

# Методическое обеспечение снижения фактора метеорологической неопределенности в задачах принятия решений

С. Н. Башлыков, email: bashlykov.sergey@mail.ru<sup>1</sup>

В.С. Ножкин<sup>1</sup>

А.В. Самсонов, email: sinoptik78@mail.ru<sup>1</sup>

С. П. Петренко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) 1

***Аннотация.** В данной работе рассматриваются основные методические аспекты построения автоматизированной системы поддержки принятия метеозависимых решений в условиях не полностью формализованной информации.*

***Ключевые слова:** экспертная база знаний, база данных, статистический анализ, нечёткая логика.*

## Введение

В настоящее время происходит быстрое развитие информационных технологий и технических средств, активно применяемых в авиации по всему миру, что в свою очередь приводит к увеличению интенсивности воздушного движения, дальности полетов, объемов перевозок, появлению новейших образцов воздушных судов, а также совершенствованию существующих и появлению новых способов выполнения авиационных задач. Данная тенденция повышает требования к оценке и учету метеорологических условий (МУ) при планировании применения авиации, прежде всего в отношении анализа метеорологических данных и оперативности прогнозирования погоды.

Вместе с данными направлениями совершенствования возросла сложность авиационных систем (АС), снизилось время на планирование и организацию полетов, что привело к снижению обоснованности и качеству принимаемых решений. Проблема принятия решений или проблема выбора альтернатив – это самый распространенный класс задач, с которыми сталкивается руководитель – лицо, принимающее решение (ЛПР) [1, 2].

Таким образом, проведение исследований, направленных на создание интеллектуальной системы, автоматизирующей поддержку принятия решений на основе метеорологической информации (МИ) при

организации и планировании полетов, является целесообразным и актуальным.

### 1. Методические аспекты программного комплекса

Современные методики создания программного комплекса, обеспечивающего поддержку принятия решения, подразумевает использование накопленного человеческого опыта и статистических данных, что объединяется в интеллектуально-информационной системе. Данная система объединяет в себе компоненты, каждый из которых выполняет определённые функции. Принципиальная схема программного комплекса представлена на рис. 1.

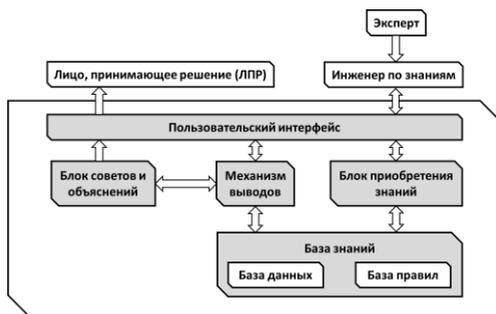


Рис. 1. Принципиальная схема программного комплекса

За хранение, обработку и накопление данных отвечает база знаний, объединяющая в себе базу данных и базу правил. База данных (БД) представляет собой структурированную систему для хранения МИ. Важной особенностью такой системы является наличие идентификаторов и связей между хранимыми данными. БД содержит в себе фактические данные о состоянии погоды и дневники погоды. Динамичность БД заключается в регулярном обновлении и добавлении актуальных статистических метеорологических данных [2].

База правил (БП) является динамически изменяемой системой. Правила, содержащиеся в данной базе, представляют собой формализованные с помощью регрессионного анализа и алгоритмов нечёткой логики условия, описывающие взаимосвязь метеорологических параметров и явлений. Для создания БП применяется разрабатываемый программный модуль, позволяющий автоматизировать процессы обработки метеорологической информации. Принципиальная схема механизма выводов и базы знаний представлена на рис. 2 [3].

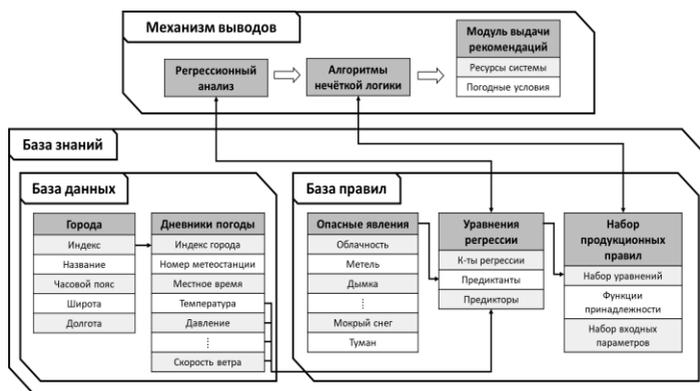


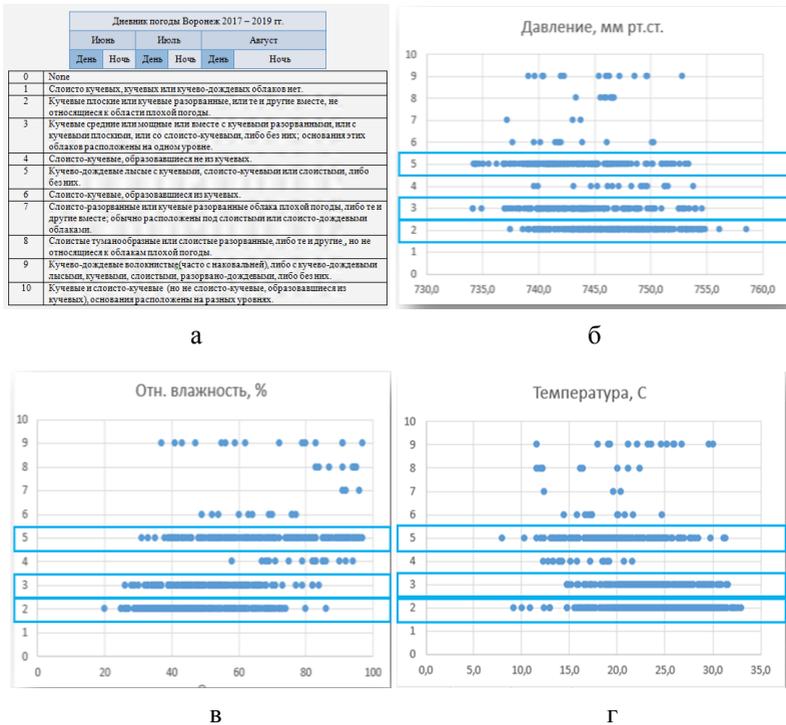
Рис. 2. Принципиальная схема механизма выводов и базы знаний

Входными данными являются: список городов Российской Федерации с указанием часового пояса и географических координат; дневники погоды метеостанций, расположенных в описанных выше городах или в их окрестностях. В дневниках собрана информация о параметрах погодных условий за последние несколько десятилетий, что является важным условием для создания наиболее точных статистических моделей, на основе которых осуществляется регрессионный анализ.

Описанные входные данные записываются в БД с помощью разработанного программного модуля. Пользователю необходимо подготовить необходимые дневники погоды и указать их расположение на ЭВМ. Запись производится в автоматическом режиме с последующим созданием общего файла с БД. Данная процедура позволяет объединить все дневники погоды и в дальнейшем использовать их для создания БП.

БП содержит в себе предварительную информацию об опасных явлениях погоды (ОЯП), уравнения регрессии и набор продукционных правил. Все эти составляющие взаимосвязаны как между собой, так и с БД и механизмом выводов. В ходе работы механизма выводов сначала производится итерационный процесс создания уравнений регрессии и их записи в БП. Затем, используя полученные уравнения, а также заранее заданные входные параметры и функции принадлежности, производится выполнение алгоритмов нечеткой логики, которые играют роль уточнения регрессионного анализа с учётом особенностей местности, где были произведены измерения погодных условий.

На рис. 3 отражена предварительная обработка данных из дневника погоды Воронежа за летний период 2017-2019 гг. в дневное время суток. Представлена задача определения параметров, в значительной мере влияющих на появление той или иной облачности. В данном примере рассмотрено появление облачности нижнего яруса в зависимости от температуры, давления и влажности. Из графиков видно, что наиболее часто появляется облачность типов 2,3,5 [3].



*а* – неформализованная метеорологическая информация, *б* – частота появления типа облачности, в зависимости от давления, *в* – частота появления типа облачности, в зависимости от влажности, *г* – частота появления типа облачности, в зависимости от температуры

Рис. 3. Этапы предварительной обработки метеорологической информации

Для лучшей наглядности появление данных типов облачности представим в трёхмерном пространстве, и с помощью статистического

анализа осуществляется нахождение центров тяжести множеств, а также исключение аномалий, не попавших в доверительный интервал нормального распределения по каждой из осей (рис. 4). В то же время происходит ситуация, когда множества пересекаются, поэтому необходимо произвести их кластеризацию.

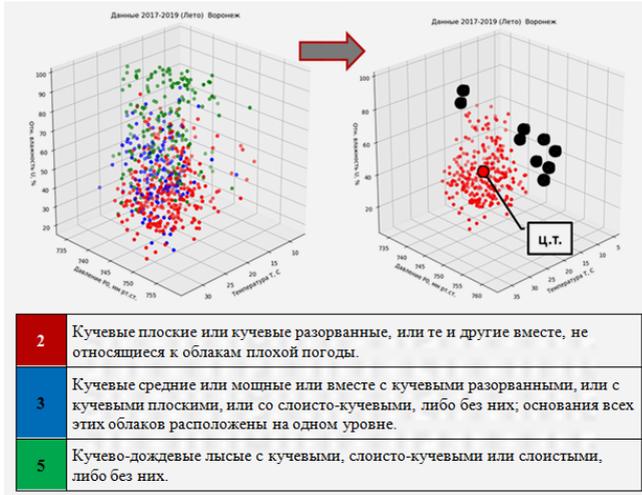


Рис. 4. Представление результатов статистического анализа

Кластеризация множеств осуществляется методом  $k$ -средних (рис. 5). Определение множества, к которому относится новое значение, выполняется через нахождение минимального расстояния до центра тяжести одного из множеств, представленного выражениями (1-4).

$$r_1 = \sqrt{(x - x_{c1})^2 + (y - y_{c1})^2 + (z - z_{c1})^2}, \quad (1)$$

$$r_2 = \sqrt{(x - x_{c2})^2 + (y - y_{c2})^2 + (z - z_{c2})^2}, \quad (2)$$

$$r_3 = \sqrt{(x - x_{c3})^2 + (y - y_{c3})^2 + (z - z_{c3})^2}, \quad (3)$$

$$r_{\min} = \{r_1; r_2; r_3\}. \quad (4)$$

В результате имеем возможность формализовать типы облачности в зависимости от выбранных параметров. Набор параметров может меняться в зависимости от точности предоставляемых результатов.

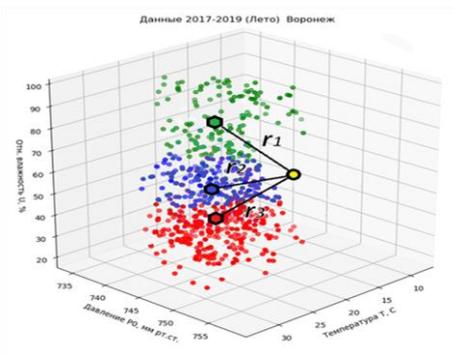


Рис. 5. Кластеризация множеств методом  $k$ -средних

Следующим этапом разработки методики обработки качественных метеоданных является переход к алгоритмам нечеткой логики [4].

На рис. 6 представлен обобщенный вид структурной модели нечеткого логического вывода. В данной системе нечёткая логика необходима для обработки нечётких величин и лингвистических переменных, что в итоге будет давать возможность сделать выводы о возможности выполнения авиационной задачи.



Рис. 6. Обобщенный вид структурной модели нечеткого логического вывода

После проделанного анализа все итоговые результаты накапливаются в модуле выдачи рекомендаций. Через блок советов и объяснений и пользовательский интерфейс результаты предоставляются лицу, принимающему решения.

## 2. Пример реализации алгоритма нечеткого вывода

В качестве примера разработки системы нечеткого логического вывода в интерактивном режиме с помощью графических средств пакета Fuzzy Logic программы MATLAB рассмотрим следующую нечеткую модель принятия решения в авиационной системе [5].

*Пример.* Рассматривается ситуация, при которой, основываясь на определенных параметрах АС, требуется принять решение на проведение полетов.

Задача состоит в том, чтобы разработать некоторую экспертную систему, которая была бы реализована в виде системы нечеткого вывода и позволяла бы определять возможность безаварийного (безопасного) полета.

Эмпирические знания о рассматриваемой проблемной области могут быть представлены в форме следующих эвристических правил продукций:

«ЕСЛИ дальность видимости  $A_{101}$  – высокая, и высота нижней границы облаков  $A_{102}$  – высокая, и квалификация летчика  $B_{10}$  – очень высокая, ТО возможность безаварийной посадки  $C_{10}$  – высокая».

«ЕСЛИ дальность видимости  $A_{111}$  – средняя, и высота нижней границы облаков  $A_{112}$  – не высокая, и летчик средней квалификации  $B_{11}$ , ТО возможность безаварийной посадки  $C_{11}$  – средняя».

«ЕСЛИ дальность видимости  $A_{121}$  – низкая, и высота нижней границы облаков  $A_{122}$  – низкая, и летчик низкой квалификации  $B_{12}$ , ТО возможность безаварийной посадки  $C_{12}$  – низкая».

В качестве входных параметров системы нечеткого вывода рассматриваются три лингвистические переменные: «дальность видимости», «высота нижней границы облаков», «опасные явления», а в качестве выходных параметров – нечеткую лингвистическую переменную «возможность безаварийной посадки». В качестве термножества для всех лингвистических переменных используется множество (низкий, средний, высокий) [5].

С учетом сделанных уточнений рассмотренная информация о возможности безаварийного полета может быть представлена в виде трех правил нечетких продукций следующего вида (система нечеткого вывода типа Мамдани).

Поскольку в примере рассматривается система нечеткого вывода с тремя входами, необходимо добавить в разрабатываемую систему FIS еще две входных переменных и изменим имена входных и выходных переменных, предложенных системой по умолчанию. Результат изменения изображен на рис. 7.

Далее определяются термы и их функции принадлежности для входных и выходных переменных системы нечеткого вывода.

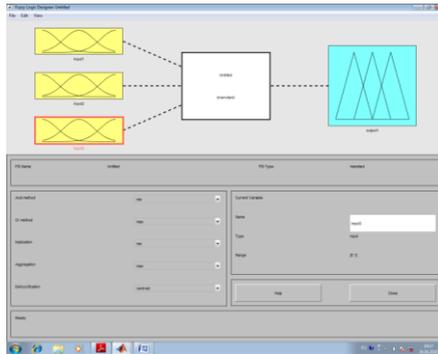


Рис. 7. Вид редактора FIS после добавления второй и третьей входных переменных

После вызова редактора функций принадлежности каждой из переменных по умолчанию предлагается три термина с треугольными функциями принадлежности, как изображено на рис. 8.

Сначала изменяется диапазон определения значений входных переменных. Аналогично выполняются изменения соответствующих диапазонов для выходной переменной «возможность безаварийного полета», при этом верхнее значение 1 следует оставить без изменения.

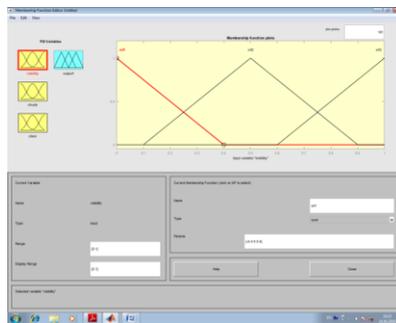


Рис. 8. Вид редактора функций принадлежности для термов переменной «видимость»

Далее изменяются названия термов и параметры функции принадлежности для выходной переменной «возможность безаварийного полета», для этого остается без изменений треугольный тип функции принадлежности, предложенный системой MATLAB. Вид редактора функции принадлежности после сделанных изменений для

выходной переменной «возможность безаварийного полета» изображен на рис. 9.

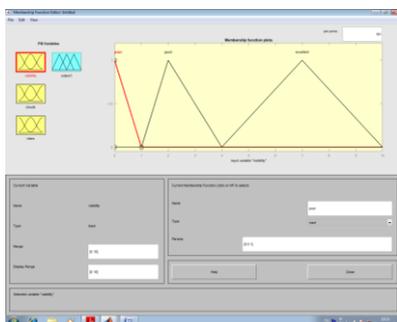


Рис. 9. Вид редактора функций принадлежности после изменения названия термов и типа их функций принадлежности

Аналогичным образом задается второе и третье правило (рис. 10).

После задания правил нечеткого вывода оказывается возможным получить результат нечеткого вывода (значение выходной переменной) для конкретных значений входных переменных.

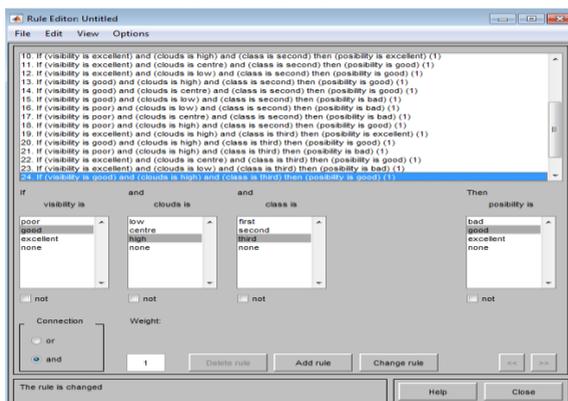


Рис. 10. Вид редактора правил нечеткого вывода после их определения

После вызова программы просмотра правил для нашей системы нечеткого вывода по умолчанию для входных переменных предложены средние значения из интервала их допустимых значений (рис. 11).

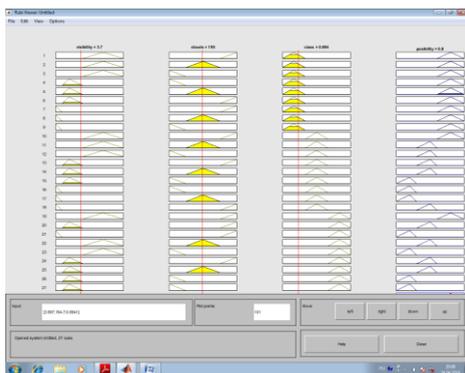


Рис. 11. Результат нечеткого вывода

На основе результатов, полученных в системе нечеткого вывода, ЛПР осуществляет выбор наиболее подходящих ресурсов АС для решения авиационных задач, обеспечивающие требуемый уровень возможности их применения, в зависимости от метеорологической обстановки.

### Заключение

Описанный выше подход предоставляет широкие возможности для создания базы знаний и последующего моделирования и анализа метеорологических процессов, что как следствие позволит повысить качество принимаемых решений на применение авиации в условиях не полностью определённой метеорологической информации.

### Список литературы

1. Андрейчиков, А.В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М. : Финансы и статистика, 2000.– 368 с.
2. Борисов, В.В., Нечеткие модели и сети /В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов / – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.
3. Мошников, А.Н. Количественная оценка влияния атмосферных явлений на безопасность полетов. / А.Н. Мошников // Авиационная метеорология : Межвуз. сб. науч. трудов. – Москва, 1978. – С. 20-23.
4. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс.: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
5. Ярушкіна, Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем: учебное пособие / Н.Г. Ярушкіна. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.