

## **Разработка нечеткой экспертной системы с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox в интерактивном режиме**

Цель: Изучение особенностей применения нечетких методов для решения слабо формализованных задач. Закрепление навыков разработки систем нечеткого вывода в интерактивном режиме с использованием пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox.

Задание: Разработать нечеткую модель управления автомобилем (систему торможения). Автомобиль должен двигаться достаточно быстро, но при этом соблюдать дистанцию до автомобиля, едущего впереди.

**Входные переменные:**

- 1) Расстояние до ближайшего впереди автомобиля;
- 2) Разница в скоростях (между скоростью автомобиля, управляемого нечеткой логикой и скоростью впереди едущего автомобиля);
- 3) Информация с датчика погоды («сухо», «дождь», «снег», «лед»).

**Выходная переменная** – сила торможения.

Алгоритм работы системы торможения в городских условиях будет сильно отличаться от работы на трассе, т.к. в условиях города мы имеем более строгие скоростные ограничения, а также тот факт, что водители сильно пренебрегают безопасной дистанцией до впереди идущего автомобиля при плотном городском трафике. К тому же, основные неформальные правила (“неформальные” - т.к. ПДД строго не регламентируют дистанцию, которую стоит выдерживать до впереди идущего автомобиля) по соблюдению дистанции сформулированы для передвижения по трассе.

Таким образом, для более точного определения диапазонов входных значений, примем некоторые уточняющие данные о движении автомобиля: *в работе рассматривается автомобиль, совершающий передвижение по трассе.*

## Часть 1. Решение поставленной задачи

Расшифровка для входных и выходных значений обозначений представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Аббревиатуры входных и выходных значений

Аббревиатура	W	D	dV	PO
Расшифровка	Weather	Distance	Velocity difference	Pedal offset

Из представленной таблицы можно увидеть, что в качестве выходной переменной, которой соответствует «сила торможения», была принята величина сдвига педали тормоза (PO, см).

Далее перечислим определения термов для каждой входной и выходной переменной.

Расстояние между автомобилем, управляемым нечеткой логикой и впереди идущим (D) содержит в себе термы:

- VC - very close;
- C - close;
- N - normal;
- F - far;
- VF - very far;

Разница в скорости между автомобилем, управляемым нечеткой логикой и впереди идущим (dV) содержит в себе термы:

- Z - zero;
- VS - very small;
- S - small;
- B - big;
- VB - very big;

Погодные условия (W) содержат в себе термы:

- D - dry;
- R - rainy;
- S - snowy;
- I - ice;

На рисунке 1, 2, 3 представлены графики функций принадлежности термов входным переменным D, dV и W соответственно. На рисунке 4

представлены графики функции принадлежности выходной переменной PO.

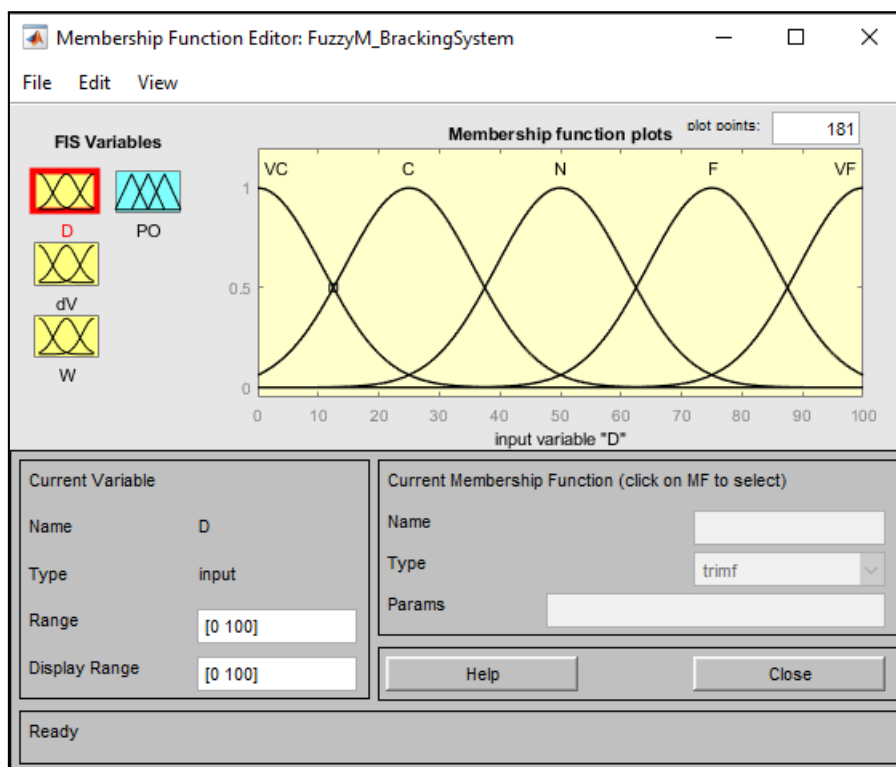


Рисунок 1 - графики функций принадлежности D

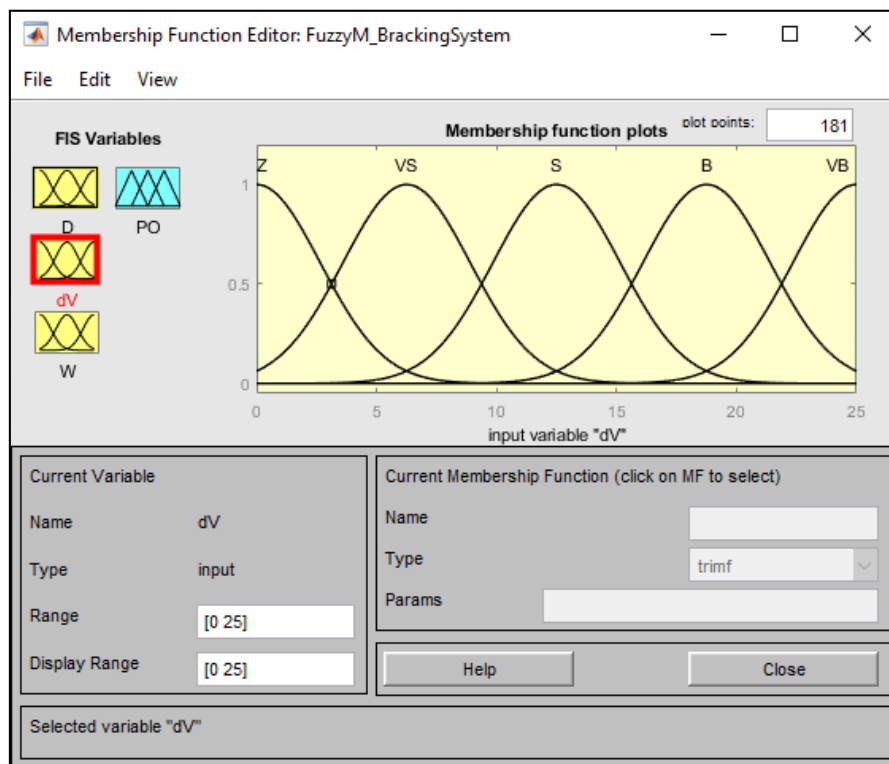


Рисунок 2 - графики функций принадлежности dV

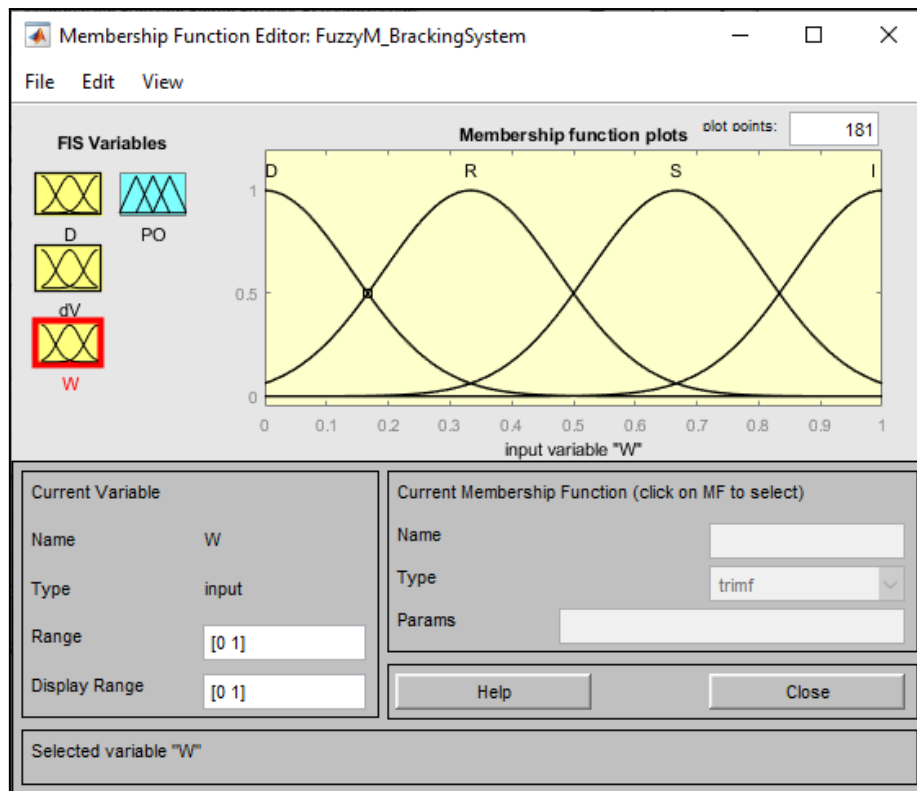


Рисунок 3 - графики функций принадлежности W

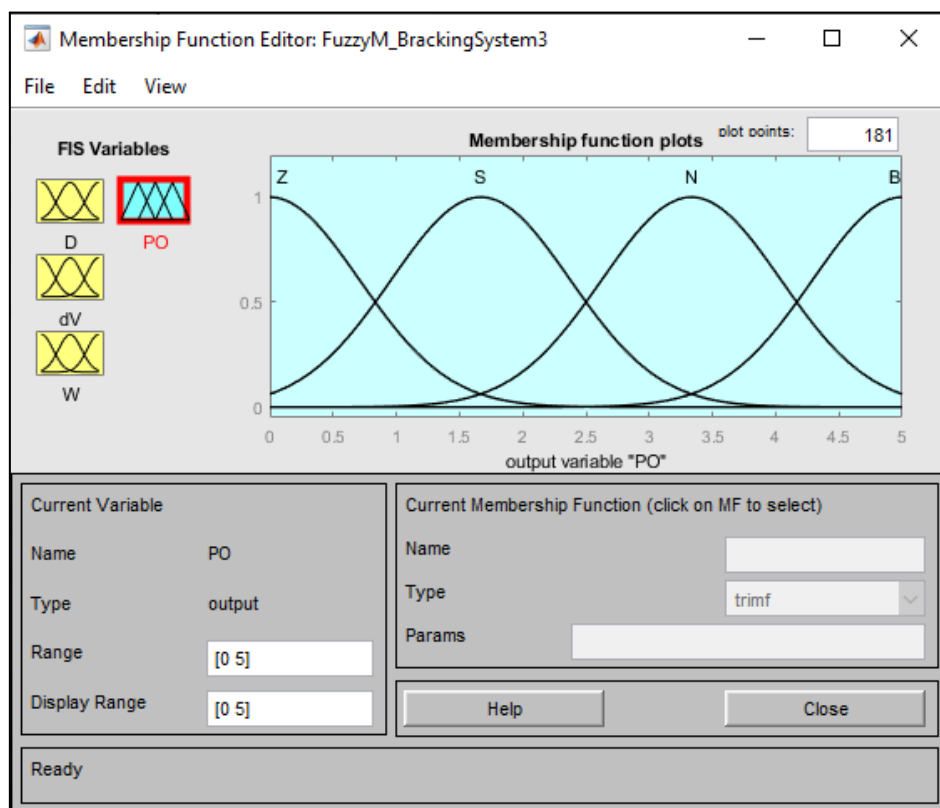


Рисунок 4 - графики функций принадлежности PO

База правил нечетких продукций для системы нечеткого вывода при четырех различных погодных условиях (белая ячейка) представлена на рисунках 5, 6, 7 и 8. В серой области таблицы расположены значения РО. Пересечения значений D и dV отождествляются с логической операцией AND.

DRY	D, м	VC	C	N	F	VF
dV, м/с		0,00	25,00	50,00	75,00	100,00
Z	0	B	S	Z	Z	Z
VS	6,25	B	S	S	Z	Z
S	12,50	B	N	S	S	Z
B	18,75	B	N	S	S	S
VB	25,00	B	B	N	S	S

Рисунок 5 - правила нечетких продукций при  $W = D$

RAINY	D, м	VC	C	N	F	VF
dV, м/с		0,00	25,00	50,00	75,00	100,00
Z	0	B	N	S	Z	Z
VS	6,25	B	N	S	S	Z
S	12,50	B	N	S	S	S
B	18,75	B	N	N	S	S
VB	25,00	B	B	N	N	S

Рисунок 6 - правила нечетких продукций при  $W = R$

SNOWY	D, м	VC	C	N	F	VF
dV, м/с		0,00	25,00	50,00	75,00	100,00
Z	0	B	N	S	S	Z
VS	6,25	B	N	N	S	S
S	12,50	B	B	N	N	S
B	18,75	B	B	B	N	N
VB	25,00	B	B	B	B	N

Рисунок 7 - правила нечетких продукций при  $W = S$

ICE	D, м	VC	C	N	F	VF
dV, м/с		0,00	25,00	50,00	75,00	100,00
Z	0	B	B	N	S	Z
VS	6,25	B	B	N	N	S
S	12,50	B	B	B	B	N
B	18,75	B	B	B	B	B
VB	25,00	B	B	B	B	B

Рисунок 8 - правила нечетких продукций при  $W = I$

Рассмотрим получившиеся тепловые карты поверхности в проекции D-dV для четырех погодных условий D, R, S, I. Данные поверхности, соответствующим погодным условиям (левая верхняя - D, правая верхняя - R, левая нижняя - S, правая нижняя - I) представлены на рисунке 9.

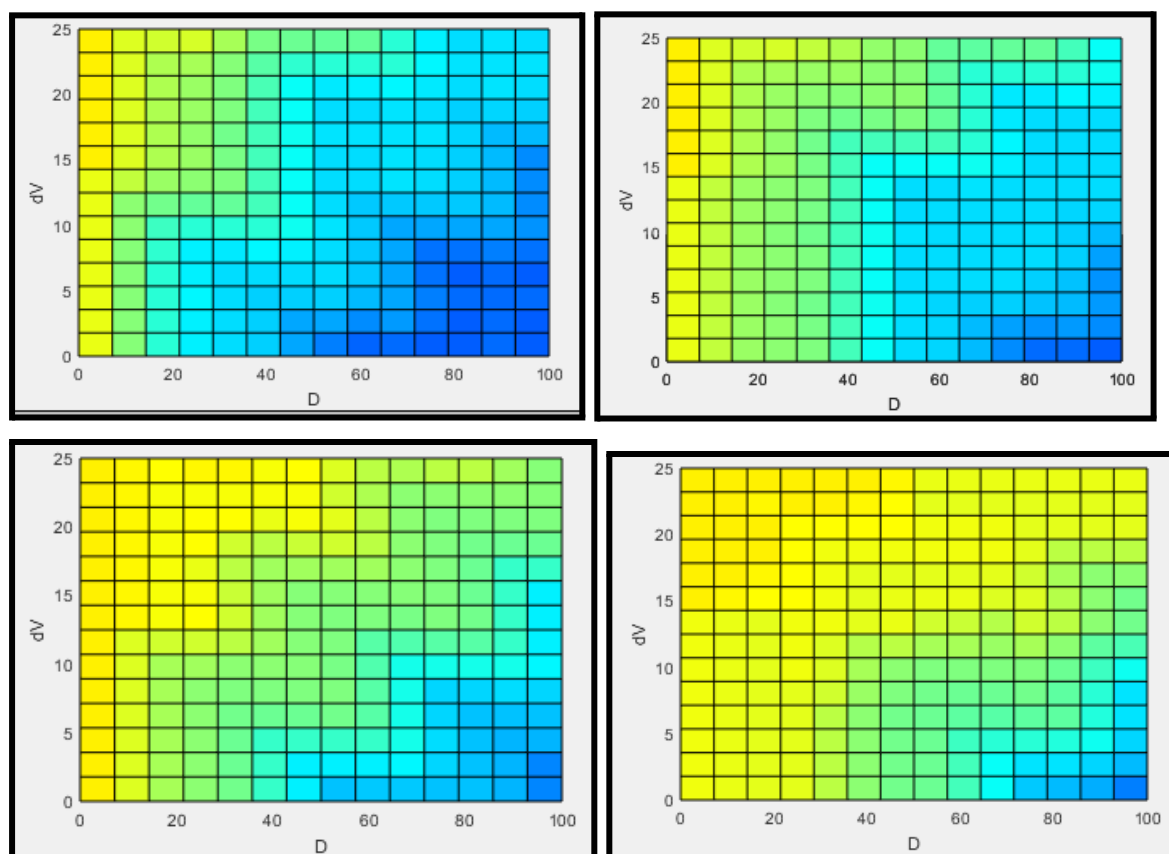


Рисунок 9 - тепловые карты поверхности D-dV при различных W

Из рисунка 9 прослеживается общая тенденция алгоритма нечеткой системы торможения - *чем хуже погода, тем больше должна быть безопасная дистанция до впереди идущего авто; также интенсивность*

торможения тем выше, чем больше ваша скорость по отношению к впереди идущему авто и дистанция до него.

Далее рассмотрим общий вид поверхностей D-dV-PO для четырех погодных условий D, R, S, I. Данные поверхности, соответствующие погодным условиям (левая верхняя - D, правая верхняя - R, левая нижняя - S, правая нижняя - I) представлены на рисунке 10.

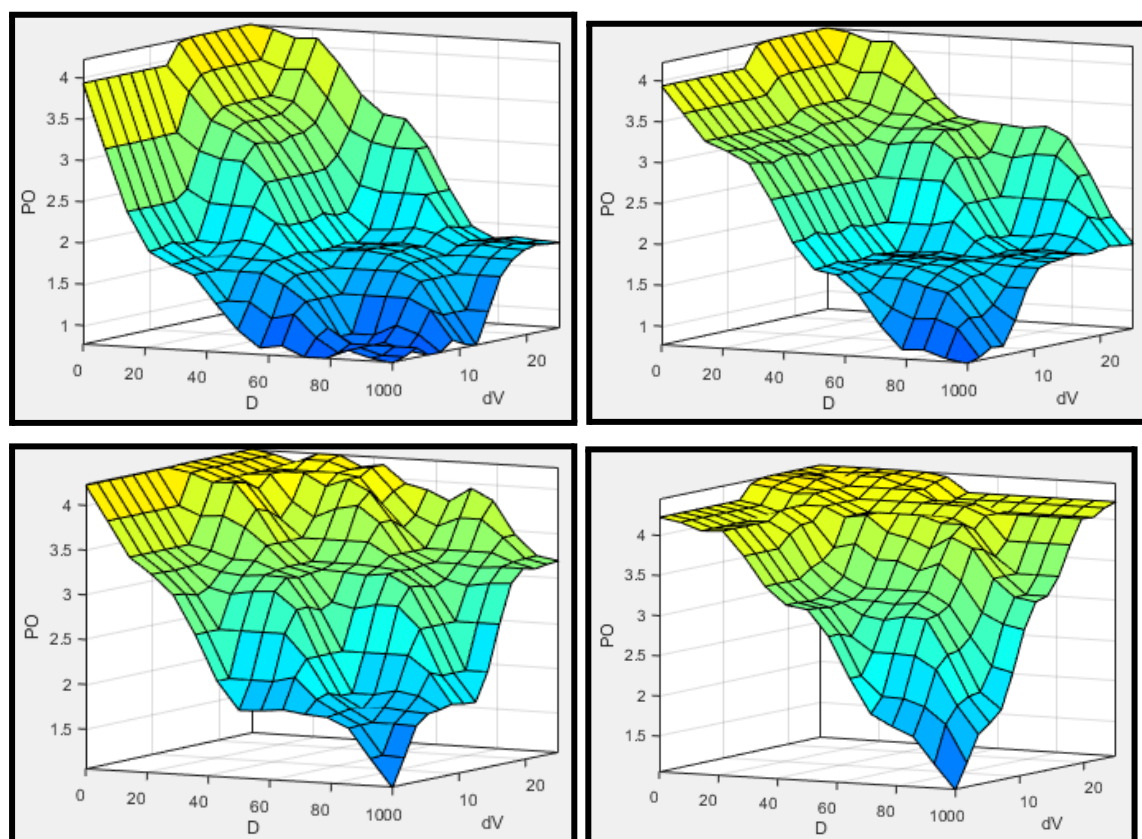


Рисунок 10 - поверхности D-dV-PO при различных W

Первое, что сильно бросается в глаза - *граничные значения PO при отсутствии торможения и при положении педали «в пол» далеки от желаемых*. Так минимальное значение PO, при  $D = VF$ ,  $dV = Z$  и  $W = R$ , равняется 0.77. В то время как максимальное значение PO, при  $D = VC$ ,  $dV = VB$  и  $W = I$ , равняется 4,45. А также *излишнее оттормаживание при относительно благоприятных условиях*.

Для корректировки проблемы, обозначенной в абзаце выше было принято решение попробовать изменить весовые коэффициенты для правил, касающихся граничных условий.

## Часть 2. Весовые коэффициенты правил

Для изучения влияния весовых коэффициентов правил нечетких продукций на характер поверхности вход-выход было принято решение слегка упростить систему, с помощью изменения количества термов у входной переменной dV и её диапазона, дабы снизить количество правил нечетких продукций у системы, ибо вариант системы из части 1 насчитывал 73 правила, в то время как упрощенный насчитывает 36.

Обновленные графики функции принадлежности входной переменной dV представлены на рисунке 11.

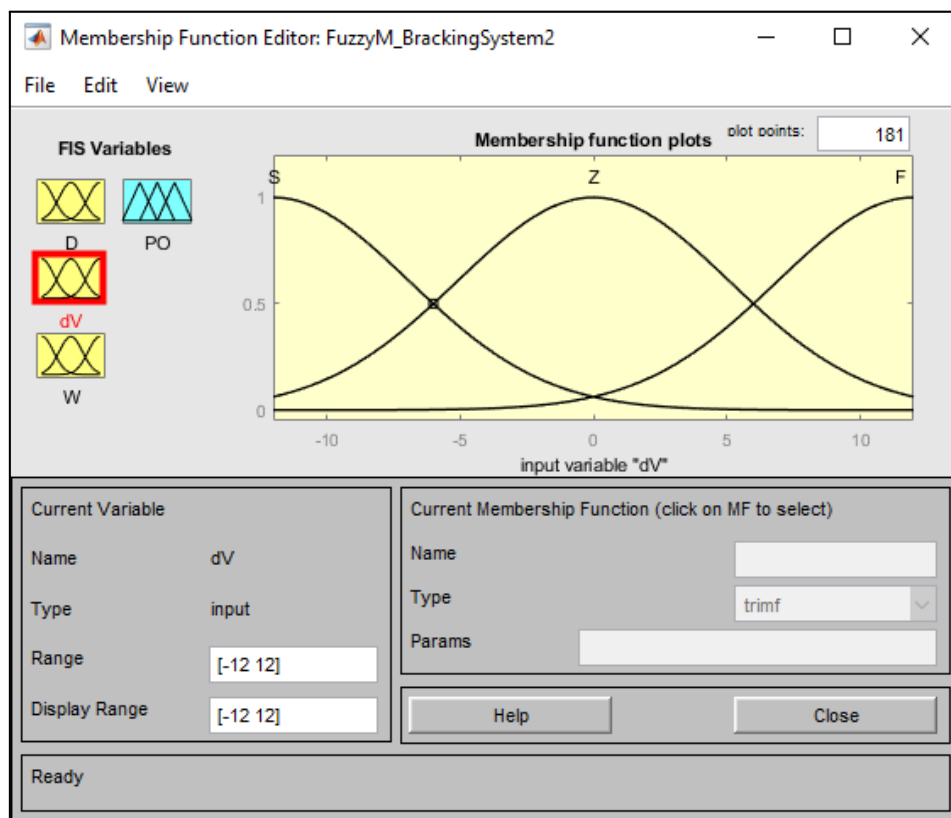


Рисунок 11 - обновленные функции принадлежности для dV

Обновленная разница в скорости между автомобилем, управляемым нечеткой логикой и впереди идущим (dV) содержит в себе термы:

- S - slower;
- Z - zero;
- F - faster;



Как было сказано в последнем абзаце части 1, для корректировки проблемы с граничными значениями РО, попробуем изменить весовые коэффициенты для правил, касающихся граничных значений РО (В и Z). Новая база правил нечетких продукций представлена на рисунке 12. Здесь для правил, ответом на которые являются В или Z, принят весовой коэффициент 1 (обозначены оранжевым цветом); для всех остальных правил, весовой коэффициент принят равным 0.6 (обозначены серым цветом).

DRY	D, м	VC	C	N	F	VF
dV, м/с		0,00	25,00	50,00	75,00	100,00
S	-12	B	S	Z	Z	Z
Z	0,00	B	S	Z	Z	Z
F	12,00	B	N	S	Z	Z
RAINY	D, м	VC	C	N	F	VF
dV, м/с		0,00	25,00	50,00	75,00	100,00
S	-12	B	S	Z	Z	Z
Z	0,00	B	S	Z	Z	Z
F	12,00	B	N	N	S	Z
SNOWY	D, м	VC	C	N	F	VF
dV, м/с		0,00	25,00	50,00	75,00	100,00
S	-12	B	S	S	Z	Z
Z	0,00	B	N	S	Z	Z
F	12,00	B	B	N	S	Z
ICE	D, м	VC	C	N	F	VF
dV, м/с		0,00	25,00	50,00	75,00	100,00
S	-12	B	N	S	Z	Z
Z	0,00	B	N	S	S	Z
F	12,00	B	B	B	N	Z

Рисунок 12 - база правил для упрощенной системы с весовыми коэффициентами (оранж. - 1, сер. - 0.6)

Также для корректного сравнения создадим копию упрощенной системы, с аналогичными правилами, однако все правила будут иметь одинаковый весовой коэффициент, равный единице.

Рассмотрим как изменились граничные значения РО при наилучшем и наихудшем случае торможения для автомобиля. Сравнение будет происходить между упрощенной системой с различными коэффициентами (1) и одинаковыми (2).

Наилучших случай:  $D = VF$ ,  $dV = S$ ,  $W = D$ . График поверхностей (1) и (2) при  $W = D$  представлен на рисунке 13.

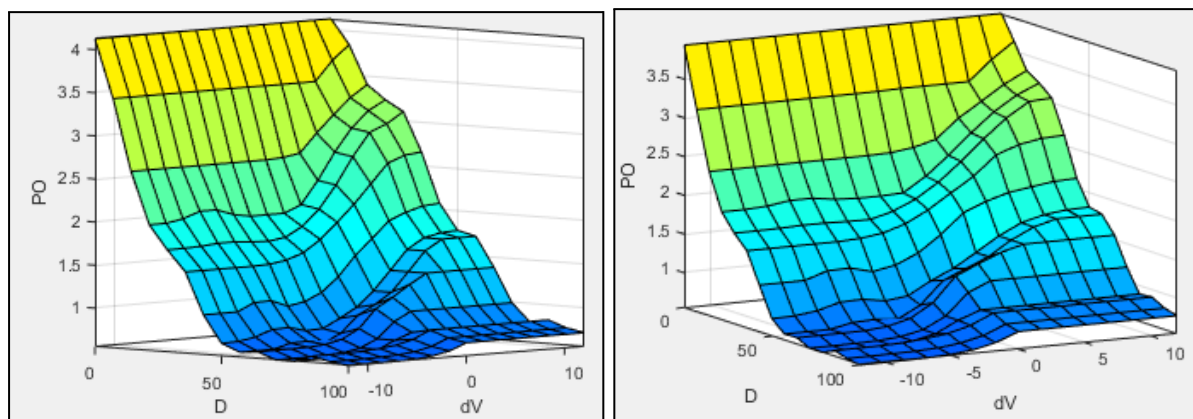


Рисунок 13 - графики поверхностей (1) и (2) при  $W = D$ ;  
(1) - слева, (2) - справа.

Наихудший случай:  $D = VC$ ,  $dV = F$ ,  $W = I$ . График поверхностей (1) и (2) при  $W = I$  представлен на рисунке 14.

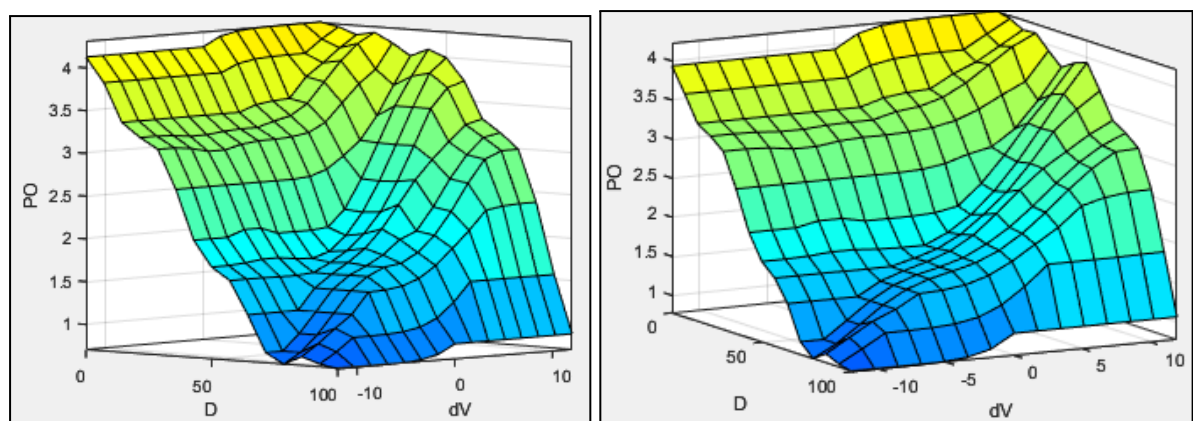


Рисунок 14 - графики поверхностей (1) и (2) при  $W = I$ ;  
(1) - слева, (2) - справа.

По рисункам 13 и 14 видно, что в системе (1) средние значения максимального и минимального значения РО стали ближе к желаемым границам. Также по графикам отчетливо видно увеличение крутизны в

областях близким к правилам с более высоким весовым коэффициентом. Значения PO<sub>min</sub> и PO<sub>max</sub> представлены в таблице 2.

Таблица 2 - максимальные и минимальные значения PO

Система	PO min	PO max
(1)	0.55	4.30
(2)	0.55	4.20

Исходя из таблицы 2 можно видеть, что при появлении весовых коэффициентов, несмотря на более «правильную» динамику в среднем (удалось *устранить излишнее оттормаживание при относительно благоприятных условиях*), граничные значения PO не претерпели больших изменений.

Таким образом, с помощью весовых коэффициентов можно добиться большего приоритета для желаемых правил.

### Часть 3. Влияние типа переменных на характер поверхности

В данном разделе рассмотрим как меняется поверхность в зависимости от типов переменных. Для наглядности, будем рассматривать тепловую карту поверхности в проекции D-dV, при  $W = D$ . Используемая нечеткая система - система (1) из части 2.

Поверхности при типах переменных gaussmf, trimf, trapmf, gbellmf, gauss2mf, zmf/smf для краевых функций, представлены на рисунках 15, 16, 17, 18, 19 и 20 соответственно.

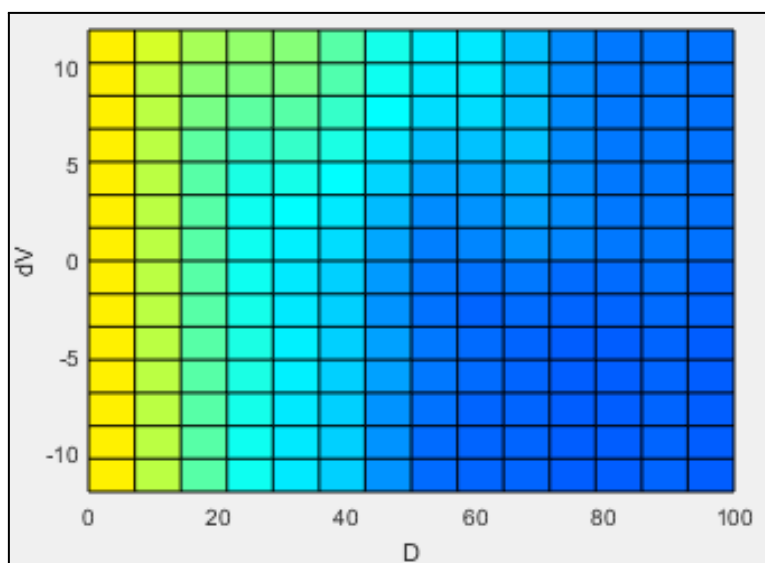


Рисунок 15 - проекция D-dV, при gaussmf

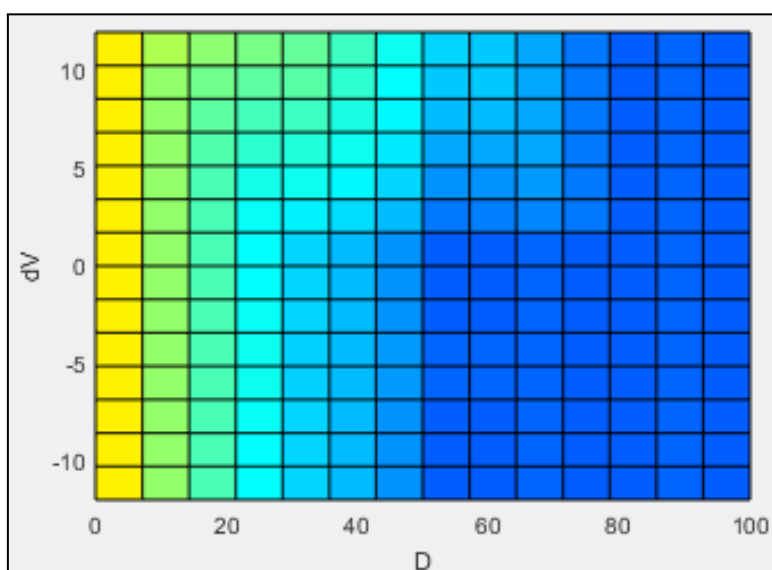


Рисунок 16 - проекция D-dV, при trimf

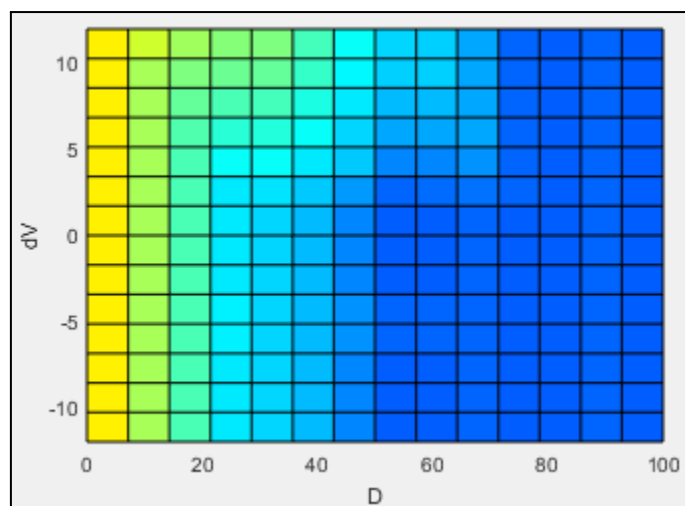


Рисунок 17 - проекция D-dV, при trapmf

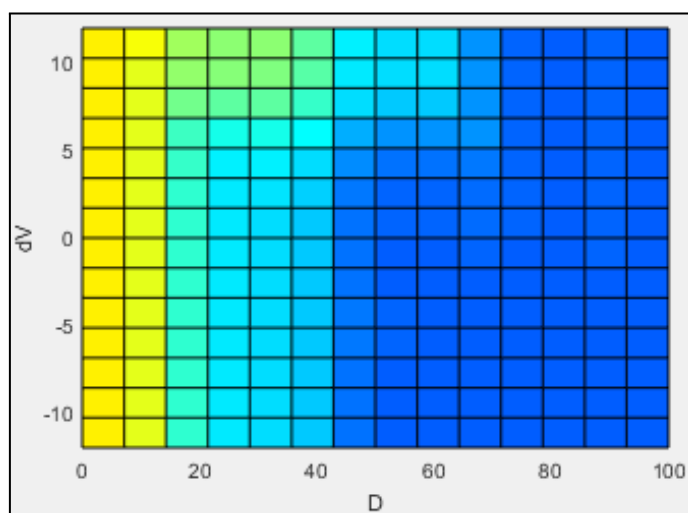


Рисунок 18 - проекция D-dV, при gbellmf

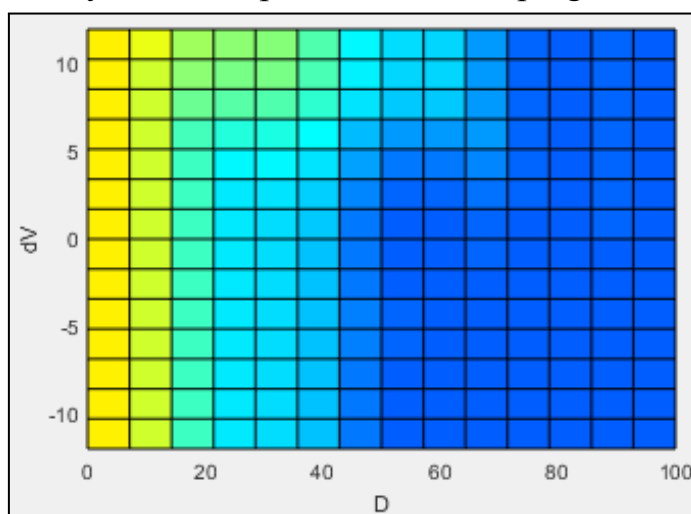


Рисунок 19 - проекция D-dV, при gauss2mf

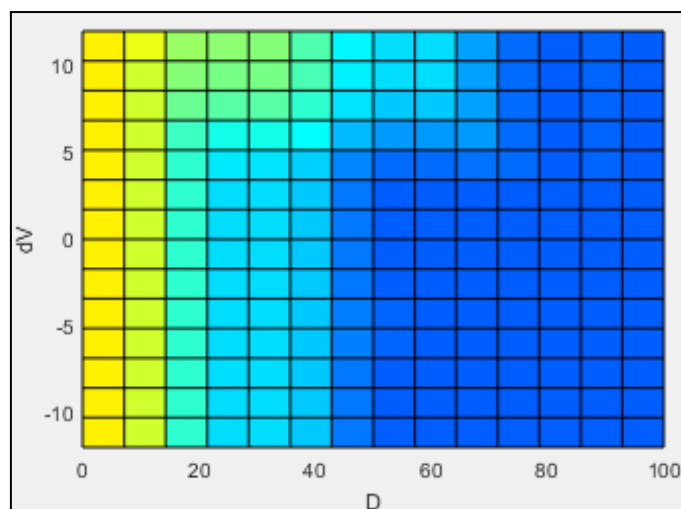


Рисунок 21 - проекция D-dV, при zmf/smf для краевых функций

Из рассмотренных рисунков видно, что для решения нашей задачи наиболее подходящими выглядят варианты с `gbellmf` и `trapmf`. С использованием данных типов функций, мы смогли максимально приблизиться к граничным значениям, что играет большую роль для нашей задачи. Также исходя из субъективного ощущения автора, поверхности, с использованием данных функций наилучшим образом описывают те правила, что легки в основу нечеткой системы. Выбирая из этих двух наилучших функций, я бы отдал предпочтение `gbellmf`, тк в этом случае значения РО выглядят более сглажено. Для наглядности принятого решения, поверхности, полученные с использованием `gbellmf` (слева) и `trapmf` (справа) представлены на рисунке 22.

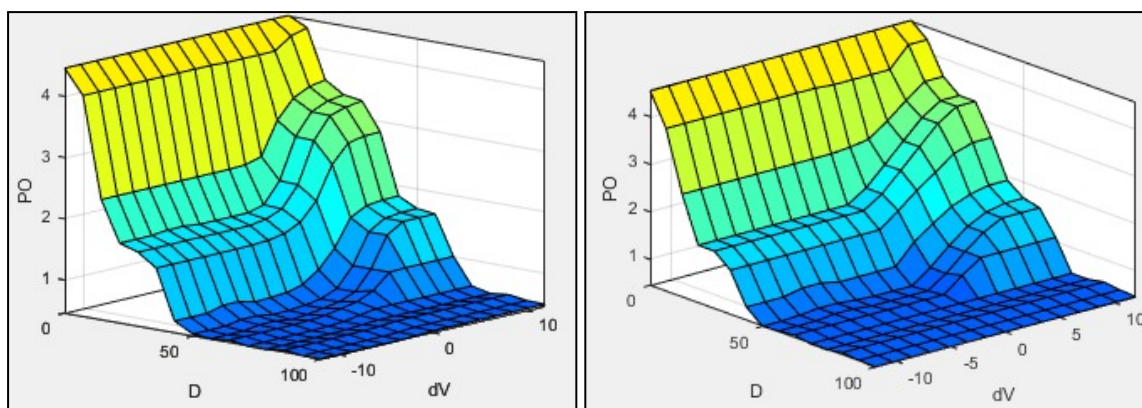


Рисунок 22 - поверхности при `gbellmf` и `trapmf`

## **Вывод**

При построении нечеткой системы в нашем распоряжении имеется обширный выбор функций принадлежности для входных переменных, а также возможности для определения весовых коэффициентов для базы правил продукций нашей системы.

Не существует единой рекомендации по строгому использованию тех или иных функций принадлежности или отношению весовых коэффициентов конкретных правил. Все параметры подбираются индивидуально для решения конкретной задачи, что и было продемонстрировано в данной работе.

Исходный код лабораторной работы на GitHub представлен по [ссылке](#).