

# ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-10-74-76>

УДК 519.24:004.89

Архипов О.Є., Чмерук О.М.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігора Сікорського»

## АДАПТИВНИЙ ПІДХІД ДО ОБРОБКИ ДАНИХ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ

**Анотація.** Експертні процедури є ефективним, а в ряді випадків і єдиним способом отримання інформації, необхідної для вирішення широкого кола завдань у різноманітних сферах. У статті аналізуються точності аспекти обробки даних групової експертизи, зокрема, можливості реалізації оптимальної обробки цих даних. Показано, що спроба формулювання і рішення задачі оптимізації в максимально повній постановці призводить до виникнення конфліктної ситуації, обумовленої відсутністю необхідних апріорних відомостей для коректного вирішення завдання в цій постановці. Виходом є застосування адаптивного підходу до організації обробки даних, суть якого полягає в отриманні інформації, якої бракує безпосередньо з оброблюваної сукупності даних. Отримана додаткова інформація так чи інакше поповнює дефіцит апріорних відомостей, забезпечуючи вдосконалення структури й функцій елементів процедури обробки.

**Ключові слова:** групова експертиза, експертні дані, адаптація, адаптивний підхід, компетентність, метод найменших квадратів (МНК), метод найменших модулів (МНМ), принцип максимальної правдоподібності (ПМП), варіаційно-зважений МНК.

Arkhyrov Oleksandr, Chmeruk Oleksandr

National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

## ADAPTIVE APPROACH TO EXPERT EVALUATION PROCESSING

**Summary.** The complexity, lack of completeness and truthfulness of the information in solving a wide range of tasks now require the use of expert technologies aimed at obtaining from the specialists the information necessary for the formation and decision making. However, scientific research into the rational conduct of examination was started in the 1940s. The results of these studies make it possible to conclude that today expert assessments are mainly formed scientific method of analysis of complex unformalized problems. Expert procedures are effective, and in some cases the only way to obtain the information. The article analyzes the accuracy aspects of the processing of group examination data, in particular, the possibility of realizing the optimal processing of this data. It is shown that an attempt to formulate and solve the optimization problem in the most complete statement leads to a conflict situation due to the lack of the necessary a priori information for the correct solution of the problem in this statement. The way out is the use of an adaptive approach to organizing data processing, the essence of which is to extract the missing information directly from the processed data set. The additional information received, to one degree or another, makes up for the deficit of a priori information, ensuring the improvement of the structure and functions of the elements of the processing procedure. Improving the processing procedure increases its efficiency and allows you to further expand the amount of additional information received. As a result, an iterative process mode of adaptive data processing is formed, the concept of the adaptation level is introduced, its methodological and operational content, model representations of the basic elements of the adaptation procedure are considered. Possible levels of adaptation, their substantive aspect, methods of accumulating and storing information about the properties of expert data and characteristics of experts are described, the criteria and methodology for making decisions about data processing methods and forms of their implementation are considered.

**Keywords:** group examination, expert data, adaptation, adaptive approach, competence, least squares method, least modules method, maximum likelihood principle, variationally weighted least squares method.

**Постановка проблеми.** Серед експертних процедур, які застосовуються для вирішення найрізноманітніших завдань, найбільш популярною є колективна (групова) експертиза, яка дозволяє забезпечити високу ступінь точності та об'єктивності отриманих результатів. На жаль, «вузьким місцем» застосування групової експертизи є проблема якості робочої групи експертів. Для того, щоб уникнути цієї проблеми, при формуванні складу експертної групи необхідно дотримуватися певних вимог, зокрема, забезпечити належний рівень компетентності кожного з експертів: брак компетентності хоча б

одного з експертів може призвести до появи критичних помилок у даних групової експертизи, як наслідок – суттєві втрати інформації, що в кінцевому випадку призведе до ухвалення хибного рішення.

Тому ефективна, якісна обробка експертних даних значною мірою визначає коректність й правильність всієї експертизи в цілому. В цій ситуації особливу важливість і актуальність набуває *проблема аналізу та обробки експертної інформації*, оскільки виконання саме цих заходів дозволяє забезпечити якість рішень, що приймаються на базі експертної інформації [1].

Серед множини експертних технологій, що залучаються для вирішення різноманітних завдань, можна виділити досить розповсюджений вид групової (колективної) експертизи, який в роботах [2; 3] отримав назву багатооб'єктної експертизи (БОЕ). У БОЕ бере участь група з  $N$  експертів – експертна група (далі – ЕГ). Експерт надає індивідуальні експертні оцінки кожному з  $M$  об'єктів, що представлені до експертизи, тобто для БОЕ характерна сесійність: в ході роботи однієї і тієї ж ЕГ з  $N$  експертів цим складом експертів здійснюється серія з  $M$  групових експертиз – експертна сесія. Отримані в ході індивідуальних експертиз підмножини з експертних оцінок зводяться в загальну матрицю даних, що підлягають наступній спільній обробці:

$$Z = [z_{ij}] = \begin{pmatrix} z_{11} & \dots & z_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{M1} & \dots & z_{MN} \end{pmatrix} = [Z_1, Z_2, \dots, Z_N] \quad (1)$$

Результати індивідуальної експертизи, здійсненої  $j$ -м експертом, являють собою випадкову послідовність  $Z_j = [Z_1, Z_2, \dots, Z_M]^T$ , кожен елемент якої містить інформативну складову  $x_{j0}$ , спільну для всіх експертних оцінок  $z_{ij}$ ,  $j = \overline{1, N}$  і випадкову похибку  $e_{ij}$ , характеристики якої індивідуальні у кожного конкретного  $j$ -ого експерта:

$$z_{j0} = x_{j0} + \varepsilon_{ij}, \quad i = \overline{1, M}, \quad j = \overline{1, N}. \quad (2)$$

Очевидно, що мета обробки даних кожної окремої групової експертизи – визначення невідомого значення  $x_{j0}$ . Для досягнення цієї мети необхідно вибрати метод обробки даних експертизи. Процедура вибору методу включає в себе кілька етапів.

Перший – складання (фіксація) описової моделі формування даних експертного опитування, що включає відомості про професійно-компетентнісні характеристики експертів, припущення про механізми генерації помилок експертів і властивості цих помилок.

Другий етап – розробка (на основі відомостей першого етапу) формально-теоретичної моделі помилок даних групової експертизи.

Третій етап – вибір, з урахуванням характеристик помилок і виду їх модельного уявлення методології обробки даних.

Четвертий етап – безпосередній вибір (синтез) методу обробки даних групової експертизи. Вибір методу зазвичай здійснюється виходячи з формально-теоретичних моделей і методологічних положень, що описують механізм формування даних групової експертизи (зокрема, помилок цих даних).

На жаль, нині в практиці обробки експертних даних склалася ситуація, в якій точності аспекти обробки експертних даних, будучи формально пріоритетними, фактично поступаються місцем прагненням обробника до спрощення процедури обробки, мінімізації інтелектуальних витрат для її оптимізації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** свідчить, що у сфері обробки експертних даних вагомими результатами як в теоретичному, так і в практичному аспекті представлено у роботах В.Є. Снитюка, В.В. Циганка, Г.М. Гнатієнка, О.М. Цимбалюка, В.Г. Тоценка, Б.Є. Грабовецького, О.І. Орлова, Б.Г. Літвача.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Характерною рисою існуючих підходів до обробки даних експертизи є статичність обраної моделі даних, що обумовлює сталість (незмінність) методології та методів обробки. Проте реалізація обробки даних зумовлює появу певної додаткової інформації, яка, зокрема, дозволяє зкорегувати та уточнити відомості щодо моделі помилок даних, компетентності експертів, тощо. І в кінцевому підсумку робить можливим побудову більш якісної технології обробки.

**Мета даної статті** – огляд аспектів якості (точності) обробки даних групової експертизи, зокрема, можливості оптимізації якості обробки в залежності від способу опису та характеру відомостей про механізм виникнення помилок експертів, їх компетентності, а також застосування методів обробки даних. З огляду на зазвичай існуючу у обробника неповноту перерахованих вище відомостей, нерідко латентний характер їх подання, перспективи реальної оптимізації обробки даних групової експертизи в практичній ситуації є незначними.

Виходом із ситуації є застосування адаптивного підходу до обробки даних, суть якого полягає в вилученні з оброблюваної сукупності даних додаткової інформації, в тій чи іншій мірі, яка могла б заповнити дефіцит відсутніх апріорних відомостей, що призводить до підвищення ефективності виконуваної обробки за рахунок вдосконалення структури і функцій елементів вихідної процедури обробки.

**Виклад основного матеріалу.** Введена для цього рівня описова модель ЕГ має ідеалізований характер: передбачається рівний і високий рівень компетентності складу експертів, що забезпечує незміщеність індивідуальних експертних оцінок з незначними незалежними випадковими помилками, мають довільний розподіл з приблизно однаковими дисперсіями.

Ухвалення подібної ідеалізованої моделі дозволяє стверджувати, що помилки вимірювань розподілені за нормальним законом, тобто:

$$g_i(\Delta_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta_i^2}{2\sigma_i^2}}.$$

Допустимо, що середньоквадратична помилка  $\sigma_i$  кожного виміру однакова для всіх вимірювань, з точки зору проведення експертизи, маємо групу експертів з однаковою компетентністю, тому що компетентність експерта визначається рівнем його похибки. У цьому випадку функція правдоподібності має вигляд:

$$G = \prod_{i=1}^N g_i(\Delta_i) = \left( \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \right)^N e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N \Delta_i^2}.$$

Очевидно, що  $G$  досягає максимуму, коли  $\sum_{i=1}^N \Delta_i^2$  досягає мінімуму. Таким чином, у даному випадку, щоб отримати оцінки максимальної точності, треба мінімізувати суму квадратів нев'язок.

Якщо точності окремих вимірів різняться, так що

$$G = \frac{1}{\prod_{i=1}^N \sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\sum_{i=1}^N \frac{\Delta_i^2}{2\sigma_i^2}},$$

то для досягнення максимальної правдоподібності оцінки, необхідно мінімізувати зважену суму квадратів нев'язок:

$$F = \sum_{i=1}^N p_i \Delta_i^2,$$

де  $p_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$  називається вагою  $i$ -го вимірювання.

Оцінки, отримані в результаті мінімізації зваженої суми квадратів нев'язок, мають назву оцінок метода найменших квадратів (МНК), а відповідно до специфіки завдання даних експертиси – це означає, що у якості оптимальної оцінки використовуємо метод середнього арифметичного результату експертиси.

Таким чином, на нульовому рівні адаптації обробки експертних даних отриманню підсумкового результату передують прийняття наступного набору тверджень:

– змістовно-описова модель ЕГ визначається у вигляді сукупності експертів з однаково високим рівнем компетентності;

– модельною розподілу помилок експертів відповідає нормальний розподіл (закон Гаусса);

– з огляду на використання статистичних моделей для опису помилок даних використовується методологія ММП, що, з урахуванням викладених вище тверджень, призводить до МНК, причому МНК-оцінкою невідомого значення  $x_{i0}$  в даному випадку середньоарифметичне значення  $\bar{z}_i$  елементів  $i$ -го рядки матриці  $Z$ .

Простий і швидкий спосіб вирішення описаного конфлікту полягає в суб'єктивному домисленні відсутньої інформації, що дозволяє конкретизувати і звизити невизначеність у вихідній постановці завдання і штучно сформувати інформаційний базис, що забезпечує доказовість заздалегідь передбаченого рішення. Здійснюється підбір на перший погляд правдоподібних або «нейтральних» припущень, що ведуть до досить довільного опису помилок даних, до прямої фальсифікації формально-теоретичної моделі помилок і, як наслідок, – до імітації доказової оптимальності заздалегідь обраного методу обробки.

Один з найбільш поширених варіантів реалізації цього способу – легендування нормальності помилок в експертних даних, свідомо веде до найпростішого, але в багатьох випадках не кращого вирішення завдання оптимізації – обчислення вибіркового середнього.

### Перший рівень адаптації.

Досвід практичної роботи свідчить про те, що представлену вище описову модель ЕГ фактично не можна реалізувати, тому що вкрай складно підібрати групу висококваліфікованих експертів, близьких один одному за рівнем своєї компетентності. Групи, що включають експертів різного рівня, допускають кілька модельних описів.

По-перше, це так звана сумішевих модель ЕГ, що припускає наявність двох груп експертів: кластера висококваліфікованих фахівців і групи «аномальних» експертів (АЕ), експертні оцінки яких «випадають» із загальної сукупності даних. Відповідно експертні дані, отримані від АЕ, можуть спотворювати модель розподілу решти сукупності вибіркового даних. Ідентифікація АЕ і усунення із загальної матриці всіх належних їм даних переводить сумішеву в описову модель нульового рівня адаптації. Однак процедура ідентифікації АЕ, зазвичай спирається на застосування суб'єктивних рішень і евристичних методів аналізу, і є досить трудомісткою і супе-

речливою, через що не часто застосовується на практиці.

Більш перспективною є узагальнена змішана модель (УЗМ), яка описує реальність потрапляння у склад ЕГ експертів із різним рівнем компетентності й, як наслідок, наявність значущих відмінностей в рівнях  $\sigma_{\epsilon j}^2$  дисперсій помилок експертів (гетероскедастичність помилок).

У загальному випадку УЗМ передбачає існування множини можливих індивідуальних (приватних) моделей розподілу помилок експертів, що обумовлює проблематичність побудови деякого універсального статистичного підходу до обробки експертних даних. Однак, залишаючись в рамках дуже поширеного припущення про нормальність розподілу помилок кожного експерта окремо, гетероскедастичності даних у вибірці-рядку  $Z_i = [z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{iN}]$  можна трактувати як наслідок випадкового варіювання дисперсії  $\Sigma_{\epsilon}^2$  в законі нормального розподілу:

$$f(\epsilon) = \frac{1}{\Sigma_{\epsilon} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\epsilon^2}{2\Sigma_{\epsilon}^2}}, \quad (3)$$

в якому середньоквадратичне відхилення (СКВ)  $\Sigma_{\epsilon}$  входить в якості випадкового параметра. Реалізація значень цього параметра, що визначає рівень компетентності конкретного експерта, відбувається в момент включення відповідного експерта в ЕГ. В результаті для ЕГ отримуємо вектор-рядок реалізацій приватних значень СКВ  $[\sigma_{\epsilon 1}, \sigma_{\epsilon 2}, \sigma_{\epsilon 3}, \dots, \sigma_{\epsilon N}]$ , що характеризують компетентнісний склад ЕГ. З огляду на те, що СКВ – параметр масштабу, випадкову похибку довільної групової експертиси можна промодельовувати [1] добутком двох взаємно незалежних випадкових величин  $\Sigma_{\epsilon}$  і  $E_s$ :

$E = \Sigma_{\epsilon} E_s$ , (4) де  $E_s$  – випадкова величина, яка має стандартний нормальний розподіл:

$$f(\epsilon) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\epsilon^2}{2}}, \quad (5)$$

Для розподілу щільності ймовірності випадкової величини  $E$  справедливим є наступне співвідношення:

$$f(\epsilon) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\sigma_{\epsilon}) f_s \left( \frac{\epsilon}{\sigma_{\epsilon}} \right) \frac{d\sigma_{\epsilon}}{|\sigma_{\epsilon}|}, \quad (6)$$

Завдання щільності ймовірностей  $f(\sigma_{\epsilon})$  здійснюється виходячи з деяких правдоподібних (логічних) припущень про компетентнісні характеристики експертів, включених до складу ЕГ. Зокрема, неспроможним є припущення про існування ЕГ з абсолютно компетентних експертів, судження (оцінки) яких не містять помилок (тобто СКВ їх помилок дорівнює 0). Точно також малоймовірно (при більш-менш відповідальному підборі складу експертів) переважання в складі ЕГ аномальних експертів, для яких характерний дуже високий рівень помилок. Зате цілком правдоподібно наявність в складі ЕГ ряду достатньо кваліфікованих фахівців, чий СКВ локалізуються в області значень праворуч від точки  $\sigma_{\epsilon} = 0$  у вигляді деякого однокстремального фрагмента щільності ймовірності  $f(\sigma_{\epsilon})$ . Значення і стан цього екстремуму залежать від середнього рівня компетентності експертів, що входять в ЕГ: зниження цього рівня зміщує екстремум вправо, розширюючи область локалізації можливих значень СКВ в сторону великих відхилень.

В цілому для опису рівня розкиду значень СКВ помилок експертів, включених до складу ЕГ, досить адекватним представляється його апроксимація розподілом Релея:

$$f(\sigma_\varepsilon) = \frac{\sigma_\varepsilon}{\Delta^2} e^{-\frac{\sigma_\varepsilon^2}{2\Delta^2}}, \quad (7)$$

який залежить від одного параметра  $\Delta$ , що представляє моду цього розподілу. При малих значеннях  $\Delta$  розподіл середньоквадратичних відхилень  $\sigma_\varepsilon$  експертів, що входять до складу ЕГ, в основному компактно локалізується уздовж осі абсцис праворуч від початку координат (рис. 1), що характерно для ЕГ, що складається з кваліфікованих висококомпетентних експертів. З ростом значень  $\Delta$  загальний рівень компетентності групи знижується за рахунок появи експертів, що допускають високий рівень розкиду помилок, а при  $\Delta \geq 2$  в складі групи з досить великою ймовірністю можуть виявитися «аномальні» експерти.

Підставляючи у вираз (6) співвідношення для щільностей (5) та (7), отримуємо:

$$f(\varepsilon) = \frac{1}{\Delta^2 \sqrt{2\pi}} \int_0^\infty e^{-\frac{\sigma_\varepsilon^2}{2\Delta^2}} e^{-\frac{\varepsilon^2}{2\sigma_\varepsilon^2}} d\sigma_\varepsilon \quad (8)$$

Інтеграл (8) є окремим випадком табличного інтегралу [4, с. 356, формула 3.478.4], знаходження якого потребує обчислення циліндричних функцій. Опускаючи проміжні обчислення, наводимо остаточний результат [1]:

$$f(\varepsilon) = \frac{1}{2\Delta} e^{-\frac{|\varepsilon|}{\Delta}}, \quad (9)$$

що відповідає виразу для густини випадкової величини, розподіленої за законом Лапласа (рис. 2). На відміну від виразу (3), формула (9) вже не містить випадкового параметра.

Таким чином, результати групової експертизи, виконаної групою експертів з різним рівнем компетентності, представлені вектором-рядком  $Z_i = [z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{iN}]$ , можна розглядати як вибірку даних, помилки спостереження яких є реалізаціями випадкової величини, що описується сумісним розподілом рівноможливих нормально розподіле-

них елементів, СКВ яких змінюється випадковим чином відповідно до закону Релея. В кінцевому підсумку ці помилки виявляються розподіленими за законом Лапласа (9), тобто відхід від ідеалізованого уявлення компетентнісних характеристик ЕГ і спроба адаптації до реальності призводить до зміни статистичної моделі помилок експертів. При цьому, продовжуючи аналіз даних в рамках методології ММП, приходимо до нового результату: для Лапласового розподілу помилок експертних даних найкращою вибірковою оцінкою значення  $x_{i0}$  є медіана  $z_{i med}$ , так звана оцінка методу найменших модулів (МНМ-оцінка), тому що мінімізує значення статистики виду

$$Q_{МНМ} = \sum_{j=1}^N |z_{ij} - z_{i med}|. \quad (10)$$

З причини неможливості безпосередньої реалізації аналітичної процедури обчислення МНМ-оцінок, в ряді випадків в якості оцінки виступає вибіркова медіана – середній елемент ранжированої сукупності значень експертних даних (при непарному числі експертів) або півсума пари середніх елементів (при парному). На жаль, при малих значеннях застосування вибіркової медіани може призводити до значних похибок, більш точні результати виходять при аналітичному знаходженні МНМ-оцінок за допомогою ітеративного варіаційно-зваженого МНК.

Метод ВЗНК – являє собою ітеративну процедуру, що реалізує обчислення оцінок за МНМ (дає оцінку справжньої медіани). У загальному вигляді цей метод був запропонований В.І. Мудровим та В.Л. Кушко в роботі [5], у свою чергу його вдалося адаптувати для досліджуваної задачі обробки експертних оцінок.

Нехай  $\omega_i$  –  $i$ -та вага, а  $Q$  – критеріальна статистика, яка визначається наступним чином:

$$Q = \sum_i \omega_i (x_i - x_0)^2 = \sum_i \omega_i (x_i^2 + x_0^2 + 2x_0 x_i).$$

Для отримання результату, мінімізуємо її:

$$\frac{dQ}{dx_0} = -2 \sum_i \omega_i (x_i - x_0) = 0.$$

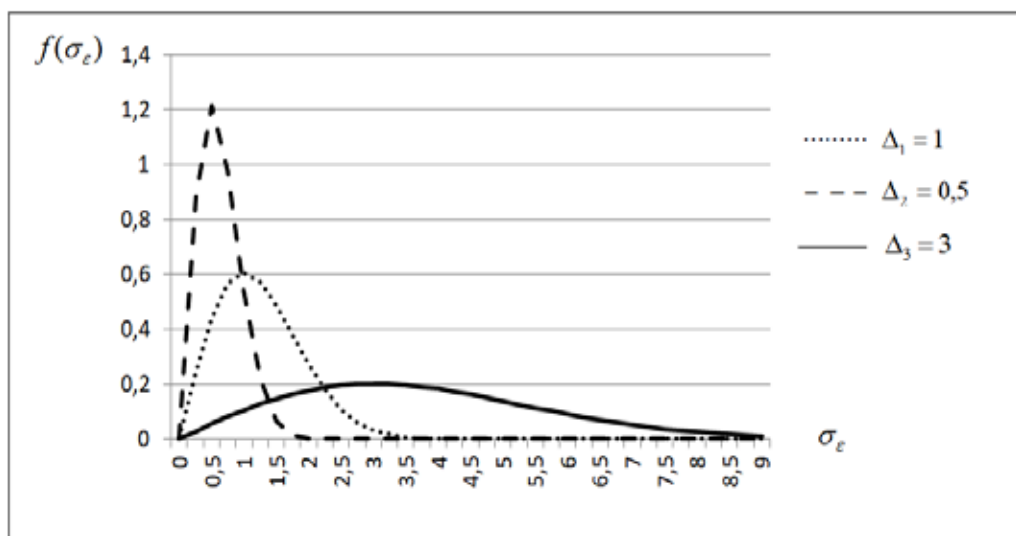


Рис. 1. Апроксимація розподілу  $f(\sigma_\varepsilon)$  щільності ймовірностей СКВ помилок експертів за законом Релея для різних значень параметра  $\Delta$

Джерело: розроблено авторами

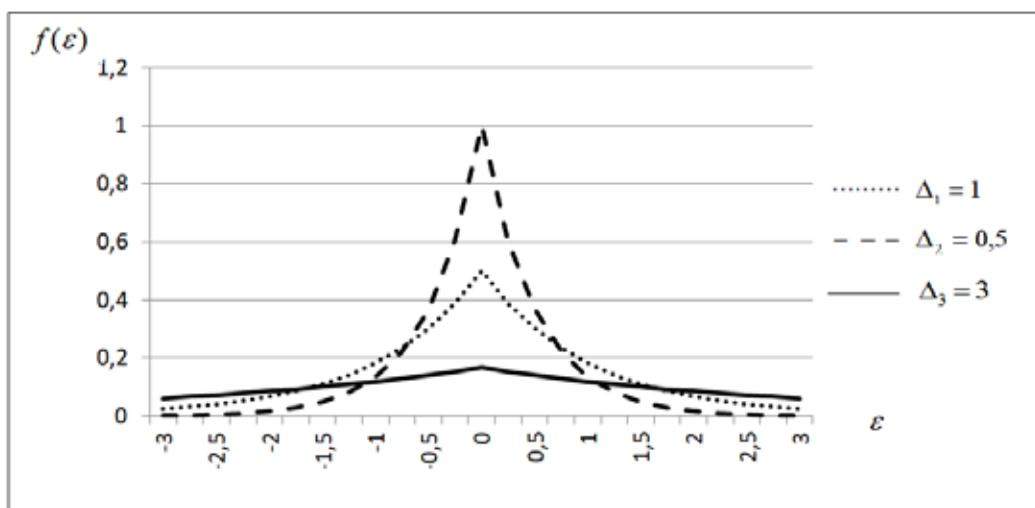


Рис. 2. Розподіл  $f(\varepsilon)$  помилок експертів (закон Лапласа) для різних значень параметра  $\Delta$

Джерело: розроблено авторами

$$\sum_i \omega_i X_i = x_0 \sum_i \omega_i, x_0 = \frac{1}{\sum_i \omega_i} \sum_i \omega_i X_i.$$

Якщо  $\omega_i = \frac{1}{|\Delta_i|} = \frac{1}{|x_i - x_0^j|}$ , то

$$x_0^{(j)} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{|x_i - x_0^{(j-1)}|}} \sum_i \frac{1}{|x_i - x_0^{(j-1)}|} X_i.$$

Перший крок,  $j = 1$ :

у цьому випадку  $\omega_i = 1$ :

$$x_0^{(1)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i,$$

$$\omega_i^{(1)} = \frac{1}{|x_i - x_0^{(1)}|},$$

$$v_i = \frac{\omega_i}{\sum_i \omega_i}.$$

Другий крок,  $j = 2$ :

$$x_0^{(2)} = \frac{1}{\sum_i \omega_i^{(1)}} \sum_i X_i \omega_i^{(1)},$$

$$\omega_i^{(2)} = \frac{1}{|x_i - x_0^{(2)}|}.$$

$j$  – й крок:

$$x_0^{(j)} = \frac{1}{\sum_i \omega_i^{(j-1)}} \sum_i X_i \omega_i^{(j-1)}.$$

$$Q^j = \sum_{i=1}^n \frac{1}{|x_i - x_0^{(j-1)}|} \frac{(x_i - x_0^{(j)})^2}{\varepsilon^j} = \sum_{i=1}^n |x_i - x_0^{(j)}| = \sum_{i=1}^n \varepsilon^{(j)}_i.$$

Якщо  $|x_i^{(j)} - x_0^{(j)}| \approx |x_i^{(j-1)} - x_0^{(j-1)}|$ , то закінчення ітеративного циклу, аналогічно:  $x_0^{(j-1)} \approx x_0^{(j)}$ .

Таким чином, перший рівень адаптації характеризується відходом від ідеалізованого опису складу ЕГ, спробою обліку існування реальних відмінностей в компетентностях експертів, що приводить в підсумку до трансформації модельного закону розподілу елементів вибірки-рядка

$Z_i = [z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{iN}]$ , з нормального в закон Лапласа, що, відповідно до методології ПМП, обумовлює зміни застосовуваного методу оцінювання: перехід від МНК-до МНМ-оцінкам. На жаль, обґрунтування закону Лапласа спирається на суб'єктивне рішення, пов'язане з припущенням про можливість опису випадкового розкиду СКВ помилок експертів законом Релея.

#### Другий рівень адаптації.

При реалізації обробки даних з нульовим і першим рівнем адаптації для вибору методу обробки використовувалася тільки інформація загального характеру про можливі особливості механізму формування випадкових помилок в даних групової експертизи. Однак проведення експертної сесії і, як результат, наявність повного обсягу відомостей про проведену в її рамках серії групових експертиз, представлених матрицею  $Z$ , дозволяє частково відмовитися від використання ймовірно-статистичного підходу до опису та обробки експертних даних. Пропонується персоналізувати підхід до обробки даних групової експертизи, застосувавши більш простий і прозорий метод зваженого середнього, де ваги залежать від ступеня довіри до інформації, одержуваної від кожного конкретного експерта. Основна проблема, що виникає в цьому випадку, – об'єктивне призначення ваг.

При визначенні ваг відштовхуємось від того, що кожен вектор-стовпець  $Z_j = [Z_1, Z_2, \dots, Z_{Mj}]^T$ ,  $j = \overline{1, N}$  матриці  $Z$ , складений з результатів індивідуальних експертиз, проведених  $j$ -м експертом, містить інформацію двох видів: що є метою експертизи «правильну» детерміновану інформацію  $x_{j0}$  про кожний  $j$ -й об'єкт, невідому, але загальну для всіх експертів, інформацію про індивідуальні випадкові помилки експерта, що характеризують рівень його компетентності. При відсутності помилок експертів результати індивідуальних експертиз повинні збігатися і могли б бути представлені одною точкою  $X_0 = [x_{10}, x_{20}, \dots, x_{M0}]^T$  в  $M$ -мірному просторі експертної сесії. Однак наявність помилок експертів призводить до розширення цієї точки в кластера, що містить  $N$

точок образів експертів. При адекватному підборі складу ЕГ щільність кластера неоднорідна і максимальна в околі  $Z_0$ . Відстань  $r_j$  від точки  $X_0 = [x_{10}, x_{20}, \dots, x_{M0}]^T$  до точки-образа  $j$ -ого експерта характеризує рівень компетентності цього експерта і використовується при розрахунку показника компетентності [6]:

$$c_j = \frac{1}{(1-B)e^{b_0 r_j} + B}. \quad (11)$$

Формула (11) визначає структуру шкального перетворення  $c_j = f(r_j)$ , можливі (рекомендовані [7]) значення параметрів:  $b_0 = 15$ ,  $B = 0,967$ . Оцінки відстані  $r_j$  теоретично можуть лежати в діапазоні від 0 до значень, близьких до  $\infty$ , а відповідні їм значення показника компетентності  $c_j$  змінюються в діапазоні від 1 до 0 (повна, абсолютна некомпетентність). Знання елементів вектора компетентностей експертів  $C = [c_1, \dots, c_N]$ , дозволяє розрахувати підсумкові середньозважені оцінки для кожного  $i$ -ого об'єкта групової експертизи:

$$\tilde{z}_i = \frac{\sum_{j=1}^N c_j z_{ij}}{\sum_{j=1}^N c_j} = \sum_{j=1}^N w_j z_{ij}, i = \overline{1, M}, \quad (12)$$

де  $w_j = c_j / \sum_{j=1}^N c_j$ ,  $j = \overline{1, N}$  – вагові коефіцієнти,

що враховують співвідношення рівнів компетентності експертів. При «ідеальному» підборі експертів, що входять до складу ЕГ, тобто для випадку  $c_j = 1$ ,  $j = \overline{1, N}$ , всі ваги виявляються одиничними:  $w_j = 1$ , оцінки середнього і зваженого середнього збігаються.

Таким чином, другий рівень адаптації забезпечує досить високу конкретизацію відомостей про експертів, що дозволяє виключити застосування теоретико-імовірнісних моделей як для опису характеристик ЕГ, так і для опису властивостей вихідних даних. Відповідно, замість методології ММП використовується поняття цінності (корисності, важливості) відомостей, одержуваних від експертів, що базується на оцінках їх компетентності, що перераховуються в систему персоніфікованих вагових коефіцієнтів  $w_j$ ,  $j = \overline{1, N}$ , дозволяючи отримати прості і наочні середньозважені результуючі оцінки групової експертизи для кожного з об'єктів, які піддаються експертизі.

Третій рівень адаптації. Для цього рівня адаптації необхідна наявність точних значень параметрів (показників), які оцінювалися на попередніх сеансах експертної сесії.

Згідно з методологією ММП, МНК-оцінка являє собою оптимальну оцінку невідомого «справжнього» значення  $x_{i0}$  при нормальній (Гаусовій) моделі розподілу помилок експертів в елементах вибірки-рядка  $Z_i = [z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{iN}]$  в разі розподілу цих помилок за законом Лапласа оптимальною стає МНМ-оцінка. Однак розподіл помилок в даних реальної групової експертизи так чи інакше завжди відрізняється від модельних розподілів, тому оцінки  $z_i$ ,  $z_{imed}$  є квазіоптимальними, причому оцінити ступінь втрати оптимальності не представляється можливим. Проте, ґрунтуючись на матеріалах, представлених в [7], на базі отриманих квазіоптимальних оцінках можна побудувати так звану групову (комплексну) оцінку  $z_{igr}$ , дисперсія якої в найгіршому випадку не пере-

вищить меншу з дисперсій вихідних оцінок. Інформація, необхідна для формування оцінки  $z_{igr}$  задається коваріаційною матрицею помилок методів оцінювання (тобто помилок МНК-оцінок  $z_i$  і МНМ-оцінок  $z_{imed}$ ,  $i = \overline{1, M}$ ) вида:

$$COV = \begin{bmatrix} D\{\bar{z}\} & cov \\ cov & D\{z_{imed}\} \end{bmatrix} \quad (13)$$

де  $D\{\dots\}$  і  $cov$  – дисперсія і коваріація помилок, які розраховуються за формулами:

$$D\{\bar{z}\} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\bar{z}_i - x_{i0})^2, \quad (14)$$

$$D\{z_{imed}\} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (z_{imed} - x_{i0})^2, \quad (15)$$

$$cov = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\bar{z}_i - x_{i0})(z_{imed} - x_{i0}). \quad (16)$$

За даними коваріаційної матриці  $COV$  розраховуються загальні ваги для МНК та МНМ-оцінок і значення групової оцінки для кожної окремої групової експертизи:

$$z_{igr} = w_1 \bar{z}_i + w_2 z_{imed}, \quad (17)$$

де

$$w_1 = \frac{D\{z_{imed}\} - cov}{D\{\bar{z}\} + D\{z_{imed}\} - 2cov}, \quad (18)$$

$$w_2 = \frac{D\{\bar{z}\} - cov}{D\{\bar{z}\} + D\{z_{imed}\} - 2cov}. \quad (19)$$

Дисперсія групової оцінки визначається за формулою:

$$D\{z_{gr}\} = w_1^2 D\{\bar{z}\} + w_2^2 D\{z_{imed}\} + 2cov. \quad (20)$$

Знаходження значень елементів матриці  $COV$  виявляється можливим тільки при наявності сукупності даних, що включає безлічі пар оцінок  $\bar{z}_i$ ,  $z_{imed}$ ,  $i = \overline{1, M}$ , отриманих раніше в ході порядкової обробки матриці  $Z$  на двох перших рівнях адаптації, і вектора  $X_0 = [x_{10}, x_{20}, \dots, x_{M0}]^T$  точних апостеріорного значень прогнозу. Спільна обробка цих відомостей за формулами (14) – (16) дозволяє створити додаткову інформацію для визначення елементів матриці  $COV$  використовуваних далі для обчислення групової оцінки  $z_{igr}$ . Зауважимо, що для обробки даних групової експертизи, представлених вибіркою-рядком  $z_i = [z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{iN}]$  можуть залучатися поряд з МНК, МНМ і інші методи. У загальному випадку результатом застосування  $K$  різних методів буде безліч оцінок  $\tilde{z}_{ik}$ ,  $k = \overline{1, K}$ , де  $k$  – порядковий номер методу обробки, яким була розрахована відповідна  $k$ -а оцінка. Для отриманої множини значень  $\tilde{z}_{ik}$ ,  $k = \overline{1, K}$ , також можливе формування групової (комплексної) оцінки  $z_{igr}$ :

$$z_{igr} = \sum_{k=1}^K w_k \tilde{z}_{ik}. \quad (21)$$

Для знаходження групової оцінки (21) використовується наступне робоче співвідношення [7]:

$$W = \frac{COV^{-1}}{\uparrow^T COV^{-1} \uparrow}, \quad (22)$$

$$D\{z_{gr}\} = W^T COV W, \quad (23)$$

де  $W = [w_1, w_2, \dots, w_K]^T$  – вектор вагових коефіцієнтів методів обробки,  $COV$  – коваріаційна матриця помилок методів обробки (аналогічна матриці (13), симетрична, розмірністю  $K \times K$ ),  $\hat{1} = [1, 1, \dots, 1]^T$  – вектор-стовпець довжини  $K$ , всі елементи якого – одиниці.

Обсяг відомостей, доступних на третьому рівні адаптації, допускає, крім побудови групових оцінок, застосування вже розглянутого на другому рівні адаптації методу зваженого середнього. При оцінюванні компетентностей експертів, завдяки наявності точних апостеріорного значень  $X_0 = [x_{10}, x_{20}, \dots, x_{M0}]^T$ , усуваються можливі помилки обчислення відстані  $r_j$ ,  $j = \overline{1, N}$ , зумовлені використанням на другому рівні адаптації замість точних координат точки  $X_0$  в  $M$ -вимірному просторі їх наближених оціночних значень, що відповідають координатам  $Z_0$  центру кластера результатів експертної сесії. Це дозволяє підвищити точність індивідуальних оцінок компетентності експертів в діапазоні високих значень компетентності (близьких до 1).

**Висновки.** Адаптивний підхід до обробки експертних даних – цілеспрямоване формування (адаптація) процедури обробки даних, зокрема, її основного елемента – методу, орієнтоване на підвищення рівня точності обробки. Адаптивний підхід не є одноразовим операціональним актом, бо вдосконалення процедури обробки має процесний

характер, багато в чому залежить від форм і способів накопичення і зберігання інформації про властивості експертних даних, розуміння особливостей механізму їх формування, вибору методу обробки, етапу та рівня реалізації адаптації.

Для початкового етапу обробки експертних даних характерна наявність конфліктної ситуації – когнітивного протиріччя, – обумовленого з одного боку необхідністю максимально повного і загального формулювання завдання обробки, а з іншого – відсутністю необхідного обсягу інформації для коректного вирішення завдання в цій постановці. Можливий спосіб вирішення цього конфлікту полягає в реалізації адаптивного підходу до обробки даних, що має ітеративно-процесний характер і операційно являє собою послідовність етапів обробки даних, кожен з яких, приводячи до вирішення поставленого завдання з певним ступенем точності, дозволяє деталізувати вихідну постановку задачі для оптимізації обробки на наступних етапах. Зокрема, до елементів деталізації може ставитися уточнення моделі помилок в експертних даних, конкретизація рівнів компетентності експертів, інші аспекти побудови та організації процедури обробки даних. Процесний характер обліку цих додаткових відомостей веде до все більш високого рівня адаптації методу обробки експертних даних до особливостей помилок даних і в кінцевому підсумку – до отримання оптимальної або майже оптимальної точності обробки.

## Список літератури:

1. Архипов О.Є. Вступ до теорії ризиків: інформаційні ризики : монографія. Київ : Національна Академія СБ України, 2015. 248 с.
2. Архипов О.Є., Муратов О.Є. Критерії визначення можливої шкоди національній безпеці України у разі розголошення інформації, що охороняється державою : монографія. Київ : Національна Академія СБ України, 2011. 195 с.
3. Архипов О.Є., Архипова С.О. Оцінювання якості роботи експертів за даними багатооб'єктної експертизи. *Захист інформації*. 2011. № 53. С. 45–54.
4. Архипов О.Є., Архипова С.О. Обобщенная модель случайных погрешностей групповой экспертизы. *Системные технологии, Региональный межвузовский сборник научных работ*. 2013. № 87. С. 3–10.
5. Мудров В.И., Кушко В.Л. Методы обработки измерений. Москва, 1971. 64 с.
6. Архипов О.Є., Чмерук О.М. Дослідження методів обробки даних багатооб'єктної експертизи. Матеріали XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. «Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики». (Київ 26-27 квітня 2018 р.). Київ : «КІІ ім. Ігоря Сікорського», Вид-во «Політехніка», 2018. С. 53–57.
7. Архипов О.Є., Архипова С.А. Оцінювання якості роботи експертів за даними багатооб'єктної експертизи. *Захист інформації*. 2011. № 53. С. 45–54.

## References:

1. Arkhypov, O.E. (2015). *Vstup do teorii ryzykiv: informatsiini ryzyky : monohrafiia* [Introduction to risk theory: information risks : monograph]. Kyiv : National Academy of Security of Ukraine. (in Ukrainian)
2. Arkhypov, O.E., & Muratov, O.E. (2011). *Kryterii vyznachennia mozhyvoi shkody natsionalnyi bezpetsi Ukrainy u razi rozgholoshennia informatsii, shcho okhoroniaetsia derzhavoiu : monohrafiia* [Criteria for determining the possible damage to the national security of Ukraine in the event of disclosure of state-protected information : monograph]. Kyiv : Scientific appearance. Department at the Security Service of Ukraine. (in Ukrainian)
3. Arkhyov, O.E., & Arkhypova, S.A. (2011). *Otsiniuvannia yakosti roboty ekspertiv za danymy bahatoob'iektnoi ekspertyzy* [Expert evaluation of the quality of work of experts according to the multidisciplinary expertise]. *Protection of information*, vol. 4, no. 53, pp. 45–54. (in Ukrainian)
4. Arkhypov, O.E., & Arkhypova, S.A. (2013). Obobshchennaya model sluchaynykh pogreshnostey gruppovoy ekspertyzy [A Generalized Model of Random Errors of Group Expertise]. *System Technologies Regional Interuniversity Collection of Scientific Works*, vol. 4, no. 87, pp. 3–10. (in Russian)
5. Mudrov, V.I. & Kushko, V.L. (1971). *Metody obrabotki izmereniy* [Measurement Processing Methods]. Moscow : Knowledge. (in Russian)
6. Arkhypov, O.E., & Chmeruk, O.M. (2018). Doslidzhennia metodiv obrabky danykh bahatoobiektnoi ekspertyzy [Research on the methods of processing multi-entity expertise]. Materials of the XVI All-Ukrainian scientific-practical conference students, graduate students and young students. "Theoretical and applied problems of physics, mathematics". Kyiv : NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», publishing house «Politekhnik», (Kyiv, 26.04.2018), vol. 2, pp. 53–57. (in Ukrainian)
7. Arkhypov, O.E., & Arkhypova, S.A. (2011). Otsiniuvannia yakosti roboty ekspertiv za danymy bahatoobiektnoi ekspertyzy [Assessment of the quality of experts work according to the examination of many objects]. *Protection of information*, vol. 13, no. 53, pp. 45–54. (in Ukrainian)