

УДК 629.76

В.П. Деденок, Є.В. Брежнев, С.А. Олізаренко, Р.В. Сафронов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЗБИТКУ НЕОДНОРІДНИМ ГРУПОВИМ ОБ'ЄКТАМ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКИХ ПРОДУКЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ПЛАНУВАННІ ТА ОЦІНЦІ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОГНЕВОГО УРАЖЕННЯ ПРОТИВНИКА

*В статті запропоновано підхід до визначення величини збитку неоднорідним груповим об'єктам із застосуванням нечітких продукційних моделей в інтересах уточнення оцінки виконання вогневих завдань та підвищення якості планування вогневого ураження противника. Проведення логіко-лінгвістичного опису неоднорідного групового об'єкту дозволяє отримати систему логічних висловлювань, які пов'язують значення вхідних змінних з одним із можливих рішень щодо оцінки збитку. Отримані на підставі опису рівняння дозволяють визначити значення функцій належності рішень при фіксованих значеннях вхідних змінних. Рішення отримується за методом максимуму функції належності.*

**Ключові слова:** вогневе ураження противника, нечіткі продукційні моделі, функція належності, середній результат, нечіткі бази знань, лінгвістичні змінні.

### Вступ

Ефективне виконання угрупованнями військ бойових завдань можливо тільки при всебічній підготовці бойових дій, повному і раціональному використанні бойових можливостей засобів ураження та якісному плануванні. Основними шляхами поліпшення якості планування є підвищення обґрунтованості результатів завчасного планування вогневого ураження противника, оперативності їхнього подання та внесення коректив залежно від змін обстановки.

**Постановка проблеми.** Методики оперативно-тактичних розрахунків, які застосовуються на сьогоднішній день для вирішення завдань з планування вогневого ураження противника (ВУП), відрізняються складністю, непогодженістю оперативних і тактичних норм потреб у засобах ураження та боеприпасах. Як наслідок, результати планування вогневого ураження характеризуються недостатньою обґрунтованістю, відсутністю оптимізації способів бойового застосування сил і засобів вогневого ураження противника. В умовах сучасних швидкоплинних операцій, існуючі методики оцінки ефективності виконання бойових завдань не забезпечують необхідного рівня оперативності та достовірності у зв'язку з відсутністю в їхньому складі обґрунтованих математичних методів, реалізованих на обчислювальній техніці.

Кардинальним засобом рішення зазначеної проблеми з підвищення якості планування є створення спеціального програмного і математичного забезпечення процесів планування ВУП при підготовці та в процесі виконання бойових завдань. Одним з шляхів є створення єдиного комплексу взаємозалежних моделей, які повністю охоплюють процеси прийняття рішень з планування ВУП. Завдяки цьому посадові особи органів управління всіх військових ланок будуть мати можливість проаналізувати

за відведений час декілька варіантів здійснення ВУП і вибрати найбільш обґрунтований варіант.

Елементом цієї системи може виступати комплекс математичних моделей оцінки збитку неоднорідним груповим об'єктам з використанням нечітких продукційних моделей.

**Аналіз літератури.** Ряд існуючих підходів щодо оцінки ефективності виконання вогневих завдань та визначення норм витрат боеприпасів [1, 2] використовують середнє значення збитку, яке виступає гіпотезою щодо ураження об'єкту.

При цьому в якості показника ефективності ВУП використовується математичне очікування відносного числа уражених елементарних об'єктів зі складу групового об'єкту [3]. Відповідно до [4, 5], визначаються норми ураження групових об'єктів, наприклад, подавлення: 20 – 25%, знищення: 50 – 60%. Однак, в основі цих підходів лежить припущення щодо однорідності елементарних об'єктів зі складу групового, що суттєво спрощує планування та одночасно знижує достовірність його результатів.

Крім того, в різних джерелах [3 – 5] суттєво коливаються процентні межі для відповідних норм ураження. Відсутня чіткість щодо трактування проміжних норм ураження, тобто якщо потрібно нанести ураження 50 – 60 % елементарних об'єктів, а знищено лише 45%, то незрозуміло як трактувати отриманий результат відповідно до прийнятих норм.

Існуючі обчислювальні засоби та математичний апарат спроможні забезпечити високу якість планування на кожному з етапів підготовки та ведення бойових дій, що дозволяє досягти високої якості планування в цілому та підвищити ефективність виконання бойових завдань.

**Мета статті.** Полягає у розробці методу оцінки збитку груповому неоднорідному об'єкту з використанням нечітких продукційних моделей. Відмова від

показника середнього результату, застосування якого базується на гіпотезі щодо однорідності об'єкту дозволить, на наш погляд, підвищити якість планування ВУП по важливим об'єктам противника та знизити відповідні витрати засобів ураження на виконання вогневих завдань.

### Розділ основного матеріалу

Першим етапом визначення оцінки збитку є побудова моделі об'єкту ураження. Складність цього завдання визначається нелінійністю об'єкту та труднощами визначення зв'язків між вхідними параметрами  $x_1 \div x_n$ , які описують функціонування об'єкту і подаються в кількісній або якісній формі та вихідними параметрами, що описують збиток, який нанесений об'єкту.

Модель неоднорідного групового об'єкту формується шляхом проектування та настроювання нечітких баз знань, які по суті є сукупністю лінгвістичних висловлювань типу

$$\text{ЯКЩО } \langle \text{вхід} \rangle, \text{ ТО } \langle \text{вихід} \rangle. \quad (1)$$

Логіко-лінгвістичний опис групового неоднорідного об'єкту проводиться у вигляді формування системи логічних висловлювань типу (1), які пов'язують значення вхідних змінних  $x_1 \div x_n$  з одним можливим рішенням щодо оцінки збитку. Він має вигляд:

$$\begin{aligned} &\text{ЯКЩО } (x_1 = a_1^{11}) \text{ і } (x_2 = a_2^{11}) \text{ і } \dots \text{ і} \\ &\quad (x_n = a_n^{11}) \text{ АБО} \\ &\dots\dots\dots \\ &(x_1 = a_1^{1k_1}) \text{ і } (x_2 = a_2^{1k_1}) \text{ і } \dots \text{ і } (x_n = a_n^{1k_1}) \\ &\quad \text{АБО} \\ &\quad \text{ТО } y = d_1, \text{ ІНАКШЕ} \\ &\quad \text{ЯКЩО } \dots, \text{ ІНАКШЕ} \quad (2) \\ &\text{ЯКЩО } (x_1 = a_1^{m1}) \text{ і } (x_2 = a_2^{m1}) \text{ і } \dots \text{ і} \\ &\quad (x_n = a_n^{m1}) \text{ АБО} \\ &\dots\dots\dots \\ &(x_1 = a_1^{mk_m}) \text{ і } (x_2 = a_2^{mk_m}) \text{ і } \dots \text{ і} \\ &\quad (x_n = a_n^{mk_m}) \text{ АБО } \dots\dots \\ &\quad \dots \text{ТО } y = d_m, \end{aligned}$$

де  $d_j (j = \overline{1, m})$  – лінгвістична оцінка збитку (вихідної лінгвістичної змінної  $Y$ ), яка визначається з терм-множини  $D$ ;

$a_i^{jp}$  – лінгвістична оцінка вхідного параметру  $x_i$  в  $p$ -ї строчці диз'юнкції, яка обирається з відповідної терм-множини  $A_i$ ,  $a_i^{jp} \in A_i, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, p = \overline{1, k_j}$ ;

$k_j$  – кількість правил, які визначають значення вихідної змінної  $Y = d_j$ .

З використанням операцій  $\cup$  (АБО) і  $\cap$  (І) си-

стема логічних висловлювань (2) може бути записана як:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left[ \bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{jp}) \right] \rightarrow y = d_j, j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Застосування нечітких продукційних моделей замість показників середнього результату при визначенні оцінки збитку груповому неоднорідному об'єкту дозволяє співпоставити вектор вхідних змінних  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ ,  $x_i^* \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i]$ , який описує функціонування кожного з елементів об'єкту, з відповідним рішенням  $y \in D$  щодо оцінки збитку.

Рівняння (3) дозволяють обчислювати значення функцій належності лінгвістичної змінної *збиток* об'єкту при фіксованих значеннях вхідних змінних. Лінгвістичні оцінки  $a_i^{jp}$  змінних  $x_i$ , що входять в логічні висловлювання щодо рішення  $d_j$  розглядаються як нечіткі множини, які визначені на універсальних множинах  $U_i = [\underline{x}_i, \overline{x}_i], i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ .

Нехай  $\mu^{a_i^{jp}}(x_i)$  – функція належності параметра  $x_i \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i]$  лінгвістичному терму  $a_i^{jp}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, p = \overline{1, k_j}$ ;  $\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – функція належності вектора вхідних змінних  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , значенню вихідної змінної  $y = d_j$ .

Тоді зв'язок між цими функціями визначається нечіткою базою правил і може бути представлений у вигляді наступних рівнянь:

$$\begin{aligned} \mu^{d_1}(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \mu^{a_1^{11}}(x_1) \wedge \mu^{a_2^{11}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_n^{11}}(x_n) \vee \\ &\vee \mu^{a_1^{12}}(x_1) \wedge \mu^{a_2^{12}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_n^{12}}(x_n) \vee \dots \\ &\vee \mu^{a_1^{1k_1}}(x_1) \wedge \mu^{a_2^{1k_2}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_n^{1k_n}}(x_n); \\ \dots\dots\dots \\ \mu^{d_m}(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \mu^{a_1^{m1}}(x_1) \wedge \mu^{a_2^{m1}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_n^{m1}}(x_n) \vee \\ &\vee \mu^{a_1^{m2}}(x_1) \wedge \mu^{a_2^{m2}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_n^{m2}}(x_n) \vee \dots \\ &\vee \mu^{a_1^{mk_m}}(x_1) \wedge \mu^{a_2^{mk_m}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_n^{mk_m}}(x_n), \end{aligned}$$

$\vee$  – логічне АБО,  $\wedge$  – логічне І.

В якості рішення обирається  $d_j^*$  для якого

$$\mu^{d_j^*}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \max[\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n)], j = \overline{1, m}.$$

Проілюструємо приклад визначення оцінки *збитку* груповому неоднорідному об'єкту, який складається з  $n=13$  (наприклад, зразків техніки), які

за функціональними ознаками групуються в  $m=3$  підгруп.

Відповідно до методу, який пропонується, вводяться лінгвістичні змінні, які описують стан неоднорідних елементів зі складу групового об'єкту ураження. Лінгвістичні змінні наведені в табл. 1.

Таблиця 1  
Лінгвістичні змінні, які описують стан техніки зі складу групового об'єкту

№	Лінгвістичні змінні	Універсальна множина (0, T)	Оціночні терми
Пошкодження техніки зі складу підгрупи №1			
1	Пошкодження техніки №1 підгрупи №1, $x_{11}$	(0, 45)	Слабкі пошкодження (СлП), середні пошкодження (СрП), сильні пошкодження (СП)
2	Пошкодження техніки №2 зі складу підгрупи №1, $x_{12}$	(0, 35)	
3	Пошкодження техніки №3 зі складу підгрупи №1, $x_{13}$	(0, 25)	
4	Пошкодження техніки №4 зі складу підгрупи №1, $x_{14}$	(0, 20)	
Пошкодження техніки зі складу підгрупи №2			
5	Пошкодження техніки №1 зі складу підгрупи №2, $x_{21}$	(0, 75)	Слабкі пошкодження (СлП), середні пошкодження (СрП), сильні пошкодження (СП)
6	Пошкодження техніки №2 зі складу підгрупи №2, $x_{22}$	(0, 85)	
7	Пошкодження техніки №3 зі складу підгрупи №2, $x_{23}$	(0, 105)	
8	Пошкодження техніки №4 зі складу підгрупи №2, $x_{24}$	(0, 90)	
9	Пошкодження техніки №5 зі складу підгрупи №2, $x_{25}$	(0, 60)	
Пошкодження техніки зі складу підгрупи №3			
10	Пошкодження техніки №1 зі складу підгрупи №3, $x_{31}$	(0, 65)	Слабкі пошкодження (СлП), середні пошкодження (СрП), сильні пошкодження (СП)
11	Пошкодження техніки №2 зі складу підгрупи №3, $x_{32}$	(0, 34)	
12	Пошкодження техніки №3 зі складу підгрупи №3, $x_{33}$	(0, 90)	
13	Пошкодження техніки №4 зі складу підгрупи №3, $x_{34}$	(0, 50)	

Права границя T універсальної множини відповідає експертної оцінки часу відновлення техніки зі стану сильного пошкодження.

Для оцінки лінгвістичної змінної збиток вводиться наступна терм-множина

$$\{d_1 - \text{ЗНИЩЕНИЙ}; d_2 - \text{ПОДАВЛЕНИЙ}; d_3 - \text{ДЕЗОРГАНІЗОВАНИЙ}\}.$$

Вводяться лінгвістичні змінні, які визначають збиток об'єкту:

$$Y_1 - \text{змінна, яка визначає збиток підгрупи №1};$$

$$Y_2 - \text{змінна, яка визначає збиток підгрупи №2};$$

$$Y_3 - \text{змінна, яка визначає збиток підгрупи №3}.$$

Структура моделі для визначення збитку груповому неоднорідному об'єкту ураження має вигляд

$$d = f_d(Y_1, Y_2, Y_3). \quad (4)$$

Вводяться проміжні лінгвістичні змінні:

– для змінної  $Y_1$ :

$$Y_1 = f_y(x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}), \quad (5)$$

де  $x_{11}$  – ступень збитку техніки №1;  
 $x_{12}$  – ступень збитку техніки №2;  
 $x_{13}$  – ступень збитку техніки №3;  
 $x_{14}$  – ступень збитку техніки №4.  
 – для змінної  $Y_2$ :

$$Y_2 = f_y(x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}, x_{25}), \quad (6)$$

де  $x_{21}$  – ступень збитку техніки №1;  
 $x_{22}$  – ступень збитку техніки №2;  
 $x_{23}$  – ступень збитку техніки №3;  
 $x_{24}$  – ступень збитку техніки №4;  
 $x_{25}$  – ступень збитку техніки №5.

Для змінної  $Y_3$  запишемо аналогічно

$$Y_3 = f_y(x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{34}), \quad (7)$$

де  $x_{31}$  – ступень збитку техніки №1;  
 $x_{32}$  – ступень збитку техніки №2;  
 $x_{33}$  – ступень збитку техніки №3;  
 $x_{34}$  – ступень збитку техніки №4;

Логіко-лінгвістичний опис об'єкту, проведений у формі логічних висловлювань типу (1) дозволяє подати отримані знання щодо збитку груповому об'єкту в залежності від розподілу збитків по підгрупах у вигляді матриці знань. Матриця знань приведена в табл. 2.

Таблиця 2  
Матриця знань, яка описує стан об'єкту ураження

$D_n$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
Знищений (З)	З	З	З
З	З	П	П
З	З	П	Д
З	З	Д	Д
Подавлений (П)	П	П	П
П	П	Д	Д
Деорганізований (Д)	Д	Д	Д
Д	Д	П	Д
Д	Д	Д	П

Відповідно до методу, використовуючи табл. 2 та операції  $\wedge$  ( $I - \min$ ) і  $\vee$  (АБО –  $\max$ ), записується система логічних рівнянь, яка пов'язує функції належності рішення щодо оцінки збитку об'єкту та змінних, що впливають на нього:

$$\begin{aligned} \mu^3(d_1) &= \mu^3(y_1) \wedge \mu^3(y_2) \wedge \mu^3(y_3) \vee \mu^3(y_1) \wedge \\ &\mu^{\text{П}}(y_2) \wedge \mu^{\text{П}}(y_3) \vee \mu^3(y_1) \wedge \mu^{\text{П}}(y_2) \wedge \mu^{\text{Д}}(y_3) \vee \\ &\vee \mu^3(y_1) \wedge \mu^{\text{Д}}(y_2) \wedge \mu^{\text{Д}}(y_3); \\ \mu^{\text{П}}(d_2) &= \mu^{\text{П}}(y_1) \wedge \mu^{\text{П}}(y_2) \wedge \mu^{\text{П}}(y_3) \vee \mu^{\text{П}}(y_1) \wedge \\ &\mu^{\text{Д}}(y_2) \wedge \mu^{\text{Д}}(y_3); \\ \mu^{\text{Д}}(d_3) &= \mu^{\text{Д}}(y_1) \wedge \mu^{\text{Д}}(y_2) \wedge \mu^{\text{Д}}(y_3) \vee \mu^{\text{Д}}(y_1) \wedge \\ &\wedge \mu^{\text{П}}(y_2) \wedge \mu^{\text{Д}}(y_3) \vee \mu^{\text{Д}}(y_1) \wedge \mu^{\text{Д}}(y_2) \wedge \\ &\wedge \mu^{\text{П}}(y_3). \end{aligned} \quad (8)$$

Для оцінки проміжної лінгвістичної змінної  $Y_1$  визначається наступна терм – множина

$$Y_1 = \{\text{ЗНИЩЕНА (З), ПОДАВЛЕНА (П), ДЕЗОРГАНІЗОВАНА (Д)}\}.$$

Знання о співвідношенні для  $Y_1$  подаються у вигляді табл. 3.

Таблиця 3

Матриця знань о станах підгрупи №1

$Y_1$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$
З	СП	СП	СП	СП
З	СП	СрП	СрП	СрП
З	СП	СП	СрП	СрП
П	СрП	СрП	СрП	СрП
П	СрП	СП	СрП	СП
П	СлП	СП	СрП	СрП
Д	СрП	СрП	СрП	СрП
Д	СлП	СлП	СлП	СлП
Д	СлП	СлП	СлП	СрП

У відповідності до алгоритму Ротштейна [6], визначимо функцію належності часу відновлення кожної техніки підгрупи №1 нечітким термам.

Розглянемо змінну  $x_{11}$  – пошкодження техніки №1. Вона визначена на універсальній множині  $U(x_{11}) = (0, 45 \text{ год})$  на нечітких термах

$$T(x_{11}) = (\text{сильні пошкодження, середні пошкодження, слабкі пошкодження}).$$

У відповідності до методу, формується матриця, яка відображає парні порівняння п'ятьох інтервалів ( $u_1 = [0, 9]$ ;  $u_2 = [9, 18]$ ;  $u_3 = [18, 27]$ ;  $u_4 = [27, 36]$ ;  $u_5 = [36, 45]$ ) часу відновлення з точки зору їхньої близькості к терму *слабкі пошкодження*.

Ця матриця має вигляд, представлений в табл. 4.

Далі отримуємо ступені належності елементів  $u_1 \div u_5$  до терму *слабкі пошкодження*:

$$\mu^{\text{СЛП}}(u_1) = \frac{1}{1 + \frac{8}{9} + \frac{6}{9} + \frac{4}{9} + \frac{1}{9}} = 0,32;$$

Таблиця 4

Матриця парних порівнянь інтервалів  $U_i, i = \overline{1,5}$

	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$
$u_1$	1	8/9	6/9	4/9	1/9
$u_2$	9/8	1	6/8	4/8	1/8
$u_3$	9/6	8/6	1	4/6	1/6
$u_4$	9/4	8/4	6/4	1	1/4
$u_5$	9	8	6	4	1

$$\mu^{\text{СЛП}}(u_2) = \frac{1}{\frac{9}{8} + 1 + \frac{6}{8} + \frac{4}{8} + \frac{1}{8}} = 0,28;$$

$$\mu^{\text{СЛП}}(u_3) = \frac{1}{\frac{9}{6} + \frac{8}{6} + 1 + \frac{4}{6} + \frac{1}{6}} = 0,21;$$

$$\mu^{\text{СЛП}}(u_4) = \frac{1}{\frac{9}{4} + \frac{8}{4} + \frac{6}{4} + 1 + \frac{1}{4}} = 0,14;$$

$$\mu^{\text{СЛП}}(u_5) = \frac{1}{9 + 7 + 6 + 4 + 1} = 0,037.$$

Аналогічно отримуємо матрицю попарних порівнянь для терму *середні пошкодження*, яка приведена в табл. 5.

Таблиця 5

Матриця попарних порівнянь для терму середні пошкодження

	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$
$u_1$	1	9/8	1	5/8	3/8
$u_2$	8/9	1	7/9	5/9	3/9
$u_3$	1	9/7	1	5/7	3/7
$u_4$	8/5	9/5	7/5	1	3/5
$u_5$	8/3	9/3	7/3	5/3	1

Далі отримуємо ступені належності елементів  $u_1 \div u_5$  до терму *середні пошкодження*:

$$\mu^{\text{СРП}}(u_1) = \frac{1}{1 + \frac{9}{8} + 1 + \frac{5}{8} + \frac{3}{8}} = 0,25;$$

$$\mu^{\text{СРП}}(u_2) = \frac{1}{\frac{8}{9} + 1 + \frac{7}{9} + \frac{5}{9} + \frac{3}{9}} = 0,28;$$

$$\mu^{\text{СРП}}(u_3) = \frac{1}{\frac{9}{7} + \frac{5}{7} + 1 + \frac{3}{7} + 1} = 0,29;$$

$$\mu^{\text{СРП}}(u_4) = \frac{1}{\frac{8}{7} + \frac{5}{7} + 1 + \frac{3}{7} + 1} = 0,29;$$

$$\mu^{\text{СРП}}(u_5) = \frac{1}{\frac{8}{5} + \frac{9}{5} + \frac{7}{5} + 1 + \frac{3}{5}} = 0,15;$$

$$\mu^{СРП}(u_5) = \frac{1}{\frac{8}{3} + \frac{9}{3} + \frac{7}{3} + \frac{5}{3} + 1} = 0,09.$$

Аналогічно отримуємо матрицю попарних порівнянь для терму *сильні пошкодження*, приведена в табл. 6.

Таблиця 6

Матриця попарних порівнянь для терму *сильні пошкодження*

	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	u <sub>3</sub>	u <sub>4</sub>	u <sub>5</sub>
u <sub>1</sub>	1	3	5	7	9
u <sub>2</sub>	1/3	1	5/3	7/3	9/3
u <sub>3</sub>	1/5	3/5	1	7/5	9/5
u <sub>4</sub>	1/7	3/7	5/7	1	9/7
u <sub>5</sub>	1/9	3/9	5/9	7/9	1

Далі отримуємо ступені належності елементів u<sub>1</sub> ÷ u<sub>5</sub> до терму *сильні пошкодження*:

$$\mu^{СП}(u_1) = \frac{1}{1+3+5+7+9} = 0,04;$$

$$\mu^{СП}(u_2) = \frac{1}{\frac{1}{3}+1+\frac{5}{3}+\frac{7}{3}+\frac{9}{3}} = 0,12;$$

$$\mu^{СП}(u_3) = \frac{1}{\frac{1}{5}+\frac{3}{5}+1+\frac{7}{5}+\frac{9}{5}} = 0,2;$$

$$\mu^{СП}(u_4) = \frac{1}{\frac{1}{7}+\frac{3}{7}+\frac{5}{7}+1+\frac{9}{7}} = 0,21;$$

$$\mu^{СП}(u_5) = \frac{1}{\frac{1}{9}+\frac{3}{9}+\frac{5}{9}+\frac{7}{9}+1} = 0,375.$$

Значення функції належності, що отримані, нормуються. В результаті значення збитку техніки №1 подаються у вигляді нечітких множин вигляду:

«слабкі пошкодження

$$\text{техніки №1} = \left( \frac{1}{9}, \frac{0,87}{18}, \frac{0,65}{27}, \frac{0,43}{36}, \frac{0,11}{45} \right)$$

«середні пошкодження

$$\text{техніки №1} = \left( \frac{0,86}{9}, \frac{0,96}{18}, \frac{1}{27}, \frac{0,51}{36}, \frac{0,31}{45} \right)$$

«сильні пошкодження

$$\text{техніки №1} = \left( \frac{0,106}{9}, \frac{0,32}{18}, \frac{0,53}{27}, \frac{0,56}{36}, \frac{1}{45} \right)$$

Далі отримуються нечіткі множини, які описують збиток техніки №2 – 4 підгрупи №1, які представлені в табл. 7, 8.

Таблиця 7

Значення функцій належності для техніки № 2 – 4

№	Слабкі пошкодження	Середні пошкодження
2	$\left( \frac{1}{7}, \frac{0,75}{14}, \frac{0,66}{21}, \frac{0,42}{28}, \frac{0,11}{35} \right)$	$\left( \frac{0,8}{7}, \frac{0,88}{14}, \frac{1}{21}, \frac{0,68}{28}, \frac{0,56}{35} \right)$
3	$\left( \frac{1}{5}, \frac{0,9}{10}, \frac{0,55}{15}, \frac{0,32}{20}, \frac{0,11}{25} \right)$	$\left( \frac{0,83}{5}, \frac{1}{10}, \frac{0,91}{15}, \frac{0,7}{20}, \frac{0,58}{25} \right)$
4	$\left( \frac{1}{4}, \frac{0,9}{8}, \frac{0,55}{12}, \frac{0,32}{16}, \frac{0,11}{20} \right)$	$\left( \frac{0,83}{4}, \frac{1}{8}, \frac{0,91}{12}, \frac{0,7}{16}, \frac{0,58}{20} \right)$

Таблиця 8

Значення функцій належності для техніки № 2 – 4

№	Сильні пошкодження
2	$\left( \frac{0,088}{7}, \frac{0,32}{14}, \frac{0,55}{21}, \frac{0,88}{28}, \frac{1}{35} \right)$
3	$\left( \frac{0,11}{5}, \frac{0,33}{10}, \frac{0,66}{15}, \frac{0,87}{20}, \frac{1}{25} \right)$
4	$\left( \frac{0,11}{4}, \frac{0,33}{8}, \frac{0,66}{12}, \frac{0,87}{16}, \frac{1}{20} \right)$

Записується система логічних рівнянь, які пов'язують функції належності рішень щодо оцінок збитку підгрупи №1 та змінних, які на них впливають x<sub>11</sub> – x<sub>14</sub>:

$$\mu_{Y_1}(Z) =$$

$$\mu^{СП}(x_{11}) \wedge \mu^{СП}(x_{12}) \wedge \mu^{СП}(x_{13}) \wedge \mu^{СП}(x_{14}) \vee \mu^{СРП}(x_{11}) \wedge \mu^{СРП}(x_{12}) \wedge \mu^{СРП}(x_{13}) \wedge \mu^{СРП}(x_{14}) \vee \mu^{СЛП}(x_{11}) \wedge \mu^{СЛП}(x_{12}) \wedge \mu^{СЛП}(x_{13}) \wedge \mu^{СЛП}(x_{14});$$

$$\mu_{Y_1}(\Pi) =$$

$$\mu^{СРП}(x_{11}) \wedge \mu^{СРП}(x_{12}) \wedge \mu^{СЛП}(x_{13}) \wedge \mu^{СРП}(x_{14}) \vee \mu^{СРП}(x_{11}) \wedge \mu^{СП}(x_{12}) \wedge \mu^{СРП}(x_{13}) \wedge \mu^{СП}(x_{14}) \vee \mu^{СЛП}(x_{11}) \wedge \mu^{СП}(x_{12}) \wedge \mu^{СРП}(x_{13}) \wedge \mu^{СРП}(x_{14});$$

$$\mu_{Y_1}(D) =$$

$$\mu^{СРП}(x_{11}) \wedge \mu^{СРП}(x_{12}) \wedge \mu^{СРП}(x_{13}) \wedge \mu^{СРП}(x_{14}) \vee \mu^{СЛП}(x_{11}) \wedge \mu^{СЛП}(x_{12}) \wedge \mu^{СЛП}(x_{13}) \wedge \mu^{СЛП}(x_{14}) \vee \mu^{СЛП}(x_{11}) \wedge \mu^{СЛП}(x_{12}) \wedge \mu^{СЛП}(x_{13}) \wedge \mu^{СРП}(x_{14}).$$

Далі визначається збиток, нанесений підгрупі №1 при фіксованому наборі вхідних змінних, які описують збиток кожного зразка техніки.

Так, наприклад, після вогневого ураження, експертом були визначені оцінки часу відновлення для кожного зразка техніки зі складу підгрупи №1, які наведені в табл. 9.

Таблиця 9

Значення вхідних змінних, які описують стан техніки підгрупи №1

	Лінгвістична змінна	Оцінка часу відновлення, год.
1	Пошкодження техніки №1, $x_{11}^*$	11
2	Пошкодження техніки №2, $x_{12}^*$	21
3	Пошкодження техніки №3, $x_{13}^*$	17
4	Пошкодження техніки №4, $x_{14}^*$	12

Визначається функція належності вхідних змінних нечітким термам:

Для змінній  $x_{11}^*$ :

$$\mu^{СП}(x_{11}^*) = 0,12; \mu^{СРП}(x_{11}^*) = 0,87; \mu^{СЛ}(x_{11}^*) = 0,94.$$

Для змінній  $x_{12}^*$ :

$$\mu^{СЛ}(x_{12}^*) = 0,66; \mu^{СРП}(x_{12}^*) = 1; \mu^{СП}(x_{12}^*) = 0,55.$$

Для змінній  $x_{13}^*$ :

$$\mu^{СЛ}(x_{13}^*) = 0,53; \mu^{СРП}(x_{13}^*) = 0,87; \mu^{СП}(x_{13}^*) = 0,7.$$

Для змінній  $x_{14}^*$ :

$$\mu^{СЛ}(x_{14}^*) = 0,55; \mu^{СРП}(x_{14}^*) = 0,91; \mu^{СП}(x_{14}^*) = 0,66.$$

Визначається функція належності проміжної лінгвістичної змінної  $Y_1$  відповідним нечітким термам:

$$\begin{aligned} \mu_{Y_1}(З) &= [0,12 \wedge 0,55 \wedge 0,7 \wedge 0,66] \vee \\ &\vee [0,12 \wedge 1,0 \wedge 0,87 \wedge 0,9] \vee [0,12 \wedge 0,55 \wedge \\ &\wedge 0,87 \wedge 0,91] = 0,12; \\ \mu_{Y_1}(П) &= [0,87 \wedge 1,0 \wedge 0,53 \wedge 0,91] \vee \\ &\vee [0,87 \wedge 0,55 \wedge 0,87 \wedge 0,66] \vee [0,94 \wedge 0,55 \wedge \\ &\wedge 0,87 \wedge 0,91] = 0,55; \\ \mu_{Y_1}(Д) &= [0,87 \wedge 1,0 \wedge 0,87 \wedge 0,91] \vee \\ &\vee [0,94 \wedge 0,66 \wedge 0,53 \wedge 0,55] \vee [0,94 \wedge 0,66 \wedge \\ &\wedge 0,53 \wedge 0,91] = 0,87. \end{aligned}$$

Аналогічна процедура виконується для підгрупи № 2,3.

Задається фіксований вектор вхідних змінних та визначається функція належності проміжної лінгвістичної змінної  $Y_2$  та  $Y_3$ .

Експертні оцінки часу відновлення кожного зразка техніки зі складу підгрупи №2 наведені в табл. 10.

Таблиця 10

Значення вхідних змінних, які описують стан техніки підгрупи №2

	Лінгвістична змінна	Оцінка часу відновлення, год.
1	Пошкодження техніки №1, $x_{21}^*$	65
2	Пошкодження техніки №2, $x_{22}^*$	34
3	Пошкодження техніки №3, $x_{23}^*$	90
4	Пошкодження техніки №4, $x_{24}^*$	50
5	Пошкодження техніки №5, $x_{25}^*$	40

Для лінгвістичної змінної  $Y_2$ :

$$\begin{aligned} \mu_{Y_2}(З) &= [0,22 \wedge 0,55 \wedge 0,7 \wedge 0,66 \wedge \\ &\wedge 0,45] \vee [0,18 \wedge 1,0 \wedge 0,87 \wedge 0,9 \wedge 0,67] \vee \\ &\vee [0,45 \wedge 0,55 \wedge 0,87 \wedge 0,91 \wedge 0,34] = 0,34; \\ \mu_{Y_2}(П) &= [0,87 \wedge 1,0 \wedge 0,53 \wedge 0,91 \wedge \\ &\wedge 0,23] \vee [0,87 \wedge 0,55 \wedge 0,87 \wedge 0,66 \wedge 0,44] \vee \\ &\vee [0,94 \wedge 0,55 \wedge 0,87 \wedge 0,91 \wedge 0,67] = 0,67; \\ \mu_{Y_2}(Д) &= [0,45 \wedge 0,9 \wedge 0,87 \wedge 0,76 \wedge \\ &\wedge 0,67] \vee [0,89 \wedge 0,63 \wedge 0,25 \wedge 0,55 \wedge 0,41] \vee \\ &\vee [0,54 \wedge 0,61 \wedge 0,49 \wedge 0,89 \wedge 0,55] = 0,49. \end{aligned}$$

Експертні оцінки часу відновлення кожного зразка техніки зі складу підгрупи №3 наведені в таблиці 11.

Таблиця 11

Значення вхідних змінних, які описують стан техніки підгрупи № 3 після нанесення вогневого ураження

	Лінгвістична змінна	Оцінка часу відновлення, що потрібен, год.
1.	Пошкодження техніки №1, $x_{31}^*$	57
2.	Пошкодження техніки №2, $x_{32}^*$	28
3.	Пошкодження техніки №3, $x_{33}^*$	70
4.	Пошкодження техніки №4, $x_{34}^*$	44

Для лінгвістичної змінної  $Y_3$

$$\begin{aligned} \mu_{Y_3}(З) &= [0,89 \wedge 0,76 \wedge 0,7 \wedge 0,69] \vee \\ &\vee [0,77 \wedge 1,0 \wedge 0,89 \wedge 0,82 \wedge 0,71] \vee [0,95 \wedge \\ &\wedge 0,85 \wedge 0,87 \wedge 0,91 \wedge 0,78] = 0,85; \\ \mu_{Y_3}(П) &= [0,34 \wedge 0,56 \wedge 0,53 \wedge 0,45] \vee \\ &\vee [0,67 \wedge 0,35 \wedge 0,77 \wedge 0,61] \vee \\ &\vee [0,54 \wedge 0,57 \wedge 0,61 \wedge 0,67] = 0,54; \\ \mu_{Y_3}(Д) &= [0,23 \wedge 0,67 \wedge 0,77 \wedge 0,76] \vee \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \vee [0,85 \wedge 0,62 \wedge 0,45 \wedge 0,35] \vee \\ & \vee [0,56 \wedge 0,51 \wedge 0,37 \wedge 0,59] = 0,37. \end{aligned}$$

Перепишемо логічні рівняння (8) з урахуванням значень функції належності

$$\begin{aligned} & \mu^3(d_1) = \\ & [0,12 \wedge 0,34 \wedge 0,85] \vee [0,12 \wedge 0,67 \wedge 0,54] \vee \\ & \vee [0,12 \wedge 0,67 \wedge 0,37] \vee [0,12 \wedge 0,49 \wedge 0,37] = 0,12; \\ & \mu^{\Pi}(d_2) = \\ & [0,55 \wedge 0,67 \wedge 0,54] \vee [0,55 \wedge 0,49 \wedge 0,37] = 0,54; \\ & \mu^{\Delta}(d_3) = \\ & [0,87 \wedge 0,49 \wedge 0,37] \vee [0,87 \wedge 0,67 \wedge 0,37] \vee \\ & \vee [0,87 \wedge 0,49 \wedge 0,54] = 0,49. \end{aligned}$$

### Висновки

У відповідності до методу, який пропонується для визначення оцінки збитку груповому неоднорідному об'єкту ураження, об'єкт є подавленим. Аналіз пошкоджень техніки кожної підгрупи, приведених в табл/ № 8 – 10, показує, що сильні пошкодження отримало 53% техніки (7 одиниць), середні пошкодження – 38 % (5 одиниць), слабкі пошкодження 16% (2 одиниці). В відповідності до прийнятих норм ураження групових об'єктів об'єкт вважається *знищеним*. Не врахування важливості техніки зі складу об'єкту призведе до того, що об'єкт, відповідно до прийнятих підходів повинен бути виключеним з переліку об'єктів ураження, не зважаючи на те, що він, в рамках наведеного прикладу, продовжує функціонувати та виконувати завдання за призначенням.

Таким чином, застосування методу оцінки збитку груповому об'єкту з урахуванням неоднорідності елементів з його складу та функціональних зв'язків між ними, визначеними у формі (1) дозволяє уточнити оцінку виконання вогневих завдань та підвищити якість планування вогневого ураження противника.

### Список літератури

1. Балаганский И.А., Мерзневский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов: Учебник, (серия "Учебники НГТУ"). – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2004. – 408 с.
2. Основы исследования операций в военной технике / Под общ. ред. Ю.В. Чуева. – М.: Советское радио, 1965. – 591 с.
3. Фесенко Ю.Н. О задачах огневого поражения групповых объектов // Военная мысль. – 1999. – № 2. – С. 57-62.
4. Шульгин В.Е., Фесенко Ю.Н. Еще раз о теории огневого поражения // Военная мысль. – 2001. – № 6. – С. 57-65.
5. Власов В.И., Ерохин В.А. Теоретические основы огневого поражения и его планирования // Военная мысль. – 1997. – № 1. – С. 22-26.
6. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.

Надійшла до редколегії 1.03.2008

**Рецензент:** д-р техн.наук, проф. В.М. Більчук, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УБЫТКА НЕОДНОРОДНЫМ ГРУППОВЫМ ОБЪЕКТАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ ПРОДУКЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ И ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ ПРОТИВНИКА

В.П. Деденок, Е.В. Брежнев, С.А. Олизаренко, Р.В. Сафронов

*В статье предложен подход к оценке величины ущерба неоднородным групповым объектам с использованием нечетких продукционных моделей в интересах уточнения оценки выполнения огневых задач и повышения качества планирования огневого поражения противника. Проведение логико-лингвистического описания неоднородного группового объекта позволяет получить систему логических высказываний, связывающих значения входных переменных с одним из возможных решений о величине ущерба. Полученные на основе описания уравнения, позволяют определить значения функций принадлежности решений при фиксированных значениях входных переменных. Решение получается на основе метода максимума функций принадлежности.*

**Ключевые слова:** *огневое поражение противника, нечеткие продукционные модели, функция принадлежности, средний результат, нечеткие базы знаний, лингвистические переменные.*

### METHOD OF DETERMINATION LOSS TO THE HETEROGENEOUS OBJECTS OF GROUPS WITH THE USE OF UNCLEAR MODELS OF PRODUCTS AT PLANNING AND ESTIMATION OF EFFICIENCY FIRE DEFEAT OF OPPONENT

V.P. Dedenok, Ye.V. Brezhnev, S.A. Olizarenko, R.V. Safronov

*The approach to appreciation of damage of group target on using fuzzy production models for determination of level fire tasks' completion and improving of fire planning processes is considered in the article. Implying of fuzzy conditional inferences for modeling group targets makes it possible to set system logic declarations, which links the entrance variables to one of possible decision on damage degree. Fuzzy equations based on logic description allow to determinate value of measure of fuzziness for decision on fixed entrance variables. Making decision is based on method maximum of measure of fuzziness*

**Keywords:** *fire defeat of opponent, unclear models of products, function of belonging, middle result, unclear bases of knowledges, linguistic variables.*