об'єктів на навколишнє середовище	0,8	0,83	0,82
2	Екологічна безпека трубопровідного транспорту	0,7	0,76	0,73
3	Екологічна безпека зберігання та транспортування нафтопродуктів	0,6	0,72	0,66
4	Системи екологічного моніторингу	0,6	0,84	0,72
5	Екологічна безпека об'єктів гірничо-промислових об'єктів	0,8	0,52	0,66
6	Екологічний аудит територій	0,6	0,52	0,56
7	Екологічна безпека природних і антропогенно модифікованих геосистем	0,5	0,52	0,51
8	Геоінформаційне моделювання екологічно небезпечних процесів та явищ	0,5	0,52	0,51
9	Природна та техногенна безпека поверхневих гідроекосистем	0,6	0,64	0,62
10	Емісія нафтопродуктів у ґрунтового покриву	0,6	0,52	0,56
11	Запобігання природним повеням	0,5	0,53	0,52

Таблиця 3 – Зведена база даних оцінки об'єктів ймовірного забруднення ґрунтового покриву нафтопродуктів

Об'єкт (категорія) оцінки	Фактори оцінки	Кількість об'єктів оцінки у базі даних
Нафто- і газопереробні заводи	x_1	2
Об'єкти нафто- і газовидобутку	x_2	53
Газокompресорні станції	x_3	6
Газорозподільні станції та газорозподільні пункти	x_4	90
Автотранспортні підприємства	x_5	34
Автозаправні станції	x_6	133

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

Автогазозаправні пункти та автогазозаправні станції	x_7	28
Об'єкти авіаційної галузі	x_8	10
Залізничний транспорт та об'єкти залізничної інфраструктури	x_9	51

Опитування експерта проводилося анонімно шляхом занесення у базу даних відповідних балів (оцінок) для кожного з критерію (ймовірного об'єкту забруднення території нафтопродуктами). Всі оцінки, отримані в ході опитування експертів, зводяться в матрицю:

$$C = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{m1} & C_{m2} & \dots & C_{mn} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

При цьому деякі з оцінок можуть бути відсутніми, якщо експерт утримався від оцінки якогось чинника. На основі даних анкетного опитування складається зведена матриця рангів для ймовірних об'єктів забруднення території нафтопродуктами (табл. 4) та діаграма думок експертів (рис. 1). Так як в матриці є пов'язані ранги (однаковий ранговий номер) в оцінках 1-го, 2-го, 7-11-го експертів, зробимо їх переформування.

Переформування рангів проводиться без зміни думки експерта, тобто між ранговими номерами повинні зберегтися відповідні співвідношення (більше, менше або дорівнює). Також не рекомендується ставити ранг вище 1 і нижче значення рівного кількості параметрів. На підставі переформування рангів будуватиметься нова матриця рангів (табл. 5), де:

Переформування рангів проводиться без зміни думки експерта, тобто між ранговими номерами повинні зберегтися відповідні співвідношення (більше, менше або дорівнює). Також не рекомендується ставити ранг вище 1 і нижче значення рівного кількості параметрів. На підставі переформування рангів будуватиметься нова матриця рангів (табл. 5), де:

$$d = \sum x_{ij} - \frac{\sum \sum x_{ij}}{n} = \sum x_{ij} - 55. \quad (3)$$

Перевірка правильності складання матриці на основі обчислення контрольної суми:

$$\sum x_{ij} = \frac{(1+n)n}{2} = \frac{(1+9)9}{2} = 45. \quad (4)$$

Сума за стовпцями матриці рівні між собою і контрольної суми, значить, матриця складена правильно.

За розрахунками, чинники за значимістю розподілилися наступним чином (табл. 6).

Таблиця 4 – Зведена матриця рангів експертної оцінки ймовірних об'єктів забруднення території нафтопродуктами

Фактори оцінки	№ експерта										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x_1	50	45	70	90	75	40	45	90	80	75	75
x_2	57	43	68	52	67	33	47	52	74	58	58
x_3	40	40	12	38	50	17	20	28	60	60	60
x_4	14	33	2	47	35	6	0	47	49	47	47
x_5	19	51	19	40	15	9	10	41	36	27	27
x_6	50	40	26	39	0	13	10	40	50	27	20
x_7	20	33	10	36	10	12	0	36	30	28	20
x_8	36	40	20	30	13	18	20	35	66	37	37
x_9	60	54	44	53	7	22	69	52	60	31	31

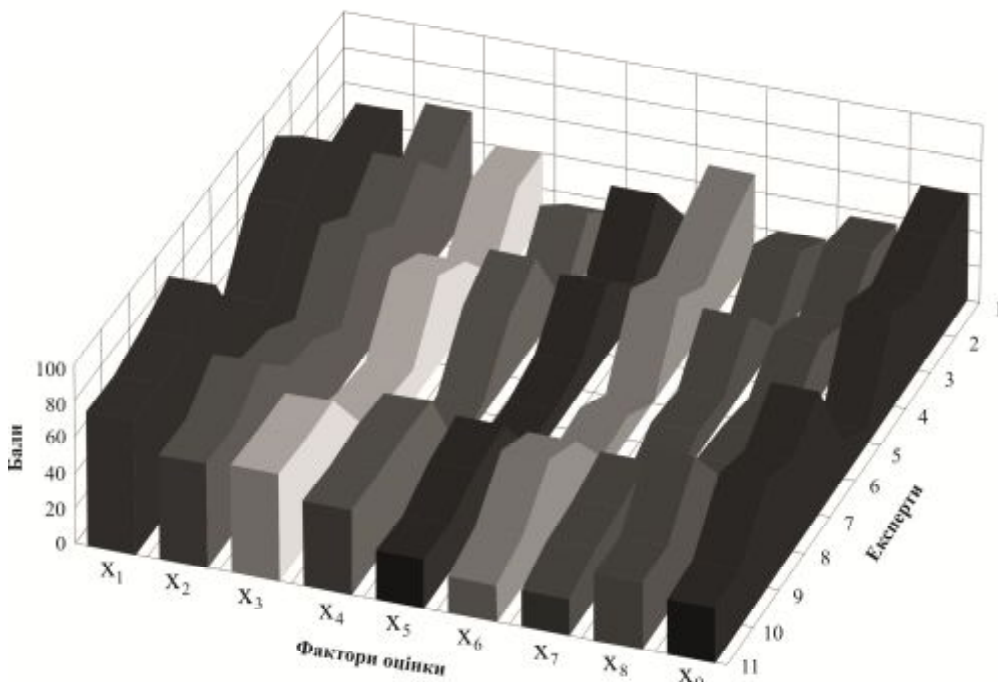


Рисунок 1 – Діаграма думок експертів, щодо ймовірного забруднення ґрунтового покриття Івано-Франківської області нафтопродуктами

Таблиця 5 – Переформатована матриця рангів

Фактори оцінки	№ експерта											Сума рангів	d	d ²
	1				5	6	7	8	9	10	11			
x ₁	6,5	7	9	9	9	9	7	9	9	9	9	92,5	37,5	1406,25
x ₂	8	6	8	7	8	8	8	7,5	8	7	7	82,5	27,5	756,25
x ₃	5	4	3	3	7	5	5,5	1	5,5	8	8	55,0	0	0
x ₄	1	1,5	1	6	6	1	1,5	6	3	6	6	39,0	-16	256
x ₅	2	8	4	5	5	2	3,5	5	2	1,5	3	41,0	-14	196
x ₆	6,5	4	6	4	1	4	3,5	4	4	1,5	1,5	40,0	-15	225
x ₇	3	1,5	2	2	3	3	1,5	3	1	3	1,5	24,5	-30,5	930,25
x ₈	4	4	5	1	4	6	5,5	2	7	5	5	48,5	-6,5	42,25
x ₉	9	9	7	8	2	7	9	7,5	5,5	4	4	72,0	17	289
Σ	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	495,0	0	4101

Таблиця 6 – Розташування факторів за значимістю

Фактори оцінки	Сума рангів
x ₇	24,5
x ₄	39,0
x ₆	40,0
x ₅	41,0
x ₈	48,5
x ₃	55,0
x ₉	72,0
x ₂	82,5
x ₁	92,5

Проведемо оцінку середнього ступеня узгодженості думок всіх експертів. Для цього скористаємося коефіцієнтом конкордації для випадку, коли є пов'язані ранги (однакові значення рангів в оцінках одного експерта):

$$W = \frac{S}{1/12m^2(n^3 - n) - m \sum T_i}, \quad (5)$$

де S=4101, n=9, m=11;

$$T_i = \frac{1}{12} \sum (t_i^3 - t_i);$$

Li – число зв'язок (видів повторюваних елементів) в оцінках i-го експерта;

t_i – кількість елементів в i-й зв'язці для i-го експерта (кількість повторюваних елементів).

Після проведення відповідних розрахунків одержуємо коефіцієнт конкордації W = 0,57, що вказує на наявність середнього ступеня узгодженості думок експертів. Для оцінки значущості коефіцієнта конкордації розраховуємо критерій узгодження Пірсона:

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12} mn(n+1) + \frac{1}{n-1} \sum T_i} = \frac{4101}{\frac{1}{12} 11 \times 9(9+1) + \frac{1}{9-1} 6.5} = 50.2 \quad (6)$$

Обчислений χ^2 порівняємо з табличним значенням для числа ступенів свободи K=n-1=9-1=8 і при заданому рівні значущості $\alpha=0,005$. Так як χ^2 розрахунковий 50,2 > табличного (21,95495), то W=0,57 – величина не випадкова, а тому отримані результати

мають сенс і можуть використовуватися в подальших дослідженнях.

Наприкінці процедури експертних оцінок готуємо рішення експертної комісії. На основі отриманої суми рангів (див. табл. 5) можна обчислити показники вагомості розглянутих параметрів. Для цього по кожному параметру обчислимо величини, зворотні сумі рангів та розраховуємо коефіцієнти вагомості параметрів (табл. 7).

Таблиця 7 – Показник вагомості факторів оцінки

Фактори оцінки	Величини, зворотні сумі рангів	Коефіцієнти вагомості параметрів
x ₇	0,0408	0,21
x ₄	0,0256	0,13
x ₆	0,025	0,13
x ₅	0,0244	0,13
x ₈	0,0206	0,11
x ₃	0,0182	0,095
x ₉	0,0139	0,0725
x ₂	0,0121	0,0633
x ₁	0,0108	0,0565

Поставлену перед експертами проблему, щодо забруднення нафтопродуктами ділянок в межах Івано-Франківської області також можна вирішити й іншими методами системного аналізу, а саме методами «Медіан рангів» та/або «Середніх оцінок». Результати розрахунків за цими методами наведені у таблиці 8.

Отже, вирішуючи поставлену проблему методами «Медіан рангів» та «Середніх оцінок» одержуємо, що такий ж результат як й за методом більших експертних оцінок:

$$x_7 < x_5 < x_6 < x_4 < x_8 < x_3 < x_2 < x_1. \quad (7)$$

ВИСНОВКИ. Використовуючи методи системного аналізу: метод Дельфи, метод медіан рангів та метод середніх оцінок для розроблення експертної моделі забруднення нафтопродуктами ділянок землі нами було одержано, що на думку експертів в межах Івано-Франківської області найменш забрудненими є ділянки що знаходяться в межах автогазозаправних пунктів та автогазозаправних станцій, а також в межах газорозподільних станцій та газорозподільних пунктів, а найбільш забруднені нафтопродуктами земельні ділянки експерти вважають об'єкти нафтогазовидобутку та нафтогазопереробки.

Таблиця 8 – Ранжування за медіаною та середньою оцінкою

Об'єкт (категорія) оцінки	Фактори оцінки	Медіана	Середня оцінка	Новий ранг
Нафто- і газопереробні заводи	x_1	75	66,82	9
Об'єкти нафто- і газовидобутку	x_2	57	55,36	8
Газокомпресорні станції	x_3	40	38,64	6
Газорозподільні станції та газорозподільні пункти	x_4	35	29,73	4
Автотранспортні підприємства	x_5	27	26,73	2
Автозаправні станції	x_6	27	28,64	3
Автогазозаправні пункти та автогазозаправні станції	x_7	20	21,36	1
Об'єкти авіаційної галузі	x_8	35	32,0	5
Залізничний транспорт та об'єкти залізничної інфраструктури	x_9	52	43,91	7

ЛІТЕРАТУРА

1. Экспертные системы в реабилитации окружающей среды: научное издание / М.А. Некрасова // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2003. – № 7. – С. 80-86.
 2. Системный анализ и моделирование экосистем: учебное пособие / В.В. Острошенко, Л.Ю. Острошенко / ФГБОУ ВПО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия». – Уссурийск, 2012. – 165 с.
 3. Качинський А.Л. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення. – К.: НСД, 2001. – 312 с. – (Сер. "Екологічна безпека"; Вип. 5).

4. Сараев А.Д., Щербина О.А. Системный подход, системный анализ и новейшие информационные технологии // Строительство и техногенная безопасность. Вып. 12, 2005. – С. 156-163.
 5. Прогнозне забруднення нафтопродуктами транскордонних територій / Я. О. Адаменко, Т. Б. Качала, А. Дескалеску, В. Орос // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-техн. журнал. – Івано-Франківськ, 2014. – № 1(9). – С. 4-8.
 6. Колпакова Т. А. Определение компетентности экспертов при принятии групповых решений // Радиоэлектроника, информатика, управління. – 2011. № 1. – С. 40-43.

EXPERT MODELS OIL CONTAMINATED AREA IVANO-FRANKIVSK REGION

Ya. Adamenko, T. Kachala

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
 vul. Carpathian, 15 Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine. E-mail: yarad@inbox.ru

The main results of one of the tasks of the international project HUSKROUA/1001/110, namely, expert assessment of possible contamination of soil petroleum territory of Ivano-Frankivsk region are describes. Above algorithm and calculations assessing the competence of experts. The presented results of the use of expert evaluations to establish ranks oil pollution of land territory of Ivano-Frankivsk region from various industries. A comparison of the results of expert assessments calculations by the method of the median ranks and the average rating. The proposed method of expert estimates will further resolve the issue for the development of an environmental monitoring system of soil and to develop methods for the recovery of oil-contaminated land.

Key words: oil, soil, expert, pollution, rank, coefficient of concordance.

REFERENCES

1. Nekrasova, M. (2003), *Ekspertnyye sistemy v reabilitatsii okruzhayushchey sredy: nauchnoye izdaniye*, Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Moscow, Russia, vol. 7, pp. 80-86.
 2. Ostroshenko, V. and Ostroshenok, L. (2012), *Sistemnyy analiz i modelirovaniye ekosistem: uchebnoye posobiye*, Primorskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya. Ussuriysk, Russia. 165 p.
 3. Kachins'kiy, A. (2001), *Yekologichna bezpeka Ukrainy: sistemnyy analiz perspektiv pokrashchennya*, Natsional'niy institut strategichnikh doslidzhen'. Kviv, Ukraine, 312 p.
 4. Sarayev, A. and Shcherbina, O. (2005), *Sis-*

temnyy podkhod, sistemnyy analiz i noveyshiye informatsionnyye tekhnologii, Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. Simferopol, Ukraine, vol. 12, pp. 156-163.
 5. Adamenko, Ya., Kachala, T., Deskalesku, A. and Oros, V. (2014), *Prognozne zabrudnennya naftoproduktami transkordonnikh teritoriy*, Yekologichna bezpeka ta zbalansovane resursokoristuvannya. Ivano-Frankivs'k, Ukraine, vol. 1(9), pp. 4-8.
 6. Kolpakova, T. (2011), *Opredeleniye kompetentnosti ekspertov pri prinyatii gruppovykh resheniy*, Radioelektronika, informatika, upravlinnya. Zaporzhyzha, Ukraine. vol. 1, pp. 40-43.