

**Мацей Дмитро Михайлович**

слухач командно-штабного інституту застосування військ (сил)  
Національний університет оборони України, Україна

**Семеніхін Євген Володимирович**

слухач командно-штабного інституту застосування військ (сил)  
Національний університет оборони України, Україна

**Науковий керівник: Лихольот Олександр Вікторович** 

доктор філософії, професор кафедри ракетних військ і артилерії  
Національний університет оборони України, Україна

## ІНТЕГРАЛЬНИЙ ПОКАЗНИК ЕФЕКТИВНОСТІ ЗОСЕРЕДЖЕНОГО ВОГНЕВОГО УДАРУ В ОБОРОННІЙ ОПЕРАЦІЇ

***Анотація.** У статті обґрунтовано методика вдосконалення оцінювання ефективності зосередженого вогневого удару (ЗВУ) в оборонній операції оперативного угруповання військ (ОУВ). Виявлено ключові недоліки чинних вітчизняних підходів (орієнтованість на нормативні витрати боєприпасів, відсутність зв'язку між фізичним збитком і оперативним ефектом, ігнорування синхронізації ударів). Запропоновано Інтегральний показник ефективності ЗВУ (ІПЗВУ), що інтегрує п'ять часткових показників: коефіцієнти фізичного ураження (Кф), функціональної нейтралізації (Кфн), системної деградації (Ксд), синхронізації (Кс) та ресурсної раціональності (Крр). Вагові коефіцієнти визначено методом аналізу ієрархій (МАІ) на основі опитування офіцерів-практиків. Наведено покроковий розрахунковий приклад (ІПЗВУ = 0,762, рівень «Достатній») та порівняльний аналіз авторської методики з традиційним і натівським підходами. Обговорено обмеження методики та перспективи її подальшого розвитку в контексті автоматизації систем управління вогнем.*

***Ключові слова:** зосереджений вогневий удар, оцінювання ефективності, Combat Assessment, ІПЗВУ, оборонна операція, таргетування, синхронізація вогню.*

**Вступ** Оцінювання ефективності зосередженого вогневого удару (ЗВУ) є ключовим елементом циклу управління вогнем і таргетування в оборонній операції. Чинні вітчизняні методики, успадковані переважно з радянської доктрини та адаптовані нормативними документами ЗС України, не повною мірою відповідають вимогам сучасних бойових дій. Вони орієнтовані на апріорне планування нормативних витрат боєприпасів та постфактум оцінювання за доповідями виконавців, позбавлені зв'язку між фізичним збитком і оперативним ефектом, не передбачають системного оцінювання та рекомендацій щодо повторного удару [9, 10, 11].

Натівська методика Combat Assessment (CA), закріплена у документі CJCSI 3162.02A [1], пропонує більш ґрунтовний підхід, однак у базовій версії

не враховує специфіки оборонної операції ОУВ: темпу бойових дій, пріоритетності цілей, ресурсних обмежень угруповання та синхронізаційної природи ЗВУ.

Мета статті – розробити та обґрунтувати Інтегральний показник ефективності ЗВУ (ІПЗВУ) і визначити порядок його практичного застосування в штабах ОУВ.

### **Аналіз недоліків існуючих методик оцінювання ЗВУ**

#### **Традиційний (норматив-статичний) підхід**

Чинна методика, закріплена у Настанові зі стрільби і управління вогнем артилерії та Правилах стрільби і управління вогнем (ПСіУВ) [10], ґрунтується на розрахунку ймовірності ураження цілі (Рур) через математичне сподівання кількості знищених або пошкоджених елементів об'єкта. Оцінювання відбувається у три етапи: апіорний (розрахунок потреби в боєприпасах); виконавчий (документування витраченого ресурсу); підсумковий (зіставлення фактичних витрат з нормативними та доповідь по командній вертикалі).

Формальний показник ефективності – ступінь виконання вогневого завдання (СВЗ):

$$СВЗ = \frac{N_{zn}}{N_{zag}} \times 100\% \quad (1.1)$$

*де  $N_{zn}$  – кількість знищених (уражених) елементів цілі;*

*$N_{zag}$  – загальна їх кількість.*

Основні вади цього підходу: відсутність зв'язку між фізичним збитком і оперативним ефектом; статичність моделі, що не враховує здатність противника до маневру та відновлення; неможливість агрегування оцінок по кількох одночасних цілях; відсутність обліку синхронізації – ключової властивості ЗВУ; відсутність рекомендаційного компонента щодо повторного удару, що є фундаментальною вимогою натівського стандарту CJCSI 3162.02A [1].

#### **Методика Combat Assessment у контексті ЗВУ**

Методика СА структурує оцінювання в три взаємопов'язані фази: Physical Damage Assessment (PDA) – оцінювання фізичного ушкодження; Functional Damage Assessment (FDA) – оцінювання функціонального ушкодження та визначення Mean Time To Repair (MTTR); Target System Damage Assessment (TSDA) – системне оцінювання деградації цільової системи [1, 2, 3].

Фаза TSDA є найбільш релевантною для оцінювання ЗВУ, оскільки ЗВУ за своєю природою є одночасним ударом по сукупності взаємопов'язаних об'єктів. Проте СА у базовій версії не адаптована до специфіки оборонної

операції ОУВ: не враховує темпу бойових дій, пріоритетності цілей та ресурсних обмежень угруповання [2].

На основі порівняльного аналізу сформульовано вимоги до вдосконаленої методики: комплексність; прив'язка до оперативного результату; врахування синхронізації; облік ресурсної ефективності; можливість кількісного порівняння варіантів побудови ЗВУ; практична реалізованість в умовах штабів ОУВ без спеціалізованого програмного забезпечення.

### Інтегральний показник ефективності ЗВУ (ІЗВУ)

#### Концептуальна модель та структура показника

Запропонована методика базується на концепції багатокритеріального оцінювання, в якій підсумковий показник є зваженою функцією часткових показників. Методологічну основу становлять: адаптована триступенева модель СА (СJCSI 3162.02А) [1], апарат теорії нечітких множин для обробки неповних розвідданих та натівські стандарти таргетування (АJP-3.9, JP 3-09) [2, 3].

Визначено п'ять часткових показників ІЗВУ (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Часткові показники ІЗВУ та їхні ваги

№	Показник	Зміст	Формула / одиниця виміру	Вага (w)
1	Кф – коефіцієнт фізичного ураження	Частка фізично уражених елементів цілей по всьому ЗВУ	$\frac{\sum (p_i \cdot n_{зн_i})}{\sum (p_i \cdot n_{заг_i})}$	0,20
2	Кфн – коефіцієнт функціональної нейтралізації	Частка цілей, що втратили здатність виконувати оперативну функцію	$\frac{N_{нейтр}}{N_{цілей}}$	0,30
3	Ксд – коефіцієнт системної деградації	Ступінь деградації цільової системи противника в цілому	$1 - \prod (1 - K_{фн_i} \cdot \alpha_i)$	0,25
4	Кс – коефіцієнт синхронізації	Ступінь одночасності ударів відносно запланованого часу ТзвУ	$\frac{1}{N} \cdot \sum \exp\left(-\frac{\Delta t_i^2}{\tau^2}\right)$	0,15
5	Крр – коефіцієнт ресурсної раціональності	Відношення досягнутого ефекту до витраченого ресурсу боєприпасів	$\frac{K_{фн}}{\frac{V_{факт}}{V_{план}}}$	0,10

Значення вагових коефіцієнтів визначено методом попарного порівняння (метод аналізу ієрархій, МАІ, Saaty, 1980) [7] за результатами опитування 11 офіцерів артилерійських штабів та штабів ОУВ із бойовим досвідом понад 12 місяців (2022–2024 рр.). Індекс узгодженості (СІ) матриці попарних порівнянь склав 0,038, що не перевищує допустимого порогу 0,10. Найвищі ваги отримали функціональна нейтралізація (0,30) і системна деградація (0,25) – відповідно до принципу оборонної операції: головне не фізичне знищення, а порушення спроможності противника до продовження наступу.

### Формула ІІЗВУ

Підсумковий Інтегральний показник ефективності ЗВУ:

$$ІІЗВУ = w_1 \cdot K\phi + w_2 \cdot K\phi_n + w_3 \cdot K\sigma + w_4 \cdot K\sigma + w_5 \cdot K\sigma (2.1)$$

або у розгорнутому вигляді з підстановкою вагових коефіцієнтів:

$$ІІЗВУ = 0,20 \cdot K\phi + 0,30 \cdot K\phi_n + 0,25 \cdot K\sigma + 0,15 \cdot K\sigma + 0,10 \cdot K\sigma (2.2)$$

де сума вагових коефіцієнтів:  $0,20 + 0,30 + 0,25 + 0,15 + 0,10 = 1,00$ .

ІІЗВУ набуває значень у діапазоні  $[0; 1]$ , де 0 означає повну неефективність ЗВУ, 1 – максимально можливу ефективність.

### Порядок розрахунку часткових показників

Коефіцієнт фізичного ураження (Кф) відображає фізичний рівень ураження матеріальних елементів цілей по всьому масиві ЗВУ. Вхідні дані надходять від БПЛА-розвідників, звітів виконавців та засобів контрбатареїної РЛС-розвідки:

$$K\phi = \frac{\sum(p_i \cdot n_{zn_i})}{\sum(p_i \cdot n_{zag_i})} (2.3)$$

де  $p_i$  – ваговий коефіцієнт пріоритетності  $i$ -ї цілі ( $ВП = 1,0$ ;  $СП = 0,7$ ;  $НП = 0,4$ );  $n_{zn_i}$  – кількість знищених/пошкоджених елементів  $i$ -ї цілі;  $n_{zag_i}$  – загальна кількість елементів  $i$ -ї цілі.

Коефіцієнт функціональної нейтралізації (Кфн) відображає частку цілей, які втратили здатність виконувати оперативну функцію протягом критичного часового вікна Тфн:

$$K\phi_n = \frac{N_{нейтр}}{N_{цілей}} (2.4)$$

де  $N_{нейтр}$  – кількість цілей з підтвердженою функціональною нейтралізацією;  $N_{цілей}$  – загальна кількість цілей у масиві ЗВУ. Критерії функціональної нейтралізації для типових цілей наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

## Нормативні критерії функціональної нейтралізації типових цілей ЗВУ

Тип цілі	Поріг ФН (% ураження)	Тфн (год)	Джерело
Артилерійська батарея (самохідна)	$\geq 50 \%$	4–6	FM 6-20 [4], Military Balance [8]
Артилерійська батарея (буксирна)	$\geq 40 \%$	6–12	FM 6-20 [4], Jane's [15, 16]
ПУ батальйону–бригади	$\geq 60 \%$	2–4	AJP-3.9 [2], JP 3-09 [3]
Склад боєприпасів (відкритий майданчик)	$\geq 30 \%$	12–48	АТТР 3-09.12 [6]
ЗРК (типу «Тор»)	$\geq 70 \%$	1–3	Jane's [15, 16]
Колона посилення / резерв	$\geq 35 \%$	3–8	FM 3-90 [16], досвід ЗСУ

Коефіцієнт системної деградації ( $K_{cd}$ ) є найважливішим показником на рівні ЗВУ: відображає ступінь порушення спроможності цільової системи противника виконувати своє оперативне завдання. Ґрунтується на концепції TSDA (CJCSI 3162.02A) [1]:

$$K_{cd} = 1 - \prod (1 - K_{fn_i} \cdot \alpha_i) \quad (2.5)$$

де  $K_{fn_i}$  – коефіцієнт функціональної нейтралізації  $i$ -го елемента цільової системи;  $\alpha_i$  – коефіцієнт системної значущості ( $\sum \alpha_i = 1,0$ ); добуток ведеться по всіх  $n$  елементах. Нелінійна мультиплікативна модель відображає принцип мережевого ефекту: нейтралізація вузлового елемента примножує загальний ефект системної деградації.

Коефіцієнт синхронізації ( $K_c$ ) – авторська розробка, що не має прямих аналогів у чинних методиках:

$$K_c = \frac{1}{N_{цїлей}} \cdot \sum \exp\left(-\frac{\Delta t_i^2}{\tau^2}\right) \quad (2.6)$$

де  $\Delta t_i$  – відхилення фактичного часу удару по  $i$ -й цілі від ЄЧВУ (хв);  $\tau$  – допустимий часовий допуск ( $\tau = 3$  хв). Значення  $\tau = 3$  хв встановлено на основі нормативів відкриття вогню реактивних систем (1–2 хв після прийому команди) та нормативів реагування противника (евакуація через 2–4 хв після першого розриву) відповідно до FM 6-50 [5].

Коефіцієнт ресурсної раціональності ( $K_{rp}$ ) оцінює витрати ресурсу боєприпасів на досягнення результату (у спрощеній формі для застосування в

штабі):

$$K_{pp} = \frac{K_{фн}}{\frac{V_{факт}}{V_{план}}} \quad (2.7)$$

де *V<sub>факт</sub>* і *V<sub>план</sub>* – фактичні та заплановані витрати боєприпасів. Значення нормується: при  $K_{pp} > 1$  приймається  $K_{pp} = 1$ .

### Шкала інтерпретації ІЗВУ

Для практичного застосування в штабах ОУВ запропоновано п'ятирівневу шкалу ІЗВУ (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3

#### Шкала оцінювання ефективності ЗВУ за ІЗВУ

ІЗВУ	Рівень ефективності	Оцінка	Рекомендований захід
0,85–1,00	Відмінний	Завдання виконане	Продовжити розвідку; аналіз відновлення
0,70–0,84	Достатній	Завдання виконане	Точкові повторні удари по невиведених цілях ВП
0,50–0,69	Частковий	Завдання виконане частково	Re-attack Recommendation: повторний ЗВУ або вогонь по пріоритетних цілях
0,30–0,49	Недостатній	Завдання не виконане	Терміновий повторний ЗВУ; перегляд варіанту побудови
0,00–0,29	Критично низький	Завдання зірвано	Доповідь командувачу; перегляд плану вогневого впливу; нарощування засобів

### Розрахунковий приклад

#### Умова тактичної задачі

Розглядається оборонна операція ОУВ. Противник готується до поновлення наступу силами тактичної групи (БТГ+) у смузі оборони. Штаб РВіА ОУВ спланував ЗВУ по п'яти об'єктах цільової системи вогневого ураження противника. Вхідні дані наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

#### Вхідні дані розрахункового прикладу

Ціль	$p_i$	$\alpha_i$	$n_{заг\_i}$	$n_{зн\_i}$ (факт)	Тзву	Тфакт
Ц1: Арт. батарея (ВМ-21)	1,0	0,30	6 ПУ	4 ПУ	06:00:00	06:01:30 ( $\Delta t = 1,5$ хв)

Продовження табл. 3.1

Ц2: Арт. батарея (2С3М)	1,0	0,25	4 гарм.	3 гарм.	06:00:00	06:02:00 ( $\Delta t = 2,0$ хв)
Ц3: ПУ батальону	1,0	0,25	5 ел.	4 ел.	06:00:00	06:00:45 ( $\Delta t = 0,75$ хв)
Ц4: Склад БП (передовий)	0,7	0,10	8 од.	3 од.	06:00:00	06:04:10 ( $\Delta t = 4,17$ хв)
Ц5: ЗРК «Тор»	0,7	0,10	1 БМ	1 БМ	06:00:00	06:01:00 ( $\Delta t = 1,0$ хв)

### Покрокові розрахунки

Крок 1. Кф (формула 2.3):

$$\text{Чисельник: } 1,0 \cdot 4 + 1,0 \cdot 3 + 1,0 \cdot 4 + 0,7 \cdot 3 + 0,7 \cdot 1 = 13,8$$

$$\text{Знаменник: } 1,0 \cdot 6 + 1,0 \cdot 4 + 1,0 \cdot 5 + 0,7 \cdot 8 + 0,7 \cdot 1 = 21,3$$

$$K_f = \frac{13,8}{21,3} = 0,648$$

Крок 2. Кфн (формула 2.4). Перевірка порогів за таблицею 2.2: Ц1 (67% > 50%) – ФН ✓; Ц2 (75% > 50%) – ФН ✓; Ц3 (80% > 60%) – ФН ✓; Ц4 (38% > 30%) – ФН ✓; Ц5 (100% > 70%) – ФН ✓. Усі 5 цілей функціонально нейтралізовані.

$$K_{fn} = \frac{5}{5} = 1,00$$

Крок 3. Ксд (формула 2.5): часткові Кфн<sub>i</sub> по цілях: 0,667; 0,750; 0,800; 0,375; 1,000.

$$K_{sd} = 1 - (0,800 \cdot 0,813 \cdot 0,800 \cdot 0,963 \cdot 0,900) = 1 - 0,451 = 0,549$$

Крок 4. Кс (формула 2.6),  $\tau = 3$  хв:

$$\exp(-1,5^2/9) = 0,779; \quad \exp(-2,0^2/9) = 0,641; \quad \exp(-0,75^2/9) = 0,939;$$

$$\exp(-4,17^2/9) = 0,145; \quad \exp(-1,0^2/9) = 0,895$$

$$K_s = \frac{0,779 + 0,641 + 0,939 + 0,145 + 0,895}{5} = 0,680$$

Значення Кс = 0,680 вказує на помірно задовільну синхронізацію: удар по Ц4 запізнився на 4,17 хв, що суттєво знизило показник – противник мав можливість розпочати евакуацію складу до ураження.

Крок 5. Крр (формула 2.7). Планова витрата – 240 снарядів, фактична – 258 снарядів.

$$K_{rr} = \frac{1,00}{\frac{258}{240}} = \frac{1,00}{1,075} = 0,930$$

### Розрахунок ІЗВУ

$$\begin{aligned} \text{ІЗВУ} &= 0,20 \cdot 0,648 + 0,30 \cdot 1,00 + 0,25 \cdot 0,549 + 0,15 \cdot 0,680 + 0,10 \cdot 0,930 \\ &= 0,130 + 0,300 + 0,137 + 0,102 + 0,093 = 0,762 \end{aligned}$$

ІЗВУ = 0,762 відповідає рівню «Достатній» – «Завдання виконане».

Рекомендація: нанести точкові повторні удари по Ц4 (склад БП) для підвищення показника системної деградації: запізнення удару призвело до мінімального фізичного ефекту (лише 38% елементів уражено).

### Порівняльний аналіз авторської методики з існуючими підходами

Авторська методика ІЗВУ поєднує переваги обох підходів – практичну застосовність традиційної моделі і аналітичну глибину натівської методики СА – та доповнює їх двома принципово новими компонентами: обліком синхронізації (Кс) та ресурсної раціональності (Крр). Порівняльну характеристику наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

### Порівняльна характеристика методик оцінювання ефективності ЗВУ

Критерій порівняння	Традиційна методика ЗСУ (СВЗ)	Методика НАТО (СА/BDA)	Авторська методика (ІЗВУ)
Рівень оцінювання	Фізичний	Фізичний + функціональний + системний	Фізичний + функціональний + системний + синхронізація + ресурс
Інтегральний показник	Відсутній	Відсутній (окремі фази)	ІЗВУ $\in [0; 1]$
Облік синхронізації ЗВУ	Відсутній	Відсутній	Так (Кс з гаусівським штрафом)
Рекомендація Re-attack	Відсутня	Так (базова)	Так (вбудована у шкалу)
Ресурсна ефективність	Нормативна витрата (ефект не оцінюється)	Відсутня	Так (Крр)
Застосовність у штабі ОУВ без ІЗ	Так	Потребує фахівців BDA	Так (ручний / табличний розрахунок)

### Обмеження методики та напрями подальшого розвитку

Запропонована методика має ряд обмежень. По-перше, якість вхідних даних: точність ІЗВУ суттєво залежить від повноти та достовірності даних BDA. В умовах обмеженого розвідувального ресурсу рекомендується застосовувати метод інтервальної оцінки (розрахунок ІЗВУ у діапазоні [мін; макс]) на основі оптимістичного і песимістичного сценаріїв.

По-друге, визначення  $\alpha_i$  потребує якісної аналітичної роботи розвідки. Для типових цільових систем рекомендується розробити стандартні таблиці  $\alpha_i$  на рівні штабу РВіА ЗС України. По-третє, розрахунок ІПЗВУ повинен завершуватися до 4 годин після нанесення удару, що вимагає завчасно підготовленого плану розвідки результатів удару (ІЗРУ). По-четверте, нелінійна системна модель дає адекватні результати при кількості елементів  $n \leq 8$ ; при більшій кількості рекомендується групування елементів за підсистемами.

Перспективними напрямками розвитку методики є: автоматизація розрахунку ІПЗВУ в рамках АСУВ ОУВ; інтеграція з алгоритмами машинного навчання для автоматичного визначення  $p_{zn\_i}$  за відеозаписами БПЛА; розробка модуля прогнозування ІПЗВУ при плануванні ЗВУ для порівняння альтернативних варіантів побудови удару до його нанесення.

### **Висновки**

У статті вирішено науково-практичне завдання вдосконалення методики оцінювання ефективності побудови ЗВУ в оборонній операції ОУВ. Основні результати:

1. На основі порівняльного аналізу традиційної (норматив-статичної) методики ЗСУ та натівської методики Combat Assessment визначено п'ять ключових недоліків чинних підходів, що обумовлюють необхідність їх удосконалення.

2. Обґрунтовано та розроблено Інтегральний показник ефективності ЗВУ (ІПЗВУ), що акумулює п'ять взаємодоповнюючих часткових показників: Кф, Кфн, Ксд, Кс та Крр. Вагові коефіцієнти визначено МАІ на основі верифікованого опитування фахівців ( $CI = 0,038$ ).

3. Науковою новизною є: нелінійна мультиплікативна формула системної деградації (2.5) з коефіцієнтами  $\alpha_i$ ; формула синхронізації (2.6) з гаусівською функцією штрафу та обґрунтованим  $\tau = 3$  хв; п'ятирівнева шкала ІПЗВУ із вбудованими рекомендаціями щодо повторного удару.

4. На чисельному прикладі (ІПЗВУ = 0,762, рівень «Достатній») підтверджено практичну придатність методики для застосування в штабах ОУВ без спеціалізованого програмного забезпечення.

5. Порівняльний аналіз підтвердив переваги авторської методики над чинними підходами за критеріями комплексності, оперативної прив'язки, обліку синхронізації та ресурсної ефективності.

### **Список використаних джерел:**

1. CJCSI 3162.02A. Methodology for Combat Assessment. Washington: Chairman of the Joint Chiefs of Staff, 2021.

64 p.

2. AJP-3.9. Allied Joint Doctrine for Joint Fires. Brussels: NATO Standardization Office, 2016. 132 p.
2. JP 3-09. Joint Fire Support. Washington: US Joint Chiefs of Staff, 2019. 210 p.
3. FM 6-20. Fire Support in Combined Arms Operations. Washington: US Department of the Army, 1988. 340 p.
4. FM 6-50. Tactics, Techniques, and Procedures for the Field Artillery Cannon Battery. Washington: US Department of the Army, 1996. 286 p.
5. ATTP 3-09.12. Multi-Service Tactics, Techniques, and Procedures for the Targeting Process. Washington: US Department of the Army, 2010. 156 p.
6. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York: McGraw-Hill, 1980. 287 p.
7. The Military Balance 2024. London: International Institute for Strategic Studies, 2024. 530 p.
8. Настанова зі стрільби і управління вогнем артилерії. Київ: Міністерство оборони України, 2018.
9. Правила стрільби і управління вогнем артилерії (ПСіУВ). Київ: Генеральний штаб ЗС України, 2018.
10. Бойовий статут артилерії ЗС України. Київ: МОУ, 2019.
11. Об'єднана вогнева підтримка в операції (бою): навч. посіб. / [кол. авт.]. Київ: НУОУ, 2021. 218 с.
12. Коваль В. В., Лобода О. А. Адаптація методики Combat Assessment до системи оцінювання бойових дій ЗС України. Збірник наукових праць НУОУ. 2022. № 3(88). С. 45–54.
13. ACO Directive 80-70. Battle Damage Assessment. Brussels: ACO/SHAPE, 2017.
14. Jane's Air-Launched Weapons. London: IHS Markit / Janes, 2024.
15. FM 3-90. Tactics. Washington: US Department of the Army, 2001. 424 p.
16. Jane's Armour and Artillery. London: IHS Markit / Janes, 2024.