

УДК 004.827

А.М. Носик, О.В. Перепелица, О.С. Бодяк

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## МЕТОД ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЙ О ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТАХ ДЕЙСТВИЙ ВОЗДУШНОГО ПРОТИВНИКА, СПРОГНОЗИРОВАННЫХ В ХОДЕ ПОДГОТОВКИ К ВЕДЕНИЮ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ

*В статье представлен метод формализации знаний о возможных вариантах действий воздушного противника, спрогнозированных в ходе подготовки к ведению боевых действий, на основе интервальных нечетких множеств типа 2 в нечеткой постановке.*

**Ключевые слова:** вариант действий, прогнозирование, нечеткое множество, лингвистическая переменная, нечеткая переменная.

### Введение

**Постановка проблемы.** Определение вариантов действий воздушного нападения (СВН) противника в ходе ведения боевых действий является одной из наиболее важных задач распознавания замысла противника.

В свою очередь, определение вариантов действий СВН противника в ходе ведения боевых действий основывается на знаниях о возможных вариантах действий воздушного противника, спрогнозированных в ходе подготовки к ведению боевых действий.

С математической точки зрения задачу формализации знаний о возможных вариантах действий воздушного противника, спрогнозированных в ходе подготовки к ведению боевых действий, можно представить как решение следующих двух подзадач:

1) формализованное представление отдельных параметров спрогнозированных ударов воздушного противника (направление воздушного удара, ширина фронта полосы удара, количественный состав СВН в ударе и т.п.);

2) представление спрогнозированных ударов воздушного противника для каждого варианта действий в виде наперед заданных классов, которые формально задаются как совокупность параметров спрогнозированных ударов, формализованных в свою очередь при решении первой подзадачи.

В рамках решения первой подзадачи параметры ожидаемых ударов СВН противника, такие как, например, ширина фронта полосы удара, количественный состав СВН и т.п., находятся в некоторых пределах и, как правило, достаточно больших [1]. Это связано с тем, что можно указать диапазон (интервал) возможных значений данных, но нельзя точно определить (спрогнозировать) их конкретные значения. Замена интервальных величин средними значениями существенно снижает достоверность результатов прогнозирования, так как повышение детализации предположений о поведении противника, без достаточных на то оснований, увеличивает вероятность того, что результат прогнозирования будет отличаться от реализуемого воздушным противником в ходе боевых действий. Из теории известно, что вероятность угадать конкретное значение непрерывной случайной величины равна нулю, в то время как вероятность попадания случайной величины в интервал своих значений может быть сколь угодно близка к единице [2]. При этом, в рамках исследуемой предметной области, как правило, интервал имеет нечеткие (размытые) границы, а относительно некоторых элементов интервала (например, его границ) нельзя с полной определенностью утверждать – принадлежат эти элементы однозначно интервалу или нет. В то же время, некоторые параметры ожидаемых ударов СВН противника, такие как, например, направление воздушного удара, зна-

чимось ударом, традиційно задаються в формі лінгвістических, а не числових значень.

Для формалізації подібних даних, як правило, використовується математический апарат нечітких множин [3 – 5].

В рамках рішення другої підзадачі спрогнозовані удари повітряного противника для кожного варіанта його дій представляються в формі наперед заданих класів, кожен з яких являється сукупністю параметрів ударів, формалізованих з використанням математического апарату нечітких множин [3]. В даному випадку інформація про клас формально можна представити в формі нечіткого продукційного правила, де в якості умови правила (антецедента) використовуються нечіткі лінгвістическі висловлювання, включаючі формалізовані параметри класу в формі нечітких множин, а в якості висновку правила (консеквентна) використовується номер (найменування) класу.

При цьому в даний час відсутні методи, забезпечуючі безпосередню формалізацію знань про можливі варіанти дій повітряного противника, спрогнозовані в ході підготовки до ведення бойових дій, з використанням нечітких множин, що в свою чергу визначає актуальність розробки відповідного методу.

**Аналіз літератури.** В даний час існує достатньо значительне кількість літератури, в якій докладно розглянуті питання сучасного стану нечітких множин, описані найбільш відомі способи їх застосування і використання в різних предметних областях [6 – 8]. Однак питання безпосередньої формалізації знань про можливі варіанти дій повітряного противника, спрогнозовані в ході підготовки до ведення бойових дій з використанням нечітких множин, в даній літературі не розглядаються. В роботі [9] наведено приклад формалізації результатів прогнозування можливих варіантів дій повітряного противника в рамках застосування алгоритму нечіткого висновку Суґено 0-порядку в додатку для нечітких логіческих систем інтервального типу 2. Дана стаття являється продовженням цих досліджень в частині більш докладного розгляду теоретических питань формалізації знань про можливі варіанти дій повітряного противника, спрогнозованих в ході підготовки до ведення бойових дій.

**Ціль статті.** Представлення розробленого методу формалізації задачі знань про можливі варіанти дій повітряного противника, спрогнозованих в ході підготовки до ведення бойових дій, з використанням нечітких множин типу 2.

## Основной материал

Розроблений метод формалізації знань про можливі варіанти дій повітряного противника, спрогнозованих в ході підготовки до ведення бойових дій, в загальному вигляді включає:

1) процедуру формалізації параметрів спрогнозованих ударів повітряного противника на основі використання математического апарату нечітких множин;

2) процедуру формального представлення спрогнозованих ударів повітряного противника (наперед заданих класів), як сукупності нечітких продукційних правил (формування бази правил) для кожного спрогнозованого варіанта дій повітряного противника.

При розробці методу формалізації знань про можливі варіанти дій повітряного противника, спрогнозованих в ході підготовки до ведення бойових дій, враховуються наступні обмеження і допущення:

1) питання, пов'язані з оцінкою достаточності і інформативності параметрів, використовуваних для описання спрогнозованих ударів повітряного противника, вважаються вирішеними і в рамках даного дослідження не розглядаються;

2) питання, пов'язані з визначенням значень параметрів спрогнозованих ударів повітряного противника при підготовці до бойових дій, наприклад, по результатам моделювання, вважаються вирішеними і в рамках даного дослідження не розглядаються;

3) побудова функцій приналежності в умовах і висновках нечітких продукційних правил починається з використання найбільш простих форм функцій приналежності, а саме — кусочно-лінійних функцій. Внаслідок цього, їх характер може бути уточнений і врахований в ході коректування правил (наприклад, на етапі навчання нечіткої логіческої системи);

4) дослідження питань забезпечення повноти і непротиворечивості сукупності нечітких продукційних правил (бази правил) в рамках даного дослідження не розглядаються;

5) результати формалізації знань про можливі варіанти дій повітряного противника, спрогнозованих в ході підготовки до ведення бойових дій, розглядаються як проміжні значення, необхідні для проведення наступного обґрунтованого і оперативного розпізнавання варіантів дій повітряного противника при ураженні його ударом.

Виходячи з математическої постановки задачі формалізації знань про прогнозувані варіанти дій повітряного противника і з урахуванням того, що інтервальні нечіткі множини типу 2 (ИНМТ2), з однієї сторони, забезпечують форма-

лизацию большего количества дополнительных степеней неопределенности, по сравнению с нечеткими множествами типа 1 (НМТ1), с другой стороны, являются «реализуемыми» при разработке нечетких систем (моделей) и обладают меньшей вычислительной сложностью по сравнению с общими нечеткими множествами типа 2 (НМТ2), в качестве математического аппарата формализации параметров спрогнозированных ударов воздушного противника будем использовать ИНМТ2. При этом совокупность нечетких продукционных правил в дальнейшем будем называть базой правил (БП), которая в общем случае предназначена для формального представления эмпирических знаний или знаний экспертов (ЛПР) о предметной области на основе ИНМТ2.

При разработке метода формализации знаний о спрогнозированных вариантах действий воздушного противника в качестве нечеткого продукционного правила, описывающего наперед заданный класс (спрогнозированный воздушный удар), будем использовать правила с MISO-структурой, где в качестве условий используются характеристики спрогнозированных воздушных ударов, а в качестве заключений используется значения (номера (наименования) классов (спрогнозированных ударов воздушного противника)) формализованные с использованием ИНМТ2.

Структурно метод формализации знаний о возможных вариантах действий воздушного противника, спрогнозированных в ходе подготовки к ведению боевых действий, на основе ИНМТ2 включает следующие основные этапы (рис. 1).

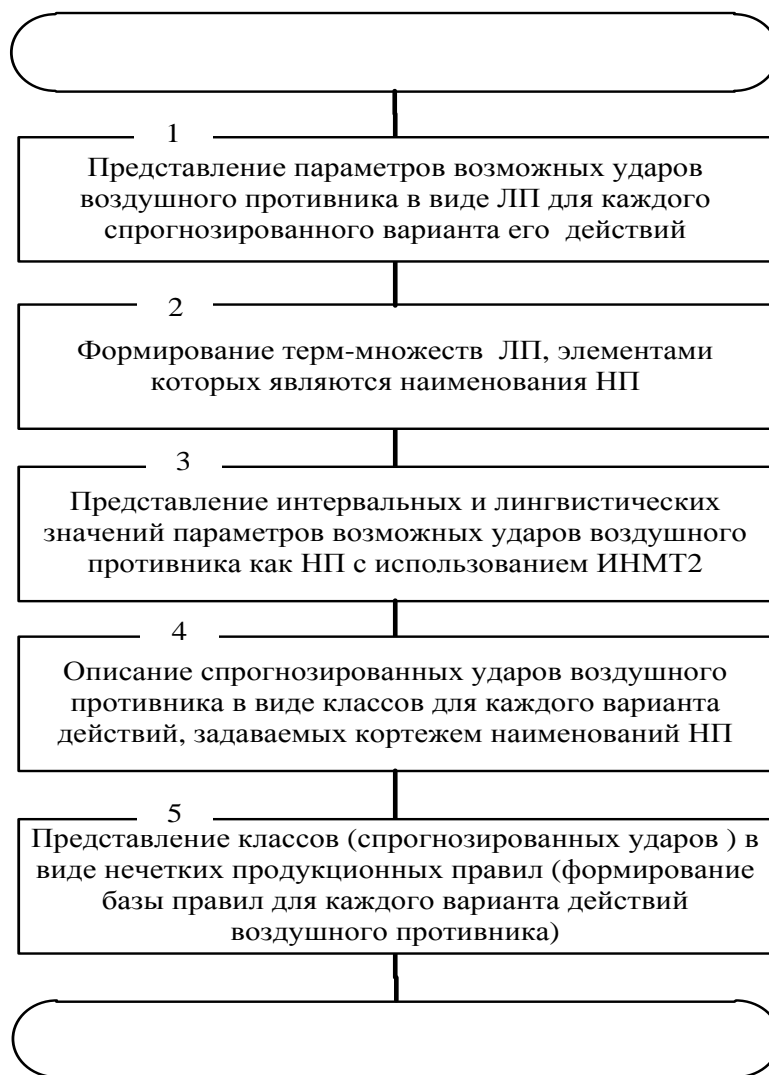


Рис. 1. Структура метода формализации знаний о возможных вариантах действий воздушного противника, спрогнозированных в ходе подготовки к ведению боевых действий

1) представление параметров возможных ударов воздушного противника в виде множества лингвистических переменных (наименований лингвистических переменных (ЛПП)) для каждого спрогнозированного варианта действий воздушного противника;

2) формирование для каждой ЛПП терм-множества, в качестве элементов которого используются наименования нечетких переменных (НП), описывающие интервальные и лингвистические значения параметров возможных ударов воздушного противника;

3) представление интервальных и лингвистических значений параметров возможных ударов воздушного противника как НП с использованием нечетких чисел или интервалов ИНМТ2;

4) описание спрогнозированных ударов воздушного противника в виде наперед заданных классов для каждого варианта действий воздушного противника, где каждый класс задается кортежем, компонентами которого в свою очередь являются наименования НП (конкретные значения ЛП);

5) представление классов (спрогнозированных ударов воздушного противника) в виде нечетких продукционных правил (формирование базы правил для каждого варианта действий воздушного противника), где в качестве антецедента используются нечеткие лингвистические высказывания, включающие компоненты кортежа соответствующего класса.

Описание выполнения первых четырех этапов метода формализации знаний о возможных вариантах действий воздушного противника (рис. 1), составляющих содержание процедуры формализации параметров спрогнозированных ударов воздушного противника на основе использования математического аппарата нечетких множеств, рассмотрено на конкретном примере в [9] и рамках данной статьи приводиться не будет.

Формальное представление спрогнозированных ударов воздушного противника (пятый этап рис. 1), как совокупности нечетких продукционных правил или формирование базы правил для каждого возможного удара воздушного противника в рамках разработанного метода осуществляется по результатам формирования описаний классов с использованием правил нечетких продукций  $R$  в виде

$$R : \text{IF } \beta_1 \text{ is } \alpha_1 \text{ AND } \dots \text{ AND } \beta_n \text{ is } \alpha_n \text{ THEN } \beta_{n+1} = c_j^p, (1)$$

где  $\beta_i$  – наименование входной ЛП, задаваемой кортежем  $\langle \beta_i, T_i, X_i, M_i \rangle$ , где  $i = 1, \dots, n$  и  $n$  – количество входных ЛП;  $T_i = \{ \alpha_i \}$  – множество значений (термов) входной лингвистической переменной (ЛП) правила  $R$ , каждое из которых представляет собой наименование нечеткой переменной (НП) для описания значений параметров ударов воздушного противника;  $X_i$  – область значений НП, наименования которых входят в  $T_i$ ;  $M_i$  – семантическая процедура, ставящая в соответствие значению ЛП нечеткое множество. Отметим, что синтаксическая процедура генерирования новых значений для ЛП  $G_i$  не используется, так как все значения ЛП в рамках предлагаемого подхода определяются на этапе формирования базы правил;  $\beta_{n+1}$  – наименование выходной ЛП («удар воздушного противника»), задаваемой кортежем

$$\langle \beta_{n+1}, T_{n+1}, Y, M_{n+1} \rangle, (2)$$

где  $T_{n+1} = C_p = \{ c_j^p \}$  – множество значений (термов) выходной ЛП правила  $R$ , каждое из которых представляет собой наименование класса (спрогнозированного удара воздушного противника);  $Y$  – область значений термов, наименования которых входят в  $T_{n+1}$ , представляющие номер класса (спрогнозированного удара воздушного противника);  $M_{n+1}$  – семантическая процедура, ставящая в соответствие значению ЛП одноточечное нечеткое множество;  $\alpha_i$  – значение термина входной ЛП в виде наименования НП (лингвистического значения параметра удара), задаваемой кортежем

$$\langle \alpha_i, X_i, \tilde{A} \rangle, i = 1, \dots, n,$$

где  $\tilde{A} \subseteq X_i$ ,  $\tilde{A} = \{ x, \mu_{\tilde{A}}(x) \}$  или  $\tilde{A} = \{ ((x, u), 1) \mid \forall x \in X_i, \forall u \in J_x \subseteq U = [0, 1] \}$  – ИНМТ2 на множестве  $X_i$ , описывающее возможные значения, которые может принимать НП  $\alpha_i \in T_i$ ;  $c_j^p$  – значение термина выходной ЛП в виде наименования или номера класса из множества  $C_p = \{ c_j^p \}$ ,  $j = 1, \dots, m$ ,  $m$  – количество классов.

С точки зрения математической формализации, нечеткое продукционное правило, представленное выражением (1), рассматривается как нечеткая импликация вида

$$\tilde{A} \rightarrow \tilde{B}, (3)$$

где  $\tilde{A} \subseteq X$  и  $\tilde{B} \subseteq Y$  – ИНМТ2, представляющие соответственно условие и заключение (описывающие возможные значения НП), причем  $\tilde{B}$  представляет собой одноточечное ИНМТ2, для которого  $\mu_{\tilde{B}}(y) = \frac{1}{1}$  (при представлении ИНМТ2 способом вертикального среза),  $X$  – область определения условия (в общем случае  $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$  и соответственно  $\tilde{A} = \tilde{A}_1 \times \tilde{A}_2 \times \dots \times \tilde{A}_n$ ),  $Y$  – область определения заключения (номера классов (направлений ударов) из множества  $C_p = \{ c_j^p \}$ ).

*Определение.* Минимальное количество сформированных нечетких продукционных правил соответствует мощности множества возможных ударов воздушного противника, спрогнозированных в ходе подготовки к ведению боевых действий.

При этом обеспечение непротиворечивости базы правил заключается в том, чтобы не допустить в процессе формирования нечетких продукционных

правил случаев, когда одна и та же комбинация термов ЛП приводит к определению разных ударов воздушного противника.

Совокупность нечетких продукционных правил в виде выражений (4) или (5) представляет собой базу правил

$$R_1 : \text{IF } \beta^{N^P} \text{ is } \alpha_1^{N^P} \text{ AND } \beta^{Q^P} \text{ is } \alpha_3^{Q^P} \text{ AND } \beta^{L^P} \text{ is } \alpha_3^{L^P} \text{ AND } \beta^{Z^P} \text{ is } \alpha_3^{Z^P} \text{ THEN } \beta^{NGU} = c_1^P, \quad (4)$$

$$R_1 : \tilde{A}_{\Pi}^{N^P} \times \tilde{A}_{\Delta 3}^{Q^P} \times \tilde{A}_{\Pi 3}^{L^P} \times \tilde{A}_{\Delta 3}^{Z^P} \rightarrow \tilde{B}_1^P. \quad (5)$$

Данные правила формируются для каждого спрогнозированного варианта действий воздушного противника и используются в дальнейшем в качестве входных данных метода формализации знаний о процессе распознавания вариантов действий воздушного противника при отражении его ударов на основе нечеткой логической системы интервального типа 2, представленного в работе [9].

## Выводы

В общем случае, способы формализации знаний с использованием нечетких множеств позволяют учесть различные проявления неопределенности, характерные для характеристик классов вариантов действий воздушного противника, что особенно важно при автоматизированном решении задач распознавания замысла действий СВН противника. Учет различных проявлений неопределенности осуществляется, в первую очередь, за счет введения в рассмотрение нечетких характеристик вариантов действий воздушного противника, формализованных в виде соответствующих им интервальных нечетких множеств типа 2. При этом собственно задача формализации знаний о возможных вариантах действий воздушного противника, спрогнозированных в ходе подготовки к ведению боевых действий, сводится к формализации параметров спрогнозированных ударов воздушного противника на основе

использования математического аппарата интервальных нечетких множеств типа 2 и формального представления спрогнозированных ударов воздушного противника (наперед заданных классов), как совокупности нечетких продукционных правил (базы правил) для каждого спрогнозированного варианта действий воздушного противника.

## Список литературы

1. Городнов В.П. Моделирование боевых действий частей, соединений и объединений войск ПВО / В.П. Городнов. – Х.: ВИРТА ПВО, 1987. – 379 с.
2. Венцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Венцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
3. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 288 с.
4. Борисов А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др. – М.: Радио и связь. 1989. – 304 с.
5. Рыжов А.П. О качестве классификации объектов на основе нечетких правил / А.П. Рыжов // Интеллектуальные системы. – 2005. – Том 9, вып. 1 – 4. – С. 253-264.
6. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
7. Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта; Пер. с польск. И.Д. Рудинского / Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 520 с.
8. Герасимов Б.М. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации / Б.М. Герасимов, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмин. – К.: Техніка, 2002. – 140 с.
9. Олизаренко С.А. Метод формализации задачи распознавания направлений ударов СВН противника на основе нечеткой классификации / С.А. Олизаренко, А.В. Перепелица, В.А. Капранов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 2(100). – С. 70-80.

Поступила в редколлегию 22.11.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Б.А. Демидов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗНАНЬ ЩОДО МОЖЛИВИХ ВАРІАНТІВ ДІЙ ПОВІТРЯНОГО ПРОТИВНИКА, ЯКІ СПРОГНОЗОВАНІ В ХОДІ ПІДГОТОВКИ ДО ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ

А.М. Носик, О.В. Перепелица, О.С. Бодяк

*У статті представлено метод формалізації знань про можливі варіанти дій повітряного противника, що спрогнозовані в ході підготовки до ведення бойових дій, на основі інтервальної нечіткої множини типу 2 в нечіткій постановці.*

**Ключові слова:** варіант дій, прогнозування, нечітка множина, лінгвістична змінна, нечітка змінна.

## THE METHOD FORMALIZATION KNOWLEDGE ABOUT POSSIBLE VARIANTS ACTIONS AIR OPPONENT, THAT PROGNOSTICATION DURING PREPARATION TO CONDUCT OF BATTLE ACTIONS

A.M. Nosyk, A.V. Perepelitsa, O.S. Bodiak

*In the article the developed is presented authors in the unclear raising method of formalization knowledge about the possible variants actions air opponent, that prognostication during preparation to the conduct of battle actions, on the basis of interval fuzzy sets of type 2.*

**Keywords:** variant of actions, prognostication, fuzzy set, linguistic variable, unclear variable.