

# Модель прогнозирования степени сложности метеоусловий с учетом теории нечеткой логики

Д. В. Черепанов, email: cherepanov.77@yandex.ru

И. Е. Кузнецов, email: vaiumet@mail.ru

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

***Аннотация.** В данной статье представлен подход, повышающий эффективность и безопасность выполнения авиационных задач путем улучшения оправдываемости прогнозов метеорологических величин, входящих в метеоминимум летного состава, на основе применения теории нечеткой логики.*

***Ключевые слова:** высота нижней границы облачности, горизонтальная видимость, количество облачности, метеоминимум.*

## Введение

Эффективность и безопасность выполнения авиационных задач государственной авиацией в полной мере определяется метеорологическими условиями, в которых осуществляется полет. Критерияльной оценкой соответствия метеорологических условий уровню подготовки авиационного персонала является метеорологический минимум (степень сложности метеоусловий), включающий в себя значение высоты нижней границы облачности, видимости и количество облачности. Качественный прогноз этих характеристик, а также их грамотный учет позволяет спланировать и оптимально использовать имеющиеся авиационные ресурсы. Для этого организуется система метеорологического обеспечения, основной задачей которой является эффективное прогнозирование элементов погодных условий, оказывающих наиболее существенное влияние на качество и безаварийность решаемых авиационных задач. В настоящее время используется большой арсенал технологий и средств, обеспечивающих прогностической метеорологической информацией потребителя. Вместе с тем, точность прогнозирования метеорологических характеристик все еще остается недостаточной и в ряде случаев не соответствует предъявляемым к ней требованиям. В связи с этим необходимо искать новые пути решения этой задачи, основанные на использовании новых математических подходах и идеях. В условиях недостатка и неопределенности исходной информации для

ее обработки хорошо зарекомендовали себя методы нечеткой логики и дискретной математики.

Поэтому целью работы явилось повышение качества прогнозирования метеохарактеристик, определяющих степень сложности метеоусловий, путем применения теоретических аспектов нечеткой логики [1].

### 1. Применение теоретических аспектов нечеткой логики для прогнозирования степени сложности метеоусловий

Формализуем решаемую задачу. Пусть необходимо принять такое решение  $R$ , при котором обеспечивается максимально возможный результат прогнозирования погодных условий с заданной эффективностью при неполных и неточных исходных данных о состоянии атмосферы в исходный момент времени  $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij})$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $j = 1, \dots, m$  [2].

Решение поставленной задачи предлагается осуществить на основе системы нечетких продукционных правил:

$$\text{ЕСЛИ } (x_1 \text{ есть } A_i) \wedge \dots \wedge (x_j \text{ есть } B_i) \text{ ТО } (y \text{ есть } C_i), i = 1, \dots, m \quad (1)$$

где  $A_i$ ,  $B_i$  – нечеткие высказывания о характеристиках атмосферы, соответствующих степени сложности метеоусловий  $C_i$ , связанные логическими операторами «конъюнкция», «дизъюнкция» и «импликация» 1.

Тогда предлагаемая методика будет состоять из следующих этапов:

1 этап – количественная оценка степени принадлежности к одному из классов.

В качестве функции принадлежности к различным посылкам было использовано следующее выражение:

$$y = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{(x - m^2)}{d} \right\}^b}, \quad (2)$$

где  $m$  – математическое ожидание и  $d$  – дисперсия значений  $x$ .

Условия посылки  $x$ , для которых необходимо сделать вывод, определяются результатами измерений значений метеорологических показателей в исходный момент времени прогнозирования и представляются четкими числами  $-x^0$ .

2 этап – применение модели нечеткого логического вывода на основе импликации Ларсена для получения функции принадлежности результирующей величины  $y$  к соответствующему классу:

$$\mu_{C'}(y) = \sup_x [\mu_{A'}(x_1^0) \cdot \mu_{B'}(x_j^0) \cdot \mu_A(x_1) \cdot \mu_B(x_j) \cdot \mu_C(y)] \quad (3)$$

Полученное выражение (2) позволяет легко решать задачу для каждого правила (1) путем подстановки результатов измерений метеорологических показателей при заданной функции принадлежности к одному из классов степени сложности метеоусловий  $\mu_C(y)$ .

2 этап – аккумуляирование полученных функций  $\mu_{C_i'}(y)$ , где  $i$  – номер правила в системе (2), предлагается осуществлять на основе граничного алгебраического подхода:

$$\mu_{C'}(y) = \min\{\mu_{C_1'}(y) + \dots + \mu_{C_i'}(y) + \dots + \mu_{C_n'}(y); 1\}, \quad (4)$$

Функция принадлежности  $\mu_{C'}(y)$  задает семантику высказываний типа «возможность высокая» или «возможность низкая». Для проверки выполнения неравенства  $y \geq y_{\min}$  необходимо выполнить дефазификацию этой функции.

3 этап – дефазификация. Модель дефазификации функции  $\mu_{C'}(y)$  должна обеспечивать следующее естественное требование максимального соответствия прогнозируемых условий фактически наблюдаемым. Для принятой функции принадлежности этому требованию отвечает наибольшее значение, определяемое по формуле средневзвешенного значения

$$y^0 = \frac{\int_0^1 \mu_{C'}(y) y dy}{\int_0^1 \mu_{C'}(y) dy} \text{ с нормировкой } y^{0n} = \frac{y^0}{y_{\max}^0} \in [0;1], \quad (5)$$

Выражения (1) – (5) являются завершающими в процессе реализации предлагаемой методики.

## 2. Результаты исследования

Практическая реализация данной методики была осуществлена на примере прогнозирования сложности метеоусловий в зависимости от высоты нижней границы облачности, видимости и количества облачности.

В качестве исходных данных были приняты: значения дефицита точки росы у земли и на высоте 300 м, разница температур у земли и на высоте 300 м, значение числа Ричардсона в слое от земли до высоты 300 м в пункте прогноза с заблаговременностью 6 часов.

Функции принадлежности метеорологических величин к трем классам степени сложности метеоусловий на примере значений дефицита точки росы представлены на рисунке 1.

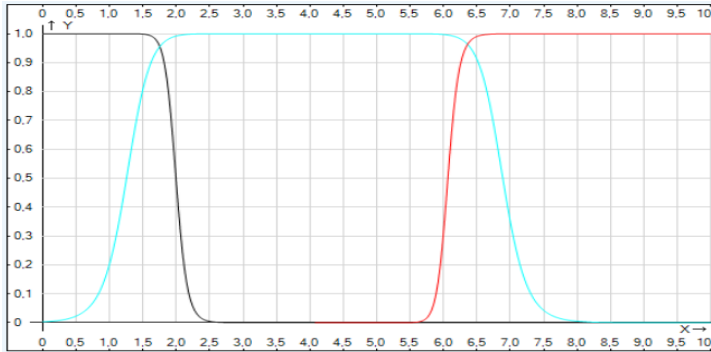


Рис. 1. Функции принадлежности дефицита точки росы с высказываниями «сильно», «умеренно», «слабо» к первой градации сложности метеоусловий

На основании предлагаемой методики была построена структурно-логическая модель расчета степени принадлежности к определенному уровню сложности метеоусловий, фрагмент структуры которой представлен на рисунке 2. Построенный нечеткий классификатор по входным данным должен определить степень принадлежности к определенному классу.

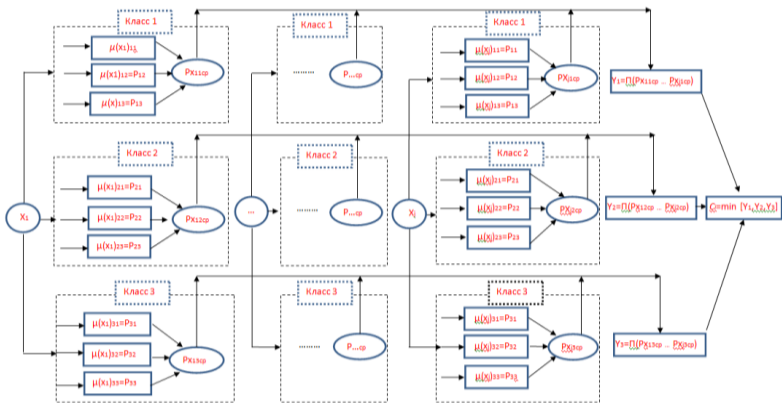


Рис. 2. Фрагмент структуры нечеткого классификатора

### **Заключение**

Таким образом, проведенный численный эксперимент на основе данных измерений и наблюдений за низкой слоистой облачностью показал, что по сравнению с традиционными физико-статистическими методами предлагаемый подход позволяет повысить качество прогнозирования на 20-30 %. Это является свидетельством о возможном его использовании в автоматизированных системах прогнозирования и поддержки принятия метеозависимых решений.

### **Список литературы**

1. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. М., 2001. 224 с.
2. Кузнецов И.Е., Гуськов Д.А., Страшко О.В. Структурно-логическая модель метеорологического обеспечения беспилотных летательных аппаратов при ограниченной метеорологической информации. Естественные и технические науки №12/1261, 2018. С. 201-207.