

УДК 004.92

doi: 10.26102/2310-6018/2019.24.1.028

А.Б. Мигранов, И.С. Максютков  
**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В СИСТЕМЕ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРЕЛЬБОЙ  
ПНЕВМОПУШКИ ПРИ ПОЖАРОТУШЕНИИ**

*Институт механики им. Р.Р. Мавлютова, Уфа, Россия  
Уфимский государственный авиационный технический университет,  
Уфа, Россия*

*В статье рассмотрено получение математической модели технического объекта – пневмопушки на основе методов нечеткой логики. Данная тема очень актуальна, поскольку на настоящий момент ни одна из существующих автоматических установок пожаротушения не обеспечивает быструю и эффективную ликвидацию пожара с минимальными потерями. В качестве устройства получения информации используется тепловизор, который фиксирует повышение температуры в случае пожара и падение температуры в случае попадания снаряда в ядро пламени. При достижении предельной величины температуры происходит изменение значения угла запуска и управляющий сигнал, корректируется значение давления, оказываемого на снаряд. На основе формулы для вычисления траектории полета снаряда составляются логические правила, в которых входными данными являются угол запуска и давление, а на выходе – расстояние, которое пролетит снаряд. В работе проанализированы характерные особенности поведения снаряда и результат его попадания в цель. На основании методов нечеткой логики система управления определяет область огня или максимального повышения температур и вычисляет поворот пушки и расстояние для выстрела снаряда. Для установок пожаротушения (пневмопушек) предлагается использование автоматизированной системы управления пожаротушением на базе разработанных нечетких правил.*

**Ключевые слова:** нечеткая логика, нечеткая система, пневмопушка, пожаротушение.

**Введение.** Необходимость разработки эффективных автоматизированных систем пожаротушения для различного типа технических объектов является важной и актуальной задачей. Современные системы пожаротушения позволяют значительно уменьшить риск гибели и травмирования людей, сократить значительные материальные потери.

Существующие системы слишком затратные с точки зрения расходных материалов. Бессистемное тушение пожара приводит к излишнему использованию зарядных пакетов пожаротушения, увеличению длительности пожаротушения, увеличению потенциальных потерь пожара. Использование правил нечеткой логики позволит использовать расходные материалы более рациональным способом. На основе правил нечеткой

логики после получения показаний тепловизора о снижении температуры в точке тушения выбирается из окружения ближайшая точка с температурой выше температуры возгорания.

Таким образом, удастся уменьшить площадь возгорания и снизить количество очагов горения.

Цель данного исследования – разработать нечеткую систему управления пневмопушкой, используемую при пожаротушении. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- изучить возможность применения систем на нечеткой логике в автоматизированных системах пожаротушения;
- построить структурную и функциональную схемы системы автоматического управления (САУ) стрельбой пневмопушки на основе нечеткой логики;
- разработать алгоритм определения координат ядра пламени и поворота дула пневмопушки;
- разработать методику расчета траектории полета снаряда;
- построить математическую модель расчета траектории полета снаряда от пневмопушки до ядра пламени при помощи программного обеспечения *Simulink* из пакета MATLAB.

Для решения задачи управления системой пожаротушения предлагается использовать разработанную структуру управления с использованием базы нечетких правил с учетом поступающих данных в систему.

Объектом исследования является система управления стрельбой пневмопушки при пожаротушении на основе нечеткой логики.

### **Существующие подходы тушения огня и применение подхода с нечеткой логикой в пожаротушении.**

В существующих системах пожаротушения тушение пожара начинается при определении источника возгорания или огня.

Теоретические исследования по нечёткой логике в литературных источниках последних лет изучены в трудах Аверкина А.Н., Асадуллаева Р.Г., Коньшевой Л.К., Ярушкиной Н.Г и др. [1-5].

Так как значение слова «пожар» относится к лингвистическим переменным, то возможно применение значение переменных нечеткой логики. Входными переменными выберем значения температуры и расстояния.

В зависимости от измеренной температуры значение переменной

нечеткой логики может принимать значения («нормальная температура» - от 0 до 30 градусов, «жарко» - 31-69 градусов, «пожар» - 70 и больше градусов).



Рисунок 1. Переменные нечеткой логики в системе пожаротушения (температура)

В зависимости от величины расстояния значение переменной нечеткой логики может принимать значения («близко» - от 0 до 5 метров, «подальше» - 6-10 метров, «далеко» - 11-15 метров и «очень далеко» при расстоянии больше 16 метров).

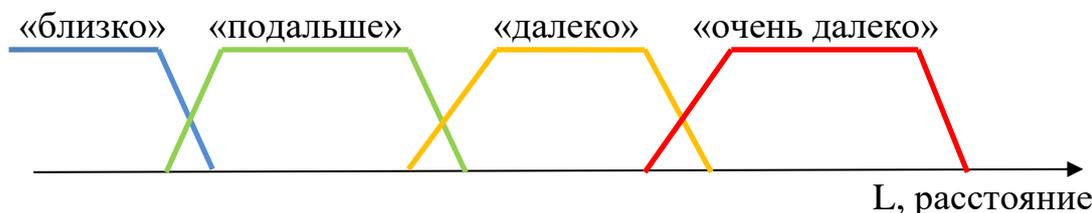


Рисунок 2. Переменные нечеткой логики в системе пожаротушения (расстояние)

Выходными переменными будут «выстрел» и «нет выстрела».

Применение подхода пожаротушения с применением методов нечеткой логики позволяет определить источник возгорания (действующий или возможный) и применить автоматический запуск пневмопушки для тушения пожара или снижения температуры. Система пожаротушения срабатывает, если исследуемый участок попадает в зону «пожар».

Таблица 1 База нечетких правил для регулятора пневмопушки

температура	Расстояние до целевой точки			
	Близко	Подальше	Далеко	Очень далеко
«нормально».	Нет выстрела	Нет выстрела	Нет выстрела	Нет выстрела
«жарко».	Нет выстрела	Нет выстрела	Нет выстрела	Нет выстрела
«пожар».	Выстрел	Выстрел	Выстрел	Выстрел

## Функциональная и структурная схемы САУ

На Рисунке 3 представлена структурная схема САУ стрельбой из пневмопушки.

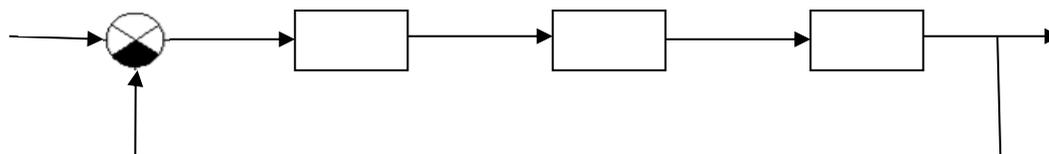


Рисунок 3 – Структурная схема САУ стрельбой пневмопушки, где: АУУ – автоматическое управляющее устройство, ИМ – исполнительный механизм (система наведения), ОУ – объект управления (пневмопушка),  $u$  – входной сигнал,  $x$  – выходной сигнал,  $e$  – сигнал «ошибки» (рассогласования)

Нечеткий регулятор согласно базе нечетких правил формирует управляющие сигналы на пневмопушку. Функциональная схема управления изображена на Рисунке 4.

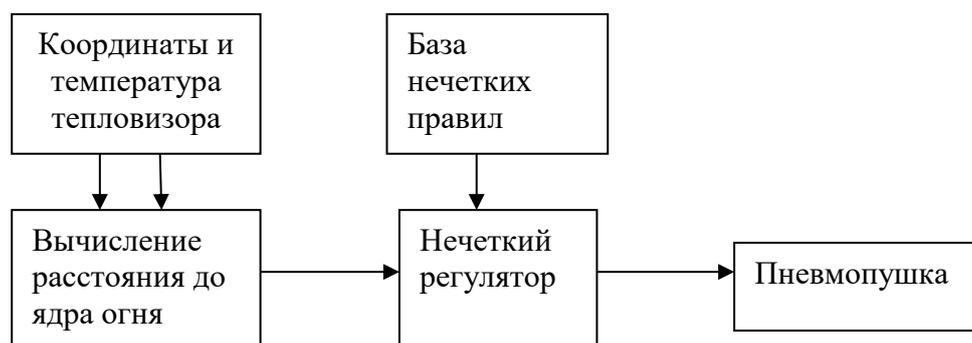


Рисунок 4. Функциональная схема управления с нечетким регулятором

### Алгоритм

Определение координат ядра пламени и поворота дула пневмопушки производится по следующему алгоритму:

- тепловизор передает данные в систему;
- при помощи нечеткой логики идет определение участка тушения (при заранее известных и заданных диапазонах температур выбирается ближайший участок, попадающий в диапазон «пожар»);

- расчет координат ядра пламени и поворота дула пневмопушки;
- установка пушки в соответствии с рассчитанными значениями;
- выстрел пушки;
- повторение цикла при количестве ядер пламени больше 1.

### Расчет координат ядра пламени и поворота дула пневмопушки

- при помощи микропроцессора идет проекция на систему координат и определяются координаты X и Y (Рисунок 5);

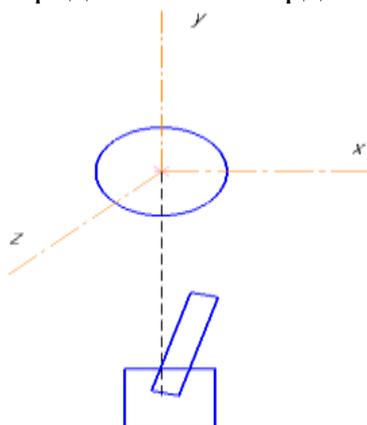


Рисунок 5 – Определение координат ядра пламени

- происходит расчет угла, на который нужно совершить поворот и совмещение осей прицела и центра (Рисунок 6);

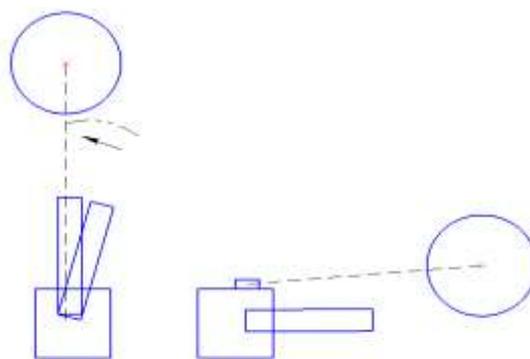


Рисунок 6 – Поворот дула пневмопушки

- расчет траектории полета снаряда (определение расстояния до ядра и угла по отношению к линии горизонта);  
Для начала необходимо определить расстояние А с помощью лазерного дальномера (который установлен на каждой установке

пожаротушения), углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  измеряем с помощью датчика угла. Далее по формуле рассчитываем угол бета, а затем расстояния  $x_1$  и  $x_2$ .

$$\beta = 180^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2), \quad (1)$$

$$x_1 = A * \frac{\sin(\alpha_2)}{\beta}, \quad (2)$$

$$x_2 = A * \frac{\sin(\alpha_1)}{\beta}. \quad (3)$$

где  $A$  – расстояние от установки 1 до установки 2,  $x_1$  – расстояние от установки 1 до пожара,  $x_2$  – расстояние от установки 2 до пожара (Рисунок 7).

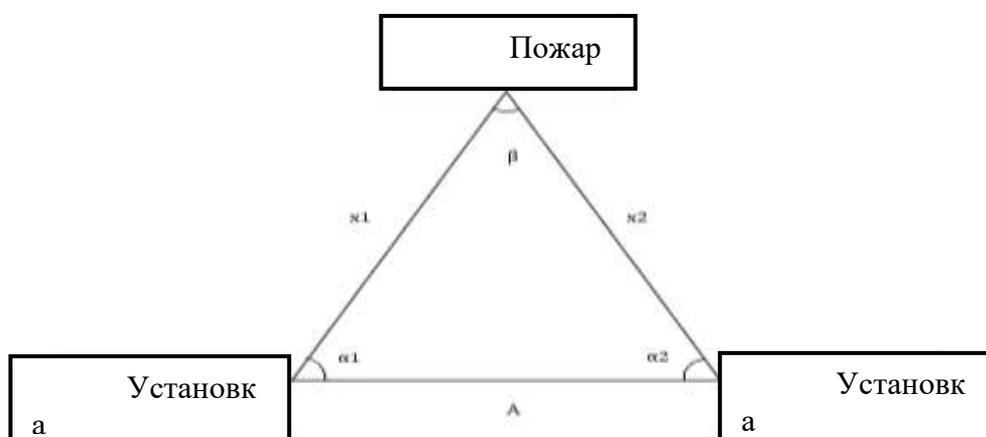


Рисунок 7 – Расстояние от установок пожаротушения до пожара

Энергия, затрачиваемая на один выстрел, рассчитывается по формуле:

$$E = P_{\text{ср}} \cdot l_{\text{ств.}} \quad (4)$$

где:

- $l_{\text{ств}}$  - оптимальная длина ствола, м;
- $P_{\text{ср}}$  - давление (усилие) на брикет, Н;
- $E$  - затрачиваемая энергия, Нм;

Отсюда можно выразить скорость полета снаряда заранее известной массы:

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot E}{m}}, \quad (5)$$

где:

- $V$  – скорость полёта снаряда заранее известной массы;
- $E$  – энергия, затрачиваемая на один выстрел;
- $m$  – масса снаряда.

Как известно, максимальное расстояние, которое проходит тело, выпущенное под углом к горизонту, достигается при  $45^\circ$ . Важно понимать, что выпущенный брикет с гранулами диоксида углерода проведет в полете большее время, что приведет к тому, что потери массы брикета будут больше, если сравнить с тем же углом, но на меньшее расстояние до ядра пожара. На основании вышесказанного, можно сделать вывод, что необходимо ставить установку на таком расстоянии от пожара, которое обеспечило бы минимальное проходимое расстояние, и было безопасно для самой установки. При известном расстоянии до ядра пожара (Рисунок 8) необходимый угол  $\alpha$  для выпуска снаряда рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \arcsin \frac{L \cdot g}{V^2}, \quad (6)$$

где:

- $L$  – расстояние до ядра снаряда ( $x_1, x_2$ );
- $V$  – скорость полёта снаряда;
- $g$  – ускорение свободного падения.

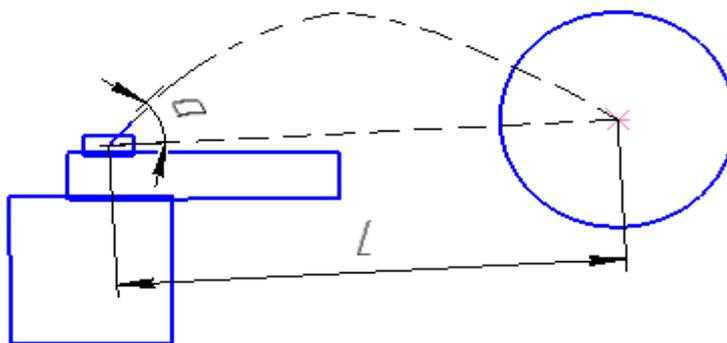


Рисунок 8 – Расчет траектории полёта

Подъем пушки на угол  $\alpha$  (Рисунок 9):

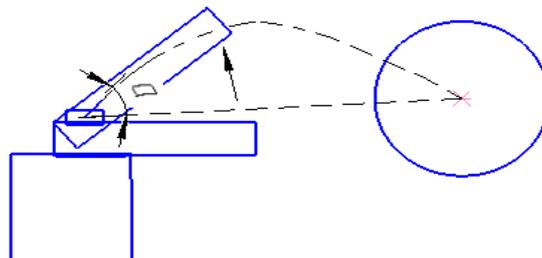


Рисунок 9 – Подъем пушки

Для моделирования системы используется инструмент *Simulink* из пакета MATLAB, в котором авторами ранее также были построены модели используемых следящих приводов и их моделирование в пакете MATLAB [6].

Далее рассмотрим более подробно методику синтеза нечеткого регулятора.

В качестве двух входных переменных, на основе которых будут создаваться правила, были использованы – угол запуска  $\alpha$  и давление  $P$ , оказываемое на снаряд при выстреле (значения от 2 до 4).

Расстояние  $L$  до ядра снаряда рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{V^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}. \quad (7)$$

где:

$L$  – расстояние до ядра снаряда ( $x_1, x_2$ ),

$V$  – скорость полёта снаряда,

$g$  – ускорение свободного падения.

Давление выражается из формул (4) и (5).

Начальные данные: диаметр ствола пневмопушки  $D = 100$  см., длина ствола  $l_{\text{ств}} \approx 0,2 \dots 0,4$  м. Максимальное давление в стволе 4 атм., среднее 2 атм.

Тепловизор передает данные в виде температурных диапазонов, где на основе правил нечеткой логики выбирается ближайшая область с

температурой «пожара» и определяются ее координаты. В зависимости от полученных значений автоматический регулятор поворачивает пушку на нужный угол. Далее в исполнительный механизм передаются данные (угол запуска и давление пневмопушки), после этого производится выстрел.

В модели в качестве угла  $\alpha$  берутся такие значения -  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $90^\circ$  (Рисунок 10).

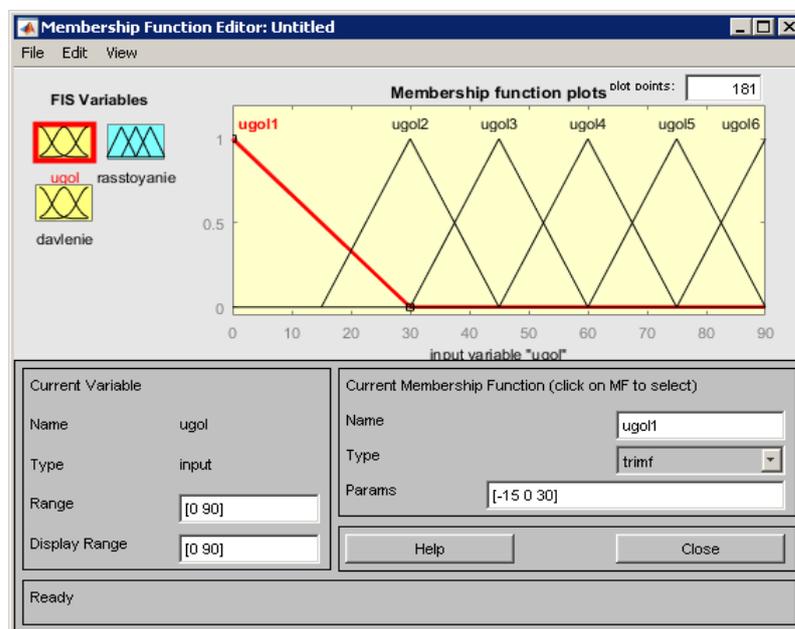


Рисунок 10 – Входная переменная  $\alpha$  (угол запуска)

В качестве давления берутся значения 2 (среднее) и 4 (максимальное значение) атмосфер (Рисунок 11).

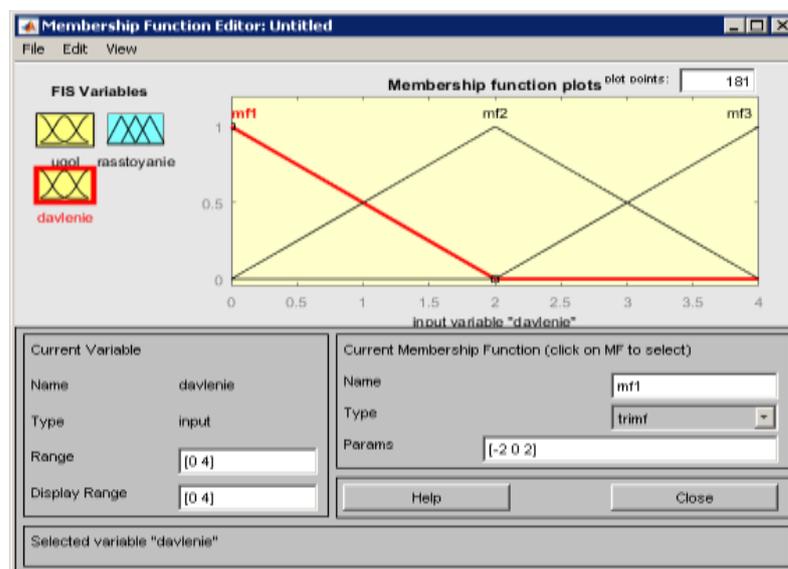


Рисунок 11 – Входная переменная P (давление)

В качестве выходной переменной берется расстояние между пневмопушкой и ядром пламени. В качестве значений переменной расстояния брались рассчитанные значения по формуле (7).

Таблица 2 – Рассчитанные значения переменной  $L$

$\alpha$ / P	0	2	4
0	0	0	0
30	0	54	112
45	0	62	130
60	0	54	112
75	0	31	65
90	0	0	0

На основе двух входных переменных угла и давления строятся правила для базы.

Так как значений входной переменной угла  $\alpha$  всего 6, а значений переменной давления 3, всего получается 18 правил (Рисунок 12).

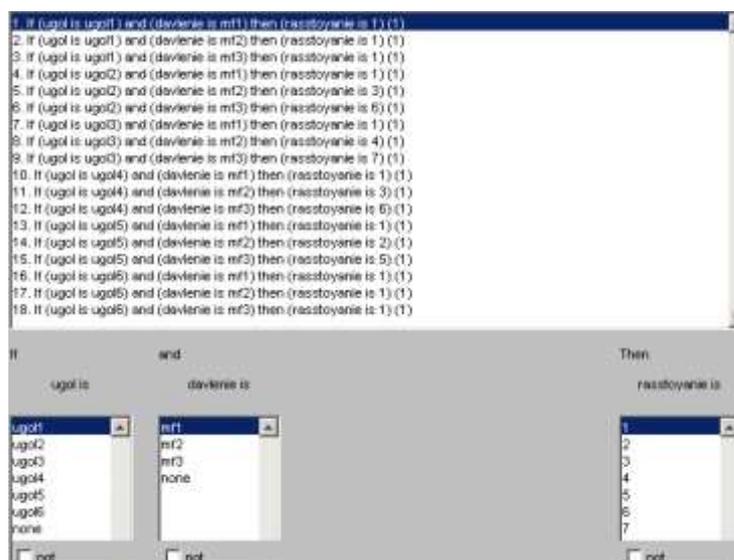


Рисунок 12 – база правил на основе переменных угла  $\alpha$  и давления P

При необходимости, можно посмотреть поверхность, которая получается при помощи команды *Surface* (Рисунок 13).

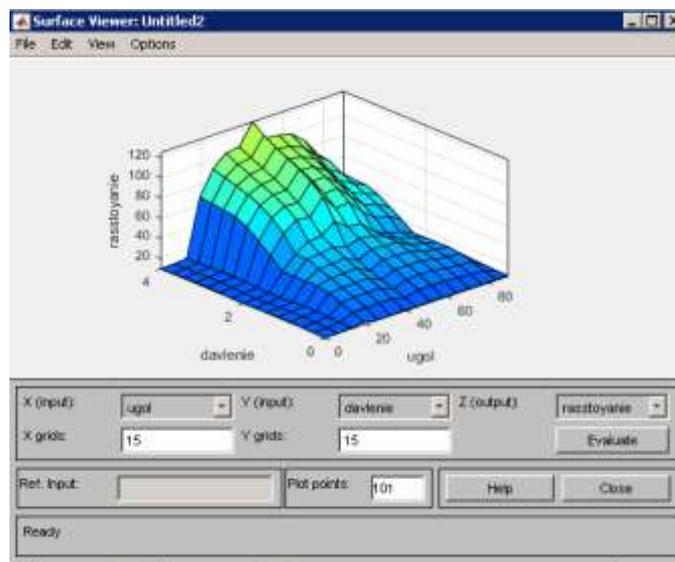


Рисунок 13 – Поверхность зависимости расстояния  $L$  от угла запуска  $\alpha$  и давления  $P$

### Моделирование системы управления траекторией полета снаряда пневмопушки с помощью инструмента *Simulink*

Система состоит из следующих элементов:

- входные переменные угол и давление (*Constant*);
- мультиплексор(смеситель) для объединения входных сигналов в вектор (*Mux*);
- нечеткий регулятор (*Fuzzy Logic Controller*);
- вывод результатов (*Scope*).

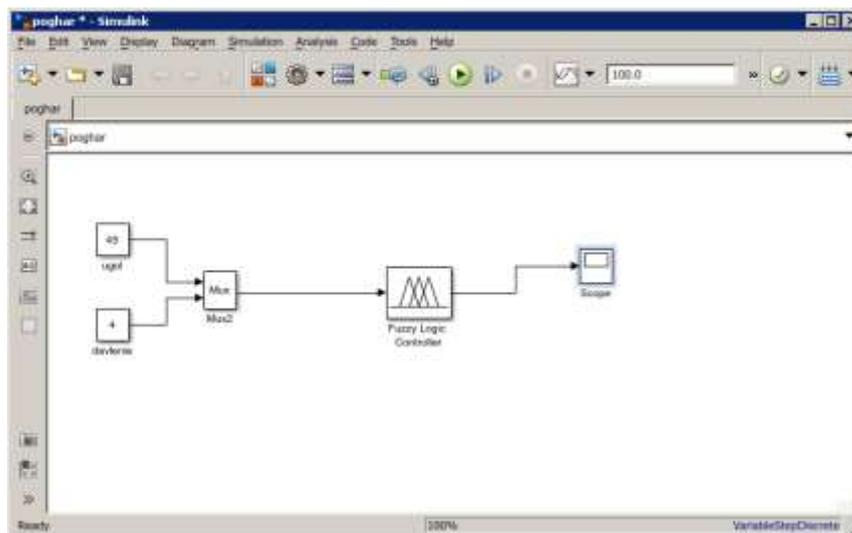


Рисунок 14 – Схема системы автоматического управления

Для проведения эксперимента необходимо задать значение угла запуска равного  $45^\circ$  и давления запуска равного 2 атм., получится следующий результат (Рисунок 15):

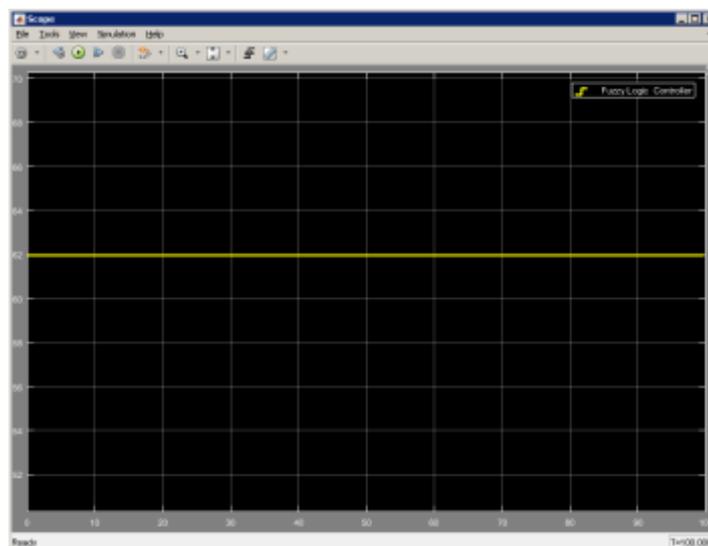


Рисунок 15 – Результат моделирования вычисления расстояния при  $\alpha=45^\circ$  и  $P=2$  атм.

Как видно, результат моделирования соответствует данным из Таблицы расстояний.

Строим траекторию полета снаряда (Рисунок 16).

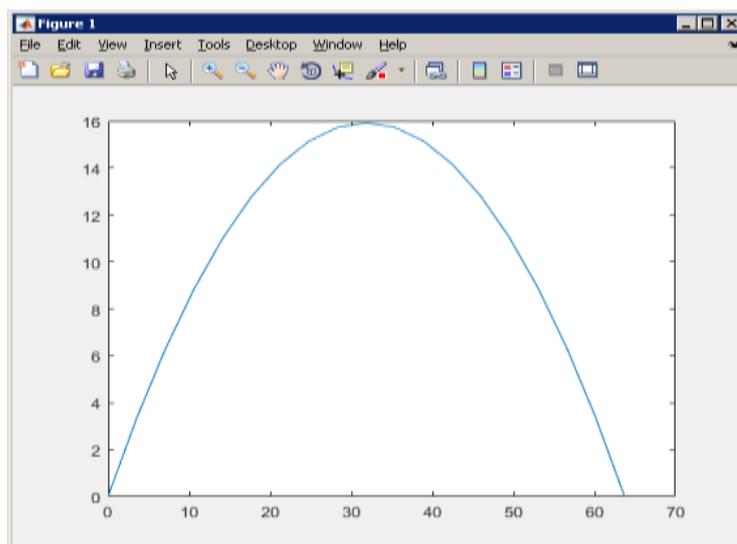


Рисунок 16 – Траектория полета снаряда

### Заключение.

В данной работе были исследована возможность свойств нечеткой логики для определения ядра пламени (источника пожароопасности) наблюдаемого объекта с помощью значений тепловизора.

Проведен анализ применения значений нечеткой логики в системе автоматического управления на примере определения ядра пожара как области диапазонов с наиболее высоким значением температур (в заданном диапазоне температур). Для регулятора пневмопушки определены входные и выходные переменные нечеткой логики, построена база нечетких правил.

Построены функциональная и структурная схемы САУ

Построена модель **системы управления траекторией полета снаряда пневмопушки с помощью инструмента *Simulink*** на основе алгоритма *Mamdani* и сформулированы правила определения значений переменной  $L$  в зависимости от угла запуска  $\alpha$  и давления  $P$ .

Полученные результаты моделирования показывают, что разработанная модель управления может быть предложена для использования в реальных автоматических установках пожаротушения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Аверкин А.Н. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта: учебник / А.Н. Аверкин. – М.: Книга по требованию, 2012. – 312 с.
2. Асадуллаев Р.Г. Нечеткая логика и нейронные сети: учебное пособие

4. / Р.Г. Асадуллаев. – Белгород: БелГУ, 2017. – 309 с.
5. Конышева Л.К. Основы теории нечетких множеств: учебное
6. пособие. Стандарт третьего поколения / Л.К. Конышева, Д.М. Назаров. – СПб.: Питер, 2011. – 192 с.
7. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем:
8. учебное пособие / Н.Г. Ярушкина. – М.: Финансы и статистика, 2014. – 320 с.
9. Нечеткая логика – математические основы [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://basegroup.ru/community/articles/fuzzylogic-math>, свободный. – (Дата обращения 09.11.2018).
10. Максютов И.С., Мигранов А.Б. Математическая модель объекта управления «следающий электропривод» // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал, Том 6, № 2. – 2018. URL: [https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2018/04/MaksutovMigranov\\_2\\_18\\_1.pdf](https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2018/04/MaksutovMigranov_2_18_1.pdf) (дата обращения: 09.11.2018).

A.B. Migranov, I.S. Maksyutov

## APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN THE SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL OF PNEUMATIC GUN SHOOTING DURING FIRE FIGHTING

*Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa, Russia  
Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia*

*The article describes the obtaining of mathematical model of technical object aircannons on the basis of methods of fuzzy logic. This topic is very relevant, because at the moment none of the existing automatic fire extinguishing systems does not provide a quick and effective elimination of fire with minimal losses. As a device for obtaining information, a thermal imager is used, which records an increase in temperature in the event of a fire and a drop in temperature in the event of a projectile entering the flame core. When the maximum value of temperature there is a change in the values of the launch angle and the control signal, adjusts the value of the pressure exerted on the projectile. Based on the formula for calculating the trajectory of the projectile, logical rules are drawn up, in which the input data are the launch angle and pressure, and at the output – the distance that the projectile will fly. The paper analyzes the characteristics of the behavior of the projectile and the result of its hit the target. On the basis of methods of fuzzy logic control system determines the area of the fire or maximizing the temperatures and calculates the rotation of the gun and distance for firing a projectile. For fire extinguishing installations (air guns) it is proposed to use an automated fire extinguishing control system based on the developed fuzzy rules.*

**Keywords:** fuzzy logic, fuzzy system, air gun, fire fighting

## REFERENCES

1. Averkin A.N. Nechetkie mnojestva v modelyah upravleniya i iskusstvennogo intellekta [Fuzzy sets in control models and of artificial intelligence]: a textbook / A.H. Averkin. - Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. - 312 p.
2. Asadullaev R.G. Nechetkaya logika i neyronnie seti [Fuzzy logic and neural networks]: a tutorial / R.G. Asadullayev. - Belgorod: BelGU, 2017. - 309 p.
3. Konysheva L.K. Osnovi teorii nechetkih mnojestv [Fundamentals of the theory of fuzzy sets: educational allowance]. The third-generation standard / L.K., Konysheva, D.M. Nazarov. - St. Petersburg: Piter, 2011. - 192 p.
4. Yarushkina N.G. Osnovi teorii nechetkih I gibridnih sistem [Fundamentals of the theory of fuzzy and hybrid systems]: textbook / N.G. Yarushkina. - Moscow: Finansi i Statistika, 2014. - 320 p.
5. Fuzzy logic - the mathematical basis. Avialable at: <http://basegroup.ru/community/articles/fuzzylogic-math> (accessed of 09.11.2018).
6. Maksjutov I.S., Migranov A.B. Matematicheskaja model' ob#ekta upravlenija «sledjashhij jelektroprivod» // Modelirovanie, optimizacija i informacionnye tehnologii. Nauchnyj zhurnal, Tom 6, № 2. – 2018. URL: [https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2018/04/MaksutovMigranov\\_2\\_18\\_1.pdf](https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2018/04/MaksutovMigranov_2_18_1.pdf) (accessed of 09.11.2018).