

## ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

*Стаття присвячена обґрунтуванню вибору базової методики оцінки ефективності математичних моделей, яка б могла бути прийнята за базову модель при розробці відповідної інформаційно-аналітичної системи, а також визначенню тих положень, які потребують урахування у вказаній базовій методиці.*

*У результаті проведеного дослідження встановлено, що в якості базової методики оцінки ефективності математичних моделей доцільно прийняти методику, яка базується на комплексуванні існуючих підходів щодо оцінки ефективності, перший з яких стосується реалізації етапів оцінки доцільності застосування методу моделювання, порівняльної оцінки моделей, оцінки ефективності моделювання, а другий – кількісної оцінки значущих вимог до математичних моделей явищ, процесів, систем. Вказані підходи повинні взаємодоповнювати один інший на макро- та мікрорівні за рахунок реалізації властивостей адитивності та суперпозиції значущих положень для моделювання, які є різними у різних підходах. При цьому, основними аспектами, які визначають необхідні напрями удосконалення базової методики, є аспекти, що пов'язані із створенням інструментальних методик оцінки швидкості та матеріальних затрат на створення моделі і оцінки результату дослідження, що отриманий із застосуванням моделювання, а також із обґрунтуванням аналітичних залежностей для визначення середньої критеріальної оцінки моделі, інтегральної оцінки прирістних ефектів, достовірності моделювання, відносних середніх значень похибки, яка вноситься у модельні розрахунки внаслідок узагальненого врахування параметрів і факторів, залежності для абсолютної оцінки повноти моделювання.*

*Ключові слова: інформаційно-аналітична система, ефективність, математична модель, методика, оцінювання, показники, фактори, залежності, підходи.*

BOROVYK O., BOROVYK L.

The National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytskyi, Khmelnytskyi city

HODOVANETS S.

Khmelnytsky National University

## APPROACHES TO THE CREATION OF INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM FOR EVALUATION OF EFFICIENCY OF MATHEMATICAL MODELS

*The article is devoted to substantiation of the choice of the basic technique of estimation of efficiency of mathematical models which could be accepted as the basic model at development of the corresponding information-analytical system, and also definition of those provisions which need to be considered in the specified basic technique.*

*The study found that as a basic method of evaluating the effectiveness of mathematical models, it is advisable to adopt a methodology based on a combination of existing approaches to evaluating efficiency, the first of which concerns the implementation of stages of evaluating the feasibility of modeling, comparative evaluation of models, the second is the quantitative assessment of significant requirements for mathematical models of phenomena, processes, and systems. These approaches should complement each other at the macro and micro levels by implementing the properties of additivity and superposition of important provisions for modeling, which are different in different approaches. In this case, the main aspects that determine the necessary areas for improvement of the basic methodology are aspects related to the creation of instrumental methods for estimating the speed and material costs of creating a model and evaluating the research result obtained using modeling, as well as substantiation of analytical dependencies, to determine the average criterion assessment of the model, integrated assessment of incremental effects, reliability of modeling, relative average values of error introduced into model calculations due to generalized consideration of parameters and factors, dependence for absolute assessment of modeling completeness.*

*Keywords: information-analytical system, efficiency, mathematical model, methodology, evaluation, indicators, factors, dependence, approaches.*

**Постановка проблеми.** Останнім часом проведення значної кількості досліджень передбачає застосування математичних моделей. Побудова моделі є необхідною, як правило, при вивченні складних об'єктів, явищ чи процесів, в яких результуюча дія причинно-наслідкових зв'язків не очевидна, а проведення експериментів або недоцільне, або неможливе. Саме в таких випадках найбільш широко використовуються математичні моделі, що дозволяють встановити зв'язок характеристик об'єктів моделювання, які цікавлять дослідника, з безліччю параметрів об'єктів, що пов'язані між собою різними функціональними залежностями. Адже реальний об'єкт моделювання завжди має нескінченну кількість особливостей, взаємозв'язків і їх проявів. А отже, один і той же об'єкт залежно від цілей дослідження може мати різні моделі. Загальну ж модель об'єкта сформулювати неможливо.

Процес побудови моделі складається з наступних етапів: споглядання об'єкту моделювання, безпосередньо побудови моделі (абстрактного мислення) і перевірки її адекватності. Результатом другого етапу є модель, що створена у відповідності до мети аналізу і на основі сформульованих гіпотез про об'єкт, який споглядався. Заключним етапом є перевірка адекватності моделі. Однак через цілеспрямований і обмежений характер моделі її адекватність має перевірятися лише з точки зору виділених для моделювання сторін. При цьому на першому кроці перевірки встановлюється, в якій мірі отримана модель відповідає сформульованим гіпотезам про об'єкт, тобто задуму моделювання. Переконавшись у відповідності моделі сформульованим гіпотезам про об'єкт (в адекватності моделі і об'єкта з точністю сформульованих гіпотез),

можна переходити до практичної перевірки якості моделі і її застосування. На етапі практичної перевірки і застосування моделі з її допомогою одержують деякі нові відомості про об'єкт, порівнюють їх з експериментальними даними, використовуючи один або кілька критеріїв, що дозволяють якісно або кількісно встановити ступінь співпадання прогнозованих і експериментальних даних. При виявленні істотних розбіжностей з'ясовуються їх причини, в разі необхідності розширяється об'єм властивостей, що підлягають аналізу, розширяється або змінюється перелік гіпотез про об'єкт і мету моделювання, коректується модель і т.д. [1]. Дослідження з використанням вже відомих моделей або з розробкою нових можуть потребувати різних трудовитрат, а також затрат часу й коштів. Тому актуальним є завдання оцінки доцільності розробки моделі, вибору моделі з числа альтернативних, оцінки ефективності проведеного дослідження та оцінки ефективності безпосередньо моделі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема оцінки ефективності математичних моделей є однією з найбільш актуальних як для конкретних галузей знань, зокрема, так і в методологічному аспекті, загалом. Аналіз значної кількості наукових джерел і математичних моделей, що сформовані стосовно задач різних галузей людської діяльності, свідчить про відсутність єдиних підходів щодо оцінки ефективності математичних моделей. Складність зазначеної проблеми полягає у тому, що визначення більшості показників, які враховуються при визначенні рівня ефективності, вимагає знання не тільки загальних методик аналізу, але й глибокого розуміння суті явища, яке вивчається. Це обумовлює необхідність поєднання різних груп знань.

У науковій літературі представлений ряд праць, присвячених дослідженню проблем оцінки ефективності як на загальнометодологічному рівні [2], так і в конкретних сферах людської діяльності [3–15]. Зокрема, у роботах [3–4] наведено окремі підходи до оцінки ефективності складних технічних і радіотехнічних систем. Робота [5] присвячена дослідженню підходів із застосуванням математичного моделювання до оцінювання ефективності інтернет-сайтів. У авторських працях [6–8] аналізувалися окремі аспекти застосування математичного моделювання для оцінювання ефективності функціонування складних інформаційно-телекомунікаційних систем і комплексів. Питанням дослідження оцінки ефективності використання технічних, організаційних, управлінських систем, зокрема, присвячені роботи [9–13]. Методика оцінки ефективності економічного моделювання може бути оцінена з роботи [14]. А питанням застосування моделювання у військовій справі присвячено роботу [15].

Аналіз робіт [3–15], як і інших проаналізованих, але не відображених у списку літератури, авторами праць, підтверджує, що оцінка ефективності математичної моделі в кожному окремому випадку є складним творчим завданням, яке передбачає урахування специфічних особливостей, але при цьому і таким, що підпорядковане єдиному підходу. Оскільки при дослідженні кожної із згаданих вище задач доводиться аналізувати достатньо велику кількість факторів, параметрів, умов тощо, які визначають або впливають на перебіг досліджуваного процесу чи якості системи, то природним є бажання спростити оцінювання ефективності відповідної математичної моделі. Аналіз же праці [2] дозволяє зробити припущення про те, що таке спрощення може полягати у створенні інформаційно-аналітичної системи оцінки ефективності математичних моделей, в основі якої може лежати деякий узагальнений підхід, що містив би універсальні процедури, які могли б адаптуватися на конкретні задачі, що досліджуються.

А отже, актуальним є завдання оцінки можливості та визначення підходів щодо створення інформаційно-аналітичної системи з ознаками універсальності, яка б могла використовуватись для оцінки ефективності довільної математичної моделі.

**Метою статті** є вирішення сформульованого актуального наукового завдання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для досягнення мети дослідження вбачається за доцільне: здійснити аналіз базових положень про математичні моделі з позиції виокремлення тих з них, що необхідні для врахування при оцінюванні ефективності математичних моделей; провести аналіз існуючих підходів до оцінки ефективності математичних моделей; порівняти існуючі підходи та виявити переваги і недоліки кожного з них; обґрунтувати вибір тих підходів, які можуть лягти в основу створення інформаційно-аналітичної системи оцінки ефективності математичної моделі.

**Аналіз базових положень про математичні моделі.** Одним з найбільш базових положень про математичні моделі є безпосередньо поняття моделі. Існують його різні тлумачення. У цьому можна пересвідчитися з ряду джерел, зокрема [1, 16–17]. Найбільш узагальненими означеннями є наступні.

Під математичною моделлю розуміється система математичних залежностей і логічних правил, що дозволяють з достатньою повнотою і точністю: описувати найістотніші процеси, що властиві операції; за певними початковими даними прогнозувати можливий хід і результат операції; оцінювати ефективність варіантів рішень і планів; отримувати дані щодо оптимізації певних елементів, які відповідають меті операції. Тут під операцією розуміється будь-який захід (або система дій, процес), що об'єднаний єдиним задумом і направлений на досягнення певної мети [1].

Під моделлю розуміють такий створений специфічний об'єкт матеріального або абстрактного характеру, що знаходиться у певній відповідності (схожості, подібності) до об'єкта-оригіналу і відображає частину властивостей, характеристик, зв'язків об'єкта-оригіналу, які є істотними для поставленої задачі. Модель створюється з метою одержання або (та) збереження інформації про об'єкт-оригінал [16].

Як випливає з першого означення, воно найбільш повно характеризує модель процесу або явища, тобто є функціональним. У другому означенні насамперед йдеться про структурні аспекти досліджуваного

об'єкта. Таким чином, у понятті моделі явно прослідковується структурно-функціональні особливості та особливості якості результату.

Наступним важливим положенням про математичні моделі є вимоги, що висуваються до них. У загальному випадку вимоги до моделі суперечливі. З одного боку, вона повинна бути достатньо повною, тобто в ній мають бути враховані всі важливі чинники, від яких істотно залежить результат. З другого боку модель повинна бути достатньо простою для того, щоб можна було встановити зрозумілі (бажано – аналітичні) залежності між параметрами, що входять в неї. Сукупність вимог до математичних моделей, які можна вважати загальними, можна оцінити з таблиці 1.

Таблиця 1

**Загальні вимоги до математичних моделей**

№ з/п	Вимоги	Зміст вимоги
1	Достовірність результатів моделювання	Достатньо точне відображення найбільш суттєвих сторін процесів і притаманних їм закономірностей
2	Оперативність	Можливість отримання та використання результатів моделювання в задані терміни
3	Контрольованість результатів	Можливість контролю результатів логікою здорового глузду, що є необхідним у зв'язку з можливістю допущення помилок вхідних даних, розробки, програмування, виходу за рамки прийнятих припущень і в зв'язку зі збоями в роботі ЕОМ
4	Відповідність рівню керівництва	Відповідність рівню керівництва за наявністю вихідної інформації, за ступенем її деталізації і результатів моделювання, за точністю моделювання та формою представлення даних
5	Системність	Узгодженість з іншими моделями за метою, призначенням, показниками і критеріями ефективності, переліком факторів, які враховуються тощо
6	Модульність	Організація виконання окремих функцій або груп функцій окремими модулями (блоками алгоритмів) з метою підвищення ефективності розробки та супроводження моделей
7	Безпечність опрацювання інформації	Захист від несанкційованого доступу

У контексті мети даного дослідження найбільш вагомими видаються вимоги 1, 2, 5.

Ще одним важливим положенням про моделі є математичний апарат, що застосовується для їх опису. Для того, щоб його оцінити, слід насамперед оцінити варіанти класифікації моделей. Останні наведені в таблицях 2–3.

Таблиця 2

**Варіант класифікації моделей за способом їх реалізації**

1. Абстрактні	2. Матеріальні	3. Змішані
1.1. Математичні 1.1.1. Аналітичні 1.1.2. Статистичні 1.1.3. Алгоритмічні	2.1. Фізичні 2.1.1. Просторово подібні 2.1.2. Фізично подібні	3.1. Нанієнатурні
1.2. Словесні	2.2. Аналогові	
1.3. Образні 1.3.1. Гіпотетичні 1.3.2. Макетні	2.3. Натурні	
1.4. Графічні 1.4.1. Монограми 1.4.2. Креслення 1.4.3. Схеми 1.4.4. Графіки 1.4.5. Діаграми		

Таблиця 3

**Варіант класифікації моделей за характером процесів і явищ в об'єкті моделювання**

1. За наявністю випадкових впливів на об'єкт	2. Залежно від поведінки об'єкта протягом певного проміжку часу	3. Залежно від процесів, що протікають в об'єкті
1.1. Детерміновані	2.1. Статичні	3.1. Дискретні
1.2. Стохастичні	2.2. Динамічні	3.2. Неперервні
		3.3. Дискретно-неперервні

Крім цього, за характером тієї сторони об'єкта, яка моделюється, математичні моделі можна класифікувати на моделі структури та моделі поведінки об'єкту.

Варіант вибору математичних методів залежно від об'єкта дослідження та характеру процесів, що протікають у ньому, може бути оцінений з таблиці 4.

Розробка будь-якої математичної моделі являє собою процедуру, яка може бути оцінена з рис. 1 [1].

Таким чином, базовими положеннями про математичні моделі, які є важливими з позиції мети даного дослідження, є безпосередньо окремі аспекти поняття моделі, вимоги, що висуваються до математичних моделей, відповідність математичних методів, які використовуються для опису моделей, власне моделям, процедурні особливості розробки моделей.

**Варіант вибору математичних методів залежно від об'єкта дослідження та характеру процесів, що протікають у ньому**

Детермінована модель		Стохастична модель	
статична	динамічна	стаціонарного процесу	нестационарного процесу
Алгебра	Теорія диференціальних рівнянь	Теорія ймовірностей	Теорія випадкових процесів
Інтегральне числення	Теорія інтегральних рівнянь	Теорія інформації	Теорія диференціальних рівнянь
Теорія диференціальних рівнянь	Теорія автоматичного управління	Математичне програмування	Статистичні методи
Математичне програмування	Математичне програмування		Теорія автоматичного управління
Інші методи	Інші методи	Інші методи	Математичне програмування
			Інші методи

*Аналіз існуючих підходів до оцінки ефективності математичних моделей.* Аналіз навчальної літератури та ряду наукових статей, у яких розглядалися питання оцінки ефективності математичних моделей, дозволяють авторам виокремити два основних підходи щодо оцінки ефективності математичних моделей. Їх можна оцінити з матеріалів робіт [2, 14–15].

У межах роботи зафіксуємо лише основні положення цих підходів.

**Підхід 1.** Зміст методики оцінки ефективності може бути розкритий у розрізі таких етапів: оцінка доцільності застосування методу моделювання; порівняльна оцінка моделей; оцінка ефективності моделювання.

**Етап 1. Оцінка доцільності застосування методу моделювання.** Визначення доцільності моделювання може обумовлюватись наступними факторами: ціль дослідження; обсяг коштів, виділених для дослідження; резерв часу на вивчення проблеми і прийняття рішення; потреба у фахівцях зі спеціальних областей знань тощо. Зрозуміло, що визначальним фактором для оцінки доцільності моделювання є ціль дослідження. Однак і інші фактори потребують ретельного аналізу та врахування.

Здійснення на рис. 1.

**Оцінка швидкості створення моделі** – передбачає оцінку затрат часу на створення моделі і наступне порівняння затрат часу на створення моделі з резервом часу для прийняття рішень щодо вирішення проблеми. Тобто оцінюється виконання умови:

$$t_p < t_{рез}, \quad (1)$$

де  $t_p$  – час на розробку моделі,  $t_{рез}$  – резерв часу для прийняття рішення.

Така оцінка дозволяє встановити оперативність розробки моделі. Якщо витрати часу на створення моделі перевищують наявний резерв часу для прийняття рішення – моделювання проблеми є недоцільним.

**Оцінка матеріальних затрат на створення моделі** – передбачає оцінку затрат коштів на створення моделі і наступне порівняння цих витрат з резервом коштів, що знаходяться у розпорядженні суб'єкта прийняття рішень. Тобто оцінюється виконання умови:

$$C_p < C_{рез}, \quad (2)$$

де  $C_p$  – сума коштів на розробку моделі,  $C_{рез}$  – резерв коштів вирішення проблеми.

Оцінка матеріальних витрат дозволяє визначити можливість створення моделі, виходячи з фінансового забезпечення процесу прийняття рішень. Якщо витрати коштів на створення моделі перевищують наявний резерв грошових коштів для прийняття рішень – розробка моделі буде вважатись неможливою у зв'язку з відсутністю фінансового забезпечення процесу моделювання. Якщо аналіз перших двох питань дав позитивні результати і прийнято рішення про можливість моделювання проблеми, тоді вирішується питання щодо бажаного рівня точності при математичній розробці моделі.

**Оцінка чутливості проблеми до точності її математичного вирішення** – приймається необхідна глибина моделювання існуючої проблеми і вибір математичних методів оцінки явища.

Оцінка ступеня точності може визначати кількісне вираження розміру явища або характеристик процесу за різних умов їх прояву. Необхідний рівень точності визначає суб'єкт прийняття рішень з урахуванням того, що підвищення рівня точності збільшує кількість розрахунків і вимагає більших затрат часу на розробку та випробування моделі. Якщо розглядаються альтернативні моделі, серед них обирається та, що передбачає меншу кількість математичних розрахунків та забезпечує достатню точність оцінки явища. Разом з тим може здійснюватись оцінка втрат через прийняття неточних рішень без вивчення поведінки моделі. Якщо розмір очікуваних імовірних втрат (у грошовому вираженні) знаходиться на недопустимому рівні, може бути прийняте рішення про недоцільність розробки моделі. Допустимий рівень втрат визначається суб'єктом прийняття рішень.

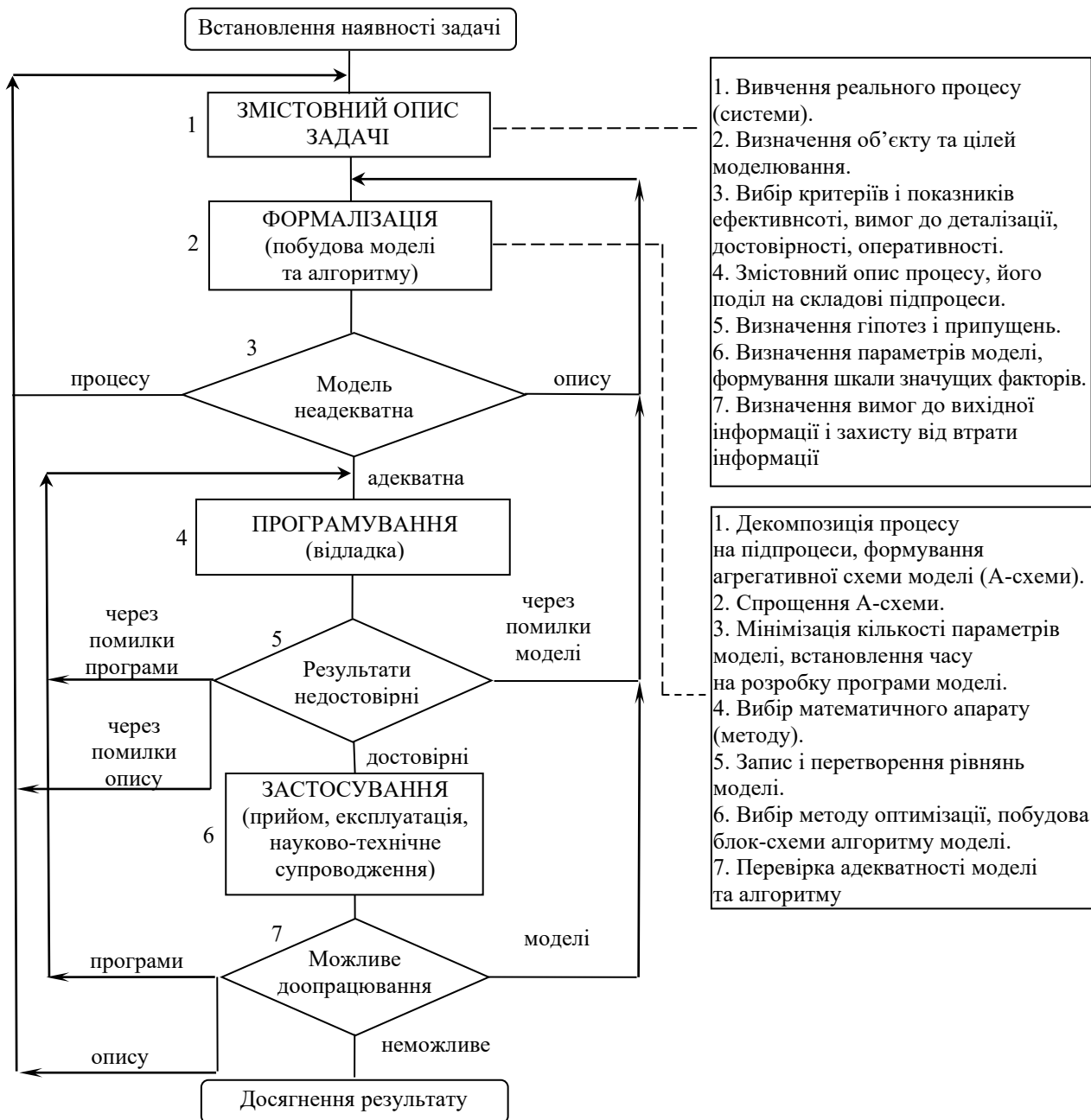


Рис. 1. Процедура розробки математичної моделі

**Етап 2. Порівняльна оцінка моделей.** Порівняльна оцінка моделей здійснюється у випадку наявності двох або більшої кількості альтернативних моделей і забезпечує вибір більш ефективної моделі серед можливих для застосування. Проводити таку оцінку доцільно експертним способом за переліком основних вимог (критеріїв), що висувуються до моделей і забезпечують ефективність процесу моделювання.

Перелік вимог для оцінки моделей може мати вигляд, що наведений у таблиці 5. Це перелік, що запропонований автором праці [14]. Однак слід зауважити, що цей підхід не універсальний і він має адаптуватися до особливостей досліджуваних задач.

Із застосуванням даних таблиці 5 оцінка може проводитись так.

**Визначення стандартизованого показника експертної оцінки за кожним критерієм:**

$$E_{cm}^1 = \frac{E_{\max}^{\phi}}{E_{\max}^p}, \quad (3)$$

де  $E_{cm}^1$  – перша стандартизована експертна оцінка критеріїв моделі;  $E_{\max}^p$  – рекомендована (нормативна) експертна оцінка критеріїв моделі;  $E_{\max}^{\phi}$  – фактична експертна оцінка критеріїв моделі.

## Перелік рекомендованих вимог (критеріїв) для оцінки моделей

№ з/п	Вимоги (критерії)	Ваговий коефіцієнт значущості критерію ( $k_{\max} = 1$ )	Рекомендована експертна оцінка критеріїв моделей ( $E_{\max}^p = 5$ )	Фактична експертна оцінка критеріїв моделі ( $E_{\max}^{\phi} = 5$ )		
				Модель 1	Модель 2	...
1	Швидкість створення	0,95	5	$E_{1.1}^{\phi}$	$E_{2.1}^{\phi}$	...
2	Подібність	0,85	4	$E_{1.2}^{\phi}$	$E_{2.2}^{\phi}$	...
3	Об'єктивність	1	5	$E_{1.3}^{\phi}$	$E_{2.3}^{\phi}$	...
4	Повнота	0,9	3	$E_{1.4}^{\phi}$	$E_{2.4}^{\phi}$	...
5	Простота	0,75	2	$E_{1.5}^{\phi}$	$E_{2.5}^{\phi}$	...
6	Доступність	0,8	4	$E_{1.6}^{\phi}$	$E_{2.6}^{\phi}$	...
7	Точність	0,95	4	$E_{1.7}^{\phi}$	$E_{2.7}^{\phi}$	...
8	Адекватність	1	5	$E_{1.8}^{\phi}$	$E_{2.8}^{\phi}$	...
9	Достовірність	0,95	4	$E_{1.9}^{\phi}$	$E_{2.9}^{\phi}$	...
10	Швидкодія	0,95	5	$E_{1.10}^{\phi}$	$E_{2.10}^{\phi}$	...
11	Низька вартість	0,8	3	$E_{1.11}^{\phi}$	$E_{2.11}^{\phi}$	...

**Врахування значущості критеріїв моделі через вагові коефіцієнти** (визначаються експертами):

$$E_{cm}^2 = \sum_{i=1}^n E_{cm}^1 k_i, \quad (4)$$

де  $E_{cm}^2$  – друга стандартизована експертна оцінка критеріїв моделі;  $k_i$  – вагові коефіцієнти значущості критеріїв моделі.

**Розрахунок середньої критеріальної оцінки моделі** (здійснюється для кожної альтернативної моделі):

$$\bar{E}_{cm} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n E_{cm}^2}. \quad (5)$$

Порівняння моделей здійснюється на основі розрахунку середньої критеріальної оцінки (5) для кожної альтернативної моделі і подальшого порівняння середніх значень їх критеріальних оцінок. Перевага віддається моделі з більшим середнім значенням оцінки, проте якщо певні критерії мають дуже важливе значення, може здійснюватись додаткове порівняння моделей за значеннями найбільш суттєвих критеріїв оцінки. Слід зауважити, що в залежності від досліджуваної задачі рейтингові оцінки можуть корегуватися і можуть відрізнятися від тих, що наведені у таблиці 5. Вибір порядку ранжування критеріїв та їх рейтингової оцінки повинен здійснюватись строго у відповідності до змісту проблеми, яка вивчається. Для порівняльної оцінки моделей бажано залучати фахівців відповідних галузей знань в залежності від характеру проблеми, що вивчається, і особливостей поставлених для вирішення питань.

**Етап 3. Оцінка ефективності моделювання.** Здійснюється за наслідками застосування моделей і може містити наступні стадії оцінки.

**Оцінка приростних ефектів** – дозволяє оцінити приріст нових знань про досліджуване явище або отриманий ефект, які можна визначити як обсяг інформації про нове явище чи досі відсутні дані про вже відоме явище, або економію ресурсів у грошовому вираженні чи позитивні зрушення. Окремі ефекти і соціальні впливи можуть бути пов'язані із застосуванням імітаційного моделювання.

Оцінка ефекту від інвестування у новий напрям наукових досліджень передбачає визначення обсягу отриманої якісно нової інформації про явища і процеси, які ще не вивчались. Оцінка отриманих знань про об'єкт внаслідок застосування методу моделювання може проводитись експертним способом на основі визначення характеристик об'єкта та проставлення їх бальних оцінок з наступним розрахунком середнього балу: 1) визначення переліку усіх можливих характеристик (описових або кількісних) досліджуваного явища, які можуть мати місце або представляють інтерес для дослідження; 2) визначення переліку характеристик об'єкта, які були вивчені (виміряні, оцінені, описані) в ході дослідження; 3) ранжування характеристик об'єкта за їх значущістю для користувачів та проставлення експертом балів для кожної отриманої в ході моделювання характеристики; 4) розрахунок середньої бальної оцінки для повної оцінки характеристик та отриманих характеристик в ході моделювання. Їх порівняння дає можливість непараметричного вимірювання отриманого ефекту в умовному обсязі нових знань про об'єкт. Також можливе переведення непараметричних оцінок у параметричні шляхом визначення питомої ваги отриманих знань у загальній сукупності можливих знань про об'єкт.

Отриманий коефіцієнт може враховуватись в інтегральному показнику приростних ефектів наступним чином:

$$O_{\bar{c}i} = \frac{\bar{O}_i}{\bar{I}_i} \cdot 100 \% , \quad (6)$$

де  $O_{\bar{c}i}$  – питома вага отриманих знань у загальній сукупності можливих знань про об'єкт дослідження;  $\bar{O}_m$  – середня бальна оцінка отриманих знань на основі моделі (бали);  $O_o$  – бальна оцінка усіх можливих характеристик об'єкта-оригінала (бали).

На цьому етапі визначається очікуваний ефект від застосування моделі – ступінь отримання нових можливостей, реалізація яких обумовлена використанням побудованої моделі, можливість створення нових механізмів дії на явища і процеси, можливість зміни умов прояву явища, створення нових явищ, які раніше були відсутніми.

**Оцінка власне моделі** – передбачає порівняльну оцінку ефективності застосування методу моделювання у порівнянні з дослідженням, що проводиться без застосування моделей.

**Оцінка приросту (економії) витрат внаслідок застосування методу моделювання:**

$$\Delta_e = B_m - B_o , \quad (7)$$

де  $\Delta_e$  – приростний ефект від застосування методу моделювання в сумі економії використаних ресурсів;  $B_m$  – сума витрат на дослідження з моделюванням;  $B_o$  – сума витрат на дослідження без моделювання.

Передбачає кількісну оцінку затрат ресурсів у натуральних або грошових показниках. Оцінка витрат може здійснюватись за видами ресурсів, що витрачаються в ході організації і проведення дослідження, з наступним розрахунком інтегрального показника.

**Відносний приріст ефекту від економії витрат внаслідок застосування методу моделювання:**

$$t_{\bar{a}} = \frac{B_i}{B_i} \cdot 100 \% . \quad (8)$$

**Оцінка приросту (економії) часу дослідження внаслідок застосування методу моделювання:**

$$\Delta_{\bar{c}} = \bar{C}_m - \bar{C}_o , \quad (9)$$

де  $\bar{C}_m$  – витрати часу на дослідження з моделюванням;  $\bar{C}_o$  – витрати часу на дослідження без моделювання.

**Відносний приріст ефекту від економії часу дослідження внаслідок застосування методу моделювання:**

$$t_{\bar{c}} = \frac{\bar{c}_i}{\bar{c}_i} \cdot 100 \% . \quad (10)$$

**Непараметрична оцінка приросту знань, отриманих внаслідок застосування методу моделювання** у порівнянні з обсягом знань про явище, які вже були відомими, з обсягом знань, які можна було отримати без застосування методу моделювання або з усіма характеристиками об'єкта, що відомі науці. Оцінка обсягу отриманих знань повинна здійснюватись експертним способом із залученням фахівців тієї галузі знань, з якої здійснювалось дослідження, і включати бальну оцінку обсягу вивчених характеристик об'єкта та його порівняння з обсягом характеристик, отриманих без застосування методу моделювання.

$$\Delta_z = Z_m - Z_o , \quad (11)$$

де  $Z_m$  – результат (обсяг знань, інформації), отриманий із застосуванням методу моделювання;  $Z_o$  – результат (обсяг знань, інформації), отриманий без застосування моделювання.

**Відносний приріст ефекту від отримання знань про об'єкт дослідження внаслідок застосування методу моделювання:**

$$t_{\bar{c}} = \frac{C_i}{C_i} \cdot 100 \% . \quad (12)$$

Співвідношення кількості отриманої в результаті моделювання інформації про об'єкт до реальної суми знань про об'єкт може показувати втрату інформації щодо об'єкту дослідження при застосуванні методу моделювання у порівнянні з роботою з оригіналом.

**Інтегральна оцінка приростних ефектів здійснюється через переведення отриманих показників приросту у коефіцієнтні значення:**

$$t_{\zeta\hat{a}\hat{a}} = t_{\hat{a}} \cdot t_{\zeta} \cdot t_{\zeta}, \quad (13)$$

де  $t_{\zeta\hat{a}\hat{a}}$  – інтегральний показник приростного ефекту від застосування методу моделювання;  $t_{\hat{a}}, t_{\zeta}, t_{\zeta}$  – відносні приростні ефекти, що отримуються за допомогою формул (8), (10), (12).

**Оцінка ефективності моделювання** – дозволяє встановити порівняльні ефекти між отриманими результатами діяльності та затратами на її проведення, а також ступінь повноти отриманих результатів у порівнянні з очікуваними.

Показники результату діяльності можуть виражатись у кількості часу, витраченого на досягнення однакового результату, або як приріст прибутку від діяльності із застосуванням розроблених моделей у вартісному вираженні.

**Ефективність процесу моделювання** є співвідношенням результату моделювання із затратами на його проведення:

$$E_{i\zeta}^1 = \frac{P_i}{B_i} \cdot 100 \%, \quad (14)$$

де  $E_{i\zeta}^1$  – ефективність процесу моделювання;  $P_m$  – результат дослідження, отриманий із застосуванням моделювання;  $B_m$  – сума витрат на дослідження з моделюванням.

**Ступінь повноти досягнення результату** при застосуванні методу моделювання є співвідношенням отриманого результату із запланованим, тобто порівняння результату з метою дослідження:

$$E_i^2 = \frac{P_i^{\phi}}{P_i^{i\hat{e}}} \cdot 100 \%, \quad (15)$$

де  $E_m^2$  – ефективність результатів моделювання;  $P_m^{\phi}$  – фактичний результат діяльності, отриманий із застосуванням нових моделей;  $P_m^{i\hat{e}}$  – запланований результат діяльності із застосуванням нових моделей.

**Підхід 2.** Другий підхід до оцінки ефективності математичних моделей базується на застосуванні кількісних оцінок визначальних вимог із числа загальних вимог до математичних моделей, що наведені в таблиці 1 [15].

Для оцінки достовірності результатів, отриманих з використанням різних моделей, оцінюється повнота і точність відображення в цих моделях основних особливостей і закономірностей їх роботи (факторів функціонування) з урахуванням їх важливості (значущості).

За наявності готової детальної моделі системи важливість конкретного  $i$ -го фактора визначається величиною часткової похідної шуканого показника ефективності системи по  $i$ -му фактору в околі очікуваного значення показника. За відсутності детальної моделі системи значення важливості факторів оцінюються експертно. Варіант результатів такої оцінки, що виконаний експертами з використанням 100-бальної шкали оцінювання, який стосується деякого уявного прикладу, представлений у таблиці 6.

Достовірність відтворення роботи системи залежить від важливості і способу врахування кожного фактора в моделі і може бути оцінена показником достовірності:

$$R = \begin{cases} 1 - \frac{1}{1 + n_p} - \sum_{j=1}^4 \left( \beta_j \cdot \sum_{i \in g_j} \alpha_i \right) & \text{– для статистичних} \\ & \text{моделей} \\ 1 - \sum_{j=1}^4 \left( \beta_j \cdot \sum_{i \in g_j} \alpha_i \right) & \text{– для аналітичних моделей} \end{cases} \quad (16)$$

де  $\alpha_i$  – вага значущості у відносних одиницях  $i$ -го параметра або фактора, який враховується в моделі;

$g_j$  – множина факторів, що враховуються в моделі  $j$ -м способом узагальнення;

$n_p$  – кількість прогонок моделі для набору статистики;

$\beta_j$  – відносне середнє значення похибки, яка вноситься у розрахунки внаслідок неточного (узагальненого) врахування параметрів і факторів.



Таблиця 6

**Шкала факторів, значущих при моделюванні системи**

Номер фактора, значущого для моделювання	Вага фактора у відносних одиницях	Номер моделі				
		1	2	3	4	5
1	0,0697	Ф	Ф	Ф	Ф	Ф
2	0,0679	К	Н	Ф	К	П
3	0,0662	Ф	Н	Ф	К	Ф
4	0,061	Ф	Н	Н	Ф	Ф
5	0,061	П	Н	Н	Н	П
6	0,059	Ф	Н	П	К	Ф
7	0,0575	Ф	Н	П	Ф	П
8	0,054	Ф	Н	Н	Ф	П
9	0,054	Ф	Н	К	К	К
10	0,054	Ф	Н	Ф	Ф	К
11	0,054	К	Н	К	К	Н
12	0,0505	К	Н	Н	Н	П
13	0,04	Ф	Н	Ф	Ф	Ф
14	0,0287	К	Н	К	К	Ф
15	0,0279	Ф	Н	Ф	Ф	П
16	0,0244	К	Н	К	Ф	К
17	0,0244	К	К	Ф	К	Ф
18	0,024	Ф	Н	Ф	Ф	К
19	0,0209	К	К	К	К	К
20	0,0209	К	Н	К	К	П
21	0,0174	Ф	Н	Н	Ф	П
22	0,0157	К	К	К	К	К
23	0,0139	К	Ф	Ф	К	Ф
24	0,013	К	П	К	К	П
25	0,0122	К	Н	К	К	Ф

Значення коефіцієнта  $\beta_j$ , який характеризує спосіб урахування параметрів, при цьому відповідно дорівнює:

$$\beta_j = \begin{cases} 0, & \text{і дè ááçí î ñáðááí ùí ì ó òðáðóááí í³ î áðàì áððà (j=1) (Í) ;} \\ 0,445, & \text{і дè ì ðí ñòì ì ó çàáááèúí áí í³, ýèá ðáðáèèáððèç°ó òüñý çàì³ í ð áðóí è} \\ & \text{î áí î ð³áí èð ì áðàì áðð³á î áí èì ì áðàì áððì ì (j=2) (Ê) ;} \\ 0,6, & \text{і дè ò óí èð³í í æèúí ì ì ó çàáááèúí áí í³ ð³çí î ð³áí èð ì áðàì áðð³á³} \\ & \text{ò àèòì ð³á òà òðáðóááí í³ çð ó ì í áæ³ í áí³ ð ì ðááñðááí èöüèí ð} \\ & \text{ááèè÷èí ð (j=3) (Ï) ;} \\ 1, & \text{і дè í áýáí ì ì ó áðáðóááí í³ î áðàì áððà ááí ò àèòì ðà (j=4).} \end{cases} \quad (17)$$

Обчислення показника  $R$  достовірності моделювання для прикладу, що відповідає даним таблиці 6, наведено в таблиці 7.

Таблиця 7

**Значення показника  $R$  достовірності моделювання**

Номер моделі	Значення показника достовірності
1	0,1395
2	0,863
3	0,39
4	0,16
5	0,33

Під оперативністю моделі розуміють можливість отримання і практичного використання результатів моделювання у задані терміни.

Розглянемо часові характеристики застосування декількох умовних моделей. Нехай часові затрати на їх застосування визначені в таблиці 8.

Таблиця 8

**Часові затрати на застосування моделей та їх комплексів**

Номер моделі	Час циклу моделювання	
	При повному введенні інформації	При корегуванні готових даних
1	60 хв	40 хв
2	60–64 год	0,7–7 год
3	8,5–12 год	35–50 хв
4	26–50 хв	26–50 хв
5	15 хв	3–5 хв

Середнє значення наявного часу для розрахунків по одному варіанту на різних етапах роботи системи наведено в таблиці 9.

Таблиця 9

## Середнє значення наявного часу для кількісної оцінки одного варіанту дій

Етап роботи системи		
Безпосередня підготовка		Реалізація рішення
Оцінка обстановки, прийняття рішення	Планування	
40 хв	4 год	10 хв

Оскільки величини наявного  $T_p$  часу і часу  $T$  розрахунків на практиці залежать від багатьох непередбачуваних умов і реально є випадковими, показник оперативності кожної моделі оцінюється як ймовірність своєчасного отримання результатів моделювання:

$$P = 1 - e^{-\frac{T_p}{T}} \quad (18)$$

Результати розрахунку показника  $P$  оперативності за формулою (18) для даних таблиць 8–9 можна оцінити з таблиці 10.

Таблиця 10

Значення показника  $P$  оперативності застосування моделей

Номер моделі	Етапи роботи системи					
	Безпосередня підготовка				Реалізація рішення	
	Оцінка обстановки, планування прийняття рішення					
	Підготовка інформації		Підготовка інформації		Підготовка інформації	
Повна	Корегування	Повна	Корегування	Повна	Корегування	
1	0,49	0,632	0,98	0,99	0,15	0,22
2	0,011	0,158	0,064	0,0632	0,0028	0,041
3	0,063	0,61	0,323	0,99	0,016	0,209
4	0,65	0,65	0,99	0,99	0,23	0,23
5	0,93	1,0	1,0	1,0	0,49	0,92

Слід зауважити, що оцінювані моделі можуть відрізнятися одна від іншої кількістю оцінюваних параметрів (показників), що визначає повноту моделювання.

Враховуючи різну вагу  $\xi_k, k=1, Q$  важливості кожного із  $Q$  параметрів ( $Q \geq \gamma$ ), необхідних для прийняття рішення і планування, повнота результатів моделювання може характеризуватись показником

$$W = \sum_{k=1}^{\gamma} \xi_k \cdot R_k \cdot P_k \quad (19)$$

Показник (19) при  $R_k = R, P_k = P$  приймає наступний вигляд:

$$W = R \cdot P \sum_{k=1}^{\gamma} \xi_k \quad (20)$$

За відсутності даних про вагу шуканих параметрів значення  $\xi_k$  можна оцінити, виходячи із припущення про рівну важливість усіх показників, що розраховуються в моделі:

$$\xi_k = \xi = \frac{1}{Q} \quad (21)$$

Тоді, із урахуванням виразу (21)

$$W = \frac{\gamma}{Q} R \cdot P \quad (22)$$

Застосування формули (22) дозволяє для аналізованого прикладу значення показника ступеню повноти моделювання отримати у вигляді, що може бути оцінений з таблиці 11. Тут при розрахунках враховано, що оцінки величини  $\frac{\gamma}{Q}$  приймають наступні значення: 0,07; 0,85; 0,8; 0,5; 0,75.

Значення показника  $W$  повноти моделювання

Номер моделі	Етап роботи системи					
	Безпосередня підготовка				Реалізація рішення	
	Оцінка обстановки, планування прийняття рішення					
	Підготовка інформації		Підготовка інформації		Підготовка інформації	
	Повна	Корегування	Повна	Корегування	Повна	Корегування
1	0,0048	0,0062	0,0096	0,0097	0,0015	0,0027
2	0,0081	0,116	0,047	0,4633	0,0020	0,0296
3	0,0192	0,1904	0,1008	0,3088	0,0049	0,0652
4	0,052	0,052	0,079	0,079	0,0184	0,0184
5	0,231	0,247	0,2475	0,2475	0,1213	0,2277

Точність розрахунків характеризується довірчим інтервалом, в якому знаходяться значення розрахованих показників, і довірчою ймовірністю того, що ці значення потраплять у довірчий інтервал. При відсутності вказаних меж довірчого інтервала, строго кажучи, абсолютні значення розрахункових показників втрачають зміст, так як незрозуміло, з якою ймовірністю слід очікувати це значення показника насправді; незрозуміла також величина допустимої похибки оцінки, яка може коливатись в широких межах.

Значення, що наведені в таблиці 11, дозволяють перейти до порівняльної оцінки моделей за узагальненим показником ефективності  $\bar{W}$ :

$$\bar{W} = \frac{W_o - W_c}{1 - W_c}. \quad (23)$$

Порівняльна оцінка може стосуватися довільної пари моделей. При цьому одна з моделей приймається як існуюча з показником повноти  $W_c$ , а друга, як оцінювана з показником повноти  $W_o$ .

Наведена методика оцінки ефективності математичних моделей може використовуватись при розробці або виборі моделей, що задовольняють вимогам, які висувуються до них.

**Порівняльний аналіз підходів щодо оцінки ефективності математичних моделей.** Наведений вище аналіз дозволяє встановити перелік значущих факторів для вирішення задачі оцінки ефективності математичних моделей та оцінити їх урахування в існуючих підходах.

Вказані положення наведені в таблиці 12.

Таблиця 12

Перелік значущих факторів для вирішення задачі оцінки ефективності математичних моделей

№ з/п	Найменування значущих положень підходу	Підхід	
		перший	другий
1	Можливість кількісної оцінки швидкості створення моделі	+	-
2	Можливість оцінки матеріальних затрат на створення моделі	+	-
3	Можливість оцінки чутливості проблеми до точності її математичного вирішення	-	+
4	Можливість визначення стандартизованого показника експертної оцінки за кожним критерієм	+	+
5	Можливість урахування значущості критеріїв моделі через вагові коефіцієнти	+	+
6	Можливість розрахунку середньої критеріальної оцінки моделі	+	+
7	Можливість оцінки приростних ефектів	+	+/-
8	Можливість оцінки приросту (економії) витрат внаслідок застосування методу моделювання	+	-
9	Можливість оцінки приросту (економії) часу дослідження внаслідок застосування методу моделювання	+	+
10	Можливість оцінки приросту знань, отриманих внаслідок застосування методу моделювання	+	+/-
11	Можливість інтегральної оцінки приростних ефектів	+	+/-
12	Можливість оцінки ефективності процесу моделювання	+	-
13	Можливість оцінки ступеню повноти досягнення результату	+	+
14	Інструментальні особливості реалізації	+	+

#### Обґрунтування вибору базової методики для оцінки ефективності математичних моделей.

Аналіз існуючих підходів щодо оцінки ефективності математичних моделей дозволяє зробити висновок про те, що як перший, так і другий підходи мають певні переваги один перед одним.

До числа переваг першого підходу можна віднести можливість:

- кількісної оцінки швидкості створення моделі;
- оцінки матеріальних затрат на створення моделі;
- оцінки приростних ефектів;
- оцінки приросту (економії) витрат внаслідок застосування методу моделювання;
- оцінки приросту знань, отриманих внаслідок застосування методу моделювання;
- інтегральної оцінки приростних ефектів;
- оцінки ефективності процесу моделювання.

При цьому у першому підході відсутні можливості ефективно оцінити чутливість проблеми до точності її математичного вирішення, а саме, кількісної оцінки врахування таких важливих інструментальних вимог до математичної моделі як достовірність, оперативність і повнота моделювання.

Саме ці аспекти мають якісну та кількісну інструментальну реалізацію у другому підході, що визначає його переваги над першим підходом.

Однак, незважаючи на окремі переваги того чи іншого підходу кожен із них має і суттєві недоліки, які впливають на оцінку ефективності моделювання.

До числа таких для першого підходу слід віднести:

– відсутність інструментальної методики оцінки швидкості та матеріальних затрат на створення моделі;

– необґрунтованість виду залежності (5) середньої критеріальної оцінки моделі від стандартизованого показника (3) експертної оцінки за кожним критерієм і значущості критеріїв моделі (4);

– необґрунтованість виду залежності (13) інтегральної оцінки прирістних ефектів від відносних прирістних ефектів, що отримуються за допомогою формул (8), (10), (12);

– відсутність інструментальної методики оцінки результату дослідження, що отриманий із застосуванням моделювання;

– неможливість використання формули (15) щодо оцінки ступеню повноти досягнення результату моделювання у разі відсутності можливості впровадження моделі в практичну діяльність.

Недоліками другого підходу, зокрема, є:

– необґрунтованість виду залежності (16) для оцінки достовірності моделювання;

– припущення про те, що достовірність результатів моделювання пропорційна кількості врахованих у моделі факторів і параметрів реального процесу. Особливість цих параметрів полягає в тому, що їх значення не точні і покращення достовірності результатів моделювання при збільшенні кількості параметрів реального процесу, які враховуються в моделі, може відбуватися лише до певної межі;

– необґрунтованість відносних середніх значень  $\beta_j$  похибки, яка вноситься у модельні розрахунки внаслідок узагальненого врахування параметрів і факторів;

– однотипність урахування у моделі параметрів і факторів, що визначають умови впливу на досліджуваний об'єкт;

– неможливість абсолютної оцінки повноти моделювання, а не відносної стосовно довільних двох існуючих моделей.

Таким чином, у якості базової методики оцінки ефективності математичних моделей не можна обрати одну із числа наведених в якості окремих підходів. За доцільне вбачається в якості базової розглядати інтегральну комбінацію існуючих підходів, які взаємодоповнюють один інший на макро та мікрорівні. Причому взаємодоповнення має бути як адитивним, так і суперпозиційним завдяки врахуванню значущих положень підходів, що наведені в таблиці 12.

**Аспекти, які потребують додаткового відображення в базовій методиці оцінки ефективності математичних моделей з позиції створення інформаційно-аналітичної системи.**

Проведений порівняльний аналіз підходів щодо оцінки ефективності математичних моделей і визначення базової методики, яка може бути покладена в основу інформаційно-аналітичної системи оцінки ефективності математичних моделей, дозволяють зробити висновок про те, що основними аспектами, які повинні бути враховані при побудові зазначеної системи, є:

– комплексування існуючих (проаналізованих у даній роботі) підходів оцінки ефективності, які мають взаємодоповнювати одна іншу на макро та мікрорівні;

– створення інструментальної методики оцінки швидкості та матеріальних затрат на створення моделі на основі аналізу та врахування положень алгоритму моделювання, що наведений на рис. 1;

– обґрунтування виду залежності для середньої критеріальної оцінки моделі;

– обґрунтування виду залежності для інтегральної оцінки прирістних ефектів;

– формування інструментальної методики оцінки результату дослідження, що отриманий із застосуванням моделювання;

– обґрунтування виду залежності для оцінки достовірності моделювання;

– перевірка припущення про те, що достовірність результатів моделювання пропорційна кількості врахованих у моделі факторів і параметрів реального процесу;

– обґрунтування відносних середніх значень похибки, яка вноситься у модельні розрахунки внаслідок узагальненого врахування параметрів і факторів;

– обґрунтування залежності для абсолютної оцінки повноти моделювання.

**Висновки.** Таким чином, проведений аналіз існуючих підходів до оцінки ефективності математичних моделей, а також їх порівняння дозволяють здійснити вибір в якості базового підходу для розробки відповідної інформаційно-аналітичної системи підхід, що полягає в комплексуванні проаналізованих у даній роботі підходів оцінки ефективності, які повинні взаємодоповнювати одна іншу на макро та мікрорівні.

При цьому, основними аспектами, які визначають необхідні напрями удосконалення базового підходу, є аспекти, що пов'язані із створенням інструментальних методик оцінки швидкості та матеріальних затрат на створення моделі і оцінки результату дослідження, що отриманий із застосуванням моделювання, а також із обґрунтуванням аналітичних залежностей для визначення середньої критеріальної оцінки моделі,

інтегральної оцінки прирістних ефектів, достовірності моделювання, відносних середніх значень похибки, яка вноситься у модельні розрахунки внаслідок узагальненого врахування параметрів і факторів, залежності для абсолютної оцінки повноти моделювання.

Реалізація вказаних аспектів в запропонованому базовому підході і визначає напрямки подальших досліджень.

### Література

1. Боровик О. В., Боровик Л. В. Дослідження операцій в оперативно-службовій діяльності органів охорони державного кордону: Підручник. – Хмельницький: Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького, 2009. – 444 с.
2. Татарин Ю. Б. Проблема оценки эффективности фундаментальных исследований: Логико-методологические аспекты. – М.: Наука, 1986.
3. Боровик О. В., Боровик Л. В., Трасковецька Л. М. Особливості оцінки ефективності технічних систем за допомогою графоаналітичних діаграм // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Вип. № 43. – К: ВІКНУ, 2013. – С. 10-16.
4. Боровик О. В., Боровик Л. В., Трасковецька Л. М. Особливості оцінки ефективності радіотехнічних пристроїв та засобів телекомунікацій // Збірник наукових праць № 2 (60). Серія: Військові та технічні науки. – Хмельницький: Вид. НАДПСУ, 2013. – С. 261-270.
5. Даник Ю. Г., Писарчук О. О., Лагодний О. В., Випорхонюк О. В. Математична модель багатокритерійного оцінювання ефективності інтернет-сайтів цільового спрямування // Вісник ЖДТУ. 2016. № 1 (76). – С. 114-120.
6. Боровик О. В., Боровик Л. В., Трасковецька Л. М. Дослідження характеристик ефективності функціонування інформаційно-телекомунікаційної системи «Гарт-1» на основі застосування методів імітаційного моделювання // Збірник наукових праць № 1 (63). Серія: Військові та технічні науки. – Хмельницький: Вид. НАДПСУ, 2015. – С. 167-182.
7. Боровик О. В., Рачок Р. В., Дармороз М. М. Методика оцінки ефективності функціонування однієї вежі системи оптико-електронного спостереження // Збірник наукових праць № 4 (70). Серія: Військові та технічні науки. – Хмельницький: Вид. НАДПСУ, 2016. – С. 208-226.
8. Боровик О. В., Рачок Р. В., Дармороз М. М. Оцінка ефективності функціонування системи оптико-електронного спостереження // Радіоелектроніка, інформатика, управління (РІУ) Вип. № 2(41). – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – С. 93-99.
9. Боровик О. В., Левков В. В. Оцінка ефективності використання систем електрозабезпечення на основі використання потенціалу відновлюваних джерел енергії для технічних засобів охорони кордону // Збірник наукових праць № 1 (63). Серія: Військові та технічні науки. – Хмельницький: Вид. НАДПСУ, 2015. – С. 183-196.
10. Мазур В. Ю., Боровик О. В. Методичні основи оцінки ефективності функціонування єдиної системи висвітлення надводної обстановки на морській ділянці. – Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України № 2 (31). – Харків: ХНУПС, 2018. – С. 182-189.
11. Боровик О. В., Купельський В. В. Методика оцінки ефективності військових перевезень колоною техніки // Системи озброєння і військова техніка. Вип. № 3(59). – Харків: НУВПС, 2019. – С. 25-35.
12. Боровик О. В., Русаков В. М. Новий підхід до оцінки ефективності управлінської діяльності органу управління // Збірник наукових праць № 36, Ч. 2. – Хмельницький: Вид. НАДПСУ, 2006. – С. 5-8.
13. Боровик О. В., Березенський О. І. Ефективність базової моделі підтримки прийняття рішення начальником відділу прикордонної служби щодо розподілу сил і засобів для організації патрулювання в межах ділянки відповідальності // Збірник наукових праць № 49/1, Ч. 2. – Хмельницький: Вид. НАДПСУ, 2009. – С. 64-68.
14. Шигун М.М. Методика оцінки ефективності економічного моделювання // Міжнародний збірник наукових праць. Вип. 3(6). – С. 167-185.
15. Горднов В. П. Моделирование боевых действий частей, соединений и объединений войск ПВО. Харьков : ВИРТА ПВО, 1987. 383 с.
16. Математичне моделювання: навчальний посібник / В. Г. Маценко. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2014. – 519 с.
17. Економіко-математичне моделювання: Навчальний посібник / Заред. О. Т. Івашука. – Тернопіль: ТНЕУ «Економічна думка», 2008. – 704 с.

### References

1. Borovyk O.V., Borovyk L.V. Research of operations in the operational and service activities of state border guards: Textbook. - Khmelnytsky: Publishing House of the National Academy of State Border Guard of Ukraine named after B. Khmelnytsky, 2009. - 444 p.
2. Tatarinov Yu. B. The problem of assessing the effectiveness of fundamental research: Logical and methodological aspects. - M.: Nauka, 1986.
3. Borovyk O.V., Borovyk L.V., Traskovetska L.M. Peculiarities of evaluating the efficiency of technical systems with the help of graphoanalytical diagrams // Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Vol. № 43. - K: VIKNU, 2013. - P. 10-16.
4. Borovyk O.V., Borovyk L.V., Traskovetska L.M. Peculiarities of evaluation of efficiency of radio engineering devices and means of telecommunications // Collection of scientific works № 2 (60). Series: Military and technical sciences. - Khmelnytsky: Ed. NADPSU, 2013. - P. 261-270.
5. Danyk Yu. G., Pisarchuk O.O., Lagodny O.V., Vyporkhonyuk O.V. Mathematical model of multicriteria evaluation of efficiency of target Internet sites // Visnyk of ZhSTU. 2016. № 1 (76). - P. 114-120.
6. Borovyk O.V., Borovyk L.V., Traskovetska L.M. Research of characteristics of efficiency of functioning of information and telecommunication system "Gart-1" on the basis of application of methods of simulation modeling // Collection of scientific works № 1 (63). Series: Military and technical sciences. - Khmelnytsky: Ed. NADPSU, 2015. - P. 167-182.
7. Borovyk O.V., Rachok R.V., Darmoroz M.M. Methods for assessing the efficiency of one tower of the system of optoelectronic observation // Collection of scientific works № 4 (70). Series: Military and technical sciences. - Khmelnytsky: Ed. NADPSU, 2016. - P. 208-226.
8. Borovyk O.V., Rachok R.V., Darmoroz M.M. Estimation of efficiency of functioning of system of optoelectronic supervision // Radioelektronika, informatics, management (RIU) Vol. № 2 (41). - Zaporozhye: ZNTU, 2017. - P. 93-99.
9. Borovyk O.V., Levkov V.V. Estimation of efficiency of use of power supply systems on the basis of use of potential of renewable energy sources for technical means of protection of border // Collection of scientific works № 1 (63). Series: Military and technical sciences. - Khmelnytsky: Ed. NADPSU, 2015. - P. 183-196.
10. Mazur V. Yu., Borovyk O.V. Methodical bases of an estimation of efficiency of functioning of uniform system of illumination of a surface situation on a sea site. - Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine № 2 (31). - Kharkiv: KhNUPS, 2018. - P. 182-189.

11. Borovyk O.V., Kupelsky V.V. Methods for assessing the effectiveness of military transportation by a column of equipment // Weapons systems and military equipment. Vip. № 3 (59). - Kharkiv: NUVPS, 2019. - P. 25-35.
12. Borovyk O.V., Rusakov V.M. A new approach to assessing the effectiveness of management activities of the governing body // Collection of scientific works № 36, Part 2. - Khmelnytsky: Ed. NADPSU, 2006. - P. 5-8.
13. Borovyk O.V., Berezensky O.I. The effectiveness of the basic model of decision support by the head of the border service on the distribution of forces and means for the organization of patrols within the area of responsibility // Collection of scientific works № 49/1, Part 2. - Khmelnytsky: Ed. NADPSU, 2009. - P. 64-68.
14. Shigun M.M. Methods for assessing the effectiveness of economic modeling // International collection of scientific papers. Issue 3 (6). - P. 167-185.
15. Gorodnov V.P. Modeling of combat actions of units, formations and formations of air defense troops. Kharkov: VIRTA PVO, 1987. - 383 p.
16. Mathematical modeling: a textbook / V.G. Matsenko. - Chernivtsi: Chernivtsi National University, 2014. - 519 p.
17. Economic and mathematical modeling: Textbook / Ed. O.T. Ivashchuk. - Ternopil: TNEU "Economic Thought", 2008. - 704 p.

Надійшла / Paper received: 23.08.2020  
Надрукована / Paper Printed : 03.11.2020