

## Разработка нечеткой системы регулирования уровня жидкости в резервуаре

Цель: Ознакомление с особенностями разработки нечетких регуляторов динамических систем. Изучение основных принципов использования систем нечеткого вывода в simulink моделях.

Задание: Разработать нечеткую систему систему регулирования уровня жидкости в резервуаре, представленную на рисунке 1, и провести необходимые исследования, используя параметры модели варианта 7, представленные в таблице 1.

Таблица 1 -параметры модели по заданию

Параметр	$S_b$	$K_z$	$K_i$
Значение	7.0	2.2	2.1

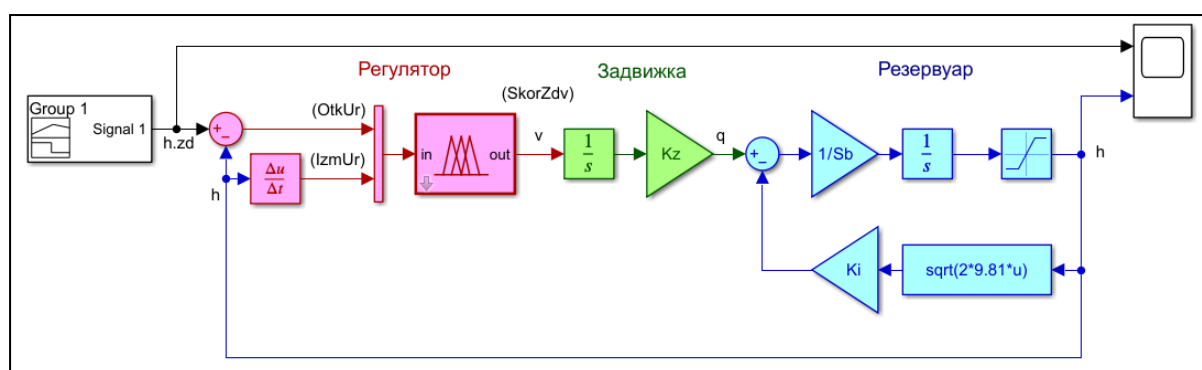


Рисунок 1 - Система регулирования уровня жидкости в резервуаре

Работа разделена на 3 части. В первой - проводится настройка данной нечеткой системы для достижения приемлемых показателей качества переходного процесса. Во второй части - производятся исследования полученной системы: изменение параметров объекта управления, изменение типов функций принадлежности входных/выходных переменных, изменение весов правил. В третьей части - приводятся ответы на прочие поставленные вопросы.

## Часть 1. Настройка нечеткой системы регулирования

На рисунке 1 и 2 представлены графики функций принадлежности термов входным переменным OtkUr и IzmUr соответственно. На рисунке 3 представлены графики функции принадлежности выходной переменной SkorZdv.

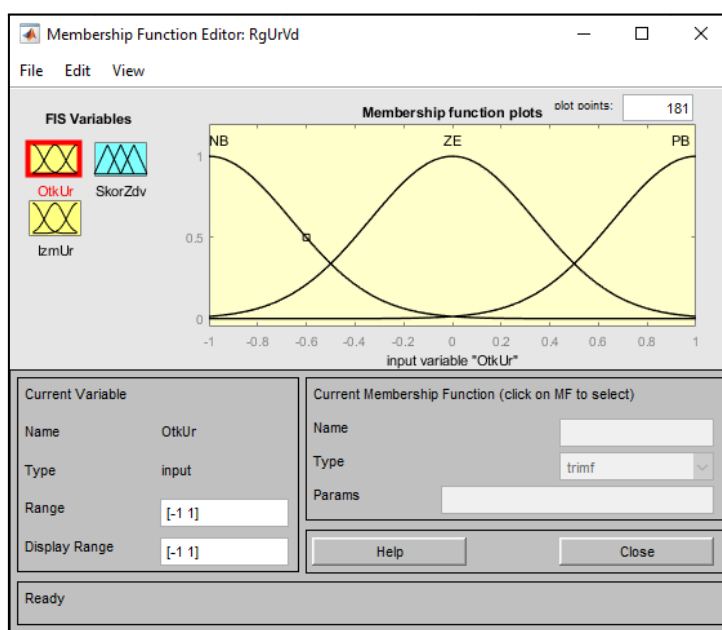


Рисунок 1 - графики функций принадлежности OtkUr

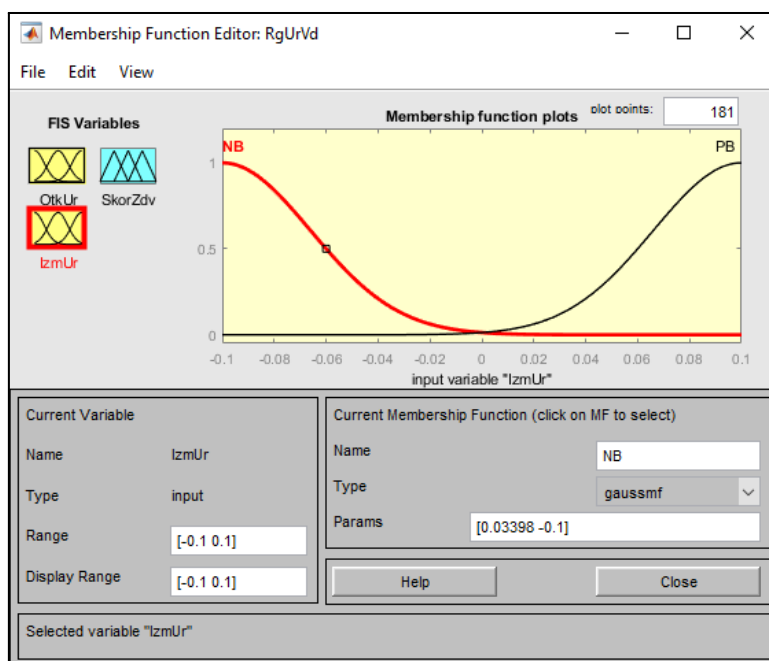


Рисунок 2 - графики функции принадлежности IzmUr

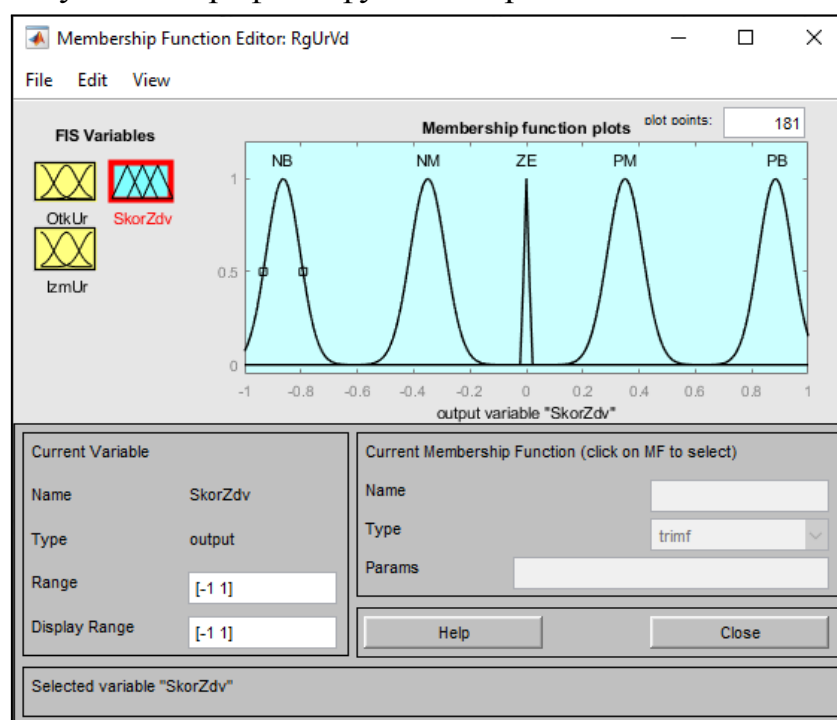


Рисунок 3 - графики функции принадлежности SkorZdv

База правил нечетких продукций, а также их весовые коэффициенты, для системы нечеткого вывода представлена на рисунке 4.

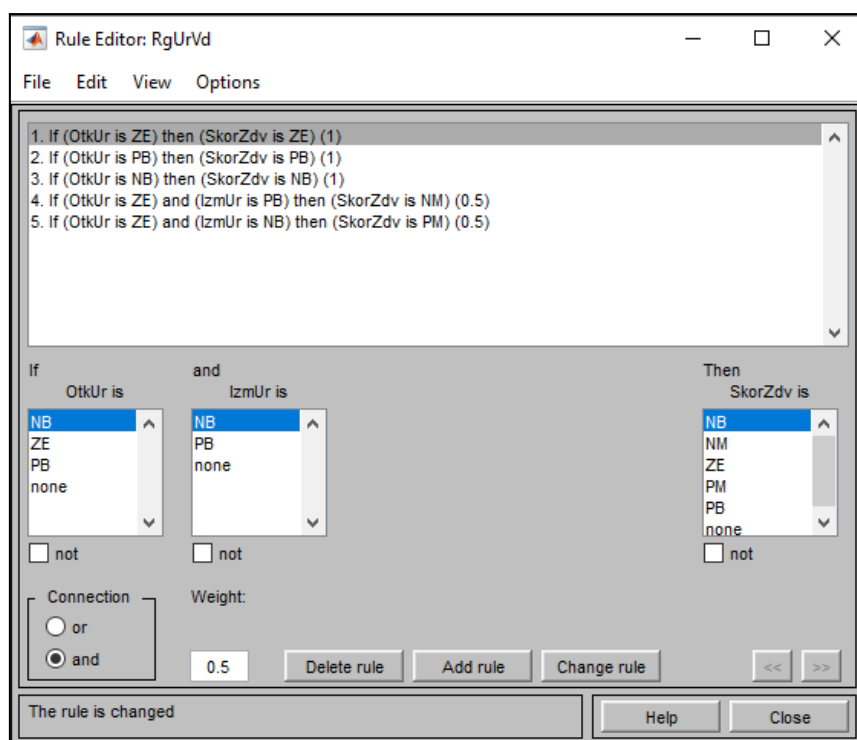


Рисунок 4 - база правил нечеткой системы

Поверхность «входы-выход» нечеткой системы представлена на рисунке 5.

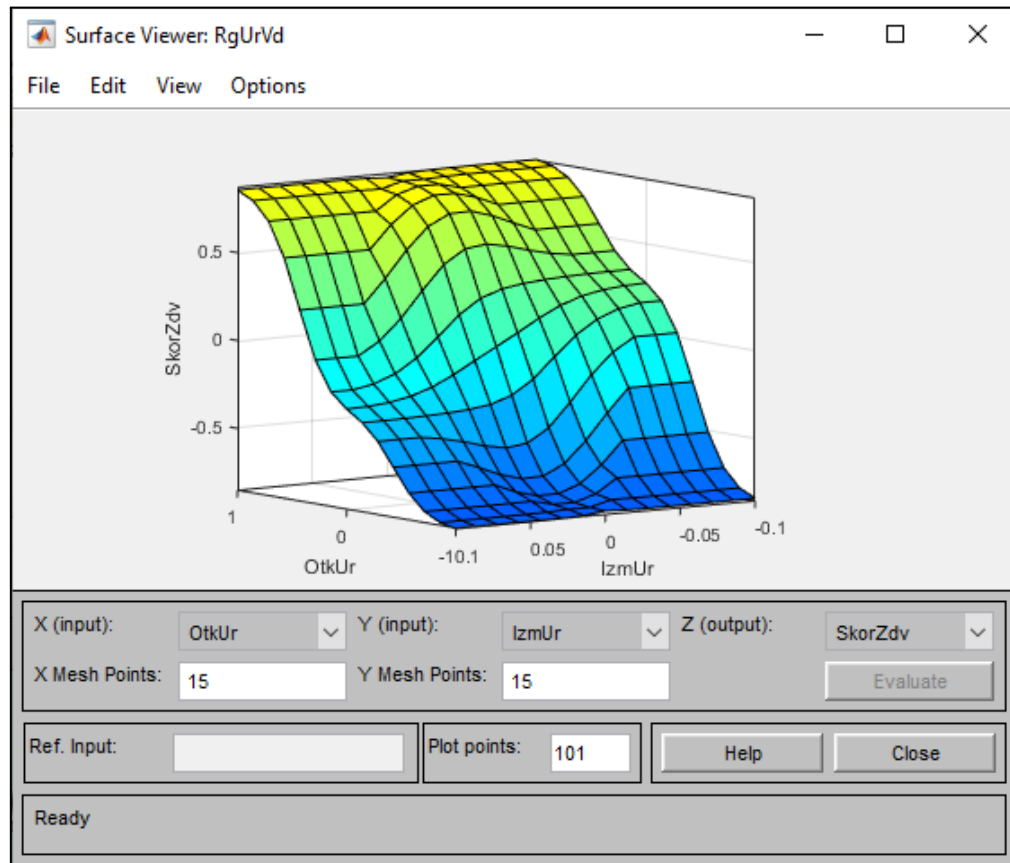


Рисунок 5 - поверхность «входы-выход» нечеткой системы

На рисунке 6 представлена «базовая» переходная характеристика системы регулирования, т.е. система с коэффициентами по заданию, без изменения первоначальной нечеткой модели. На рисунке 7 представлена система, полученная в результате изменения типов функций принадлежности выходной переменной и весовых коэффициентов правил.

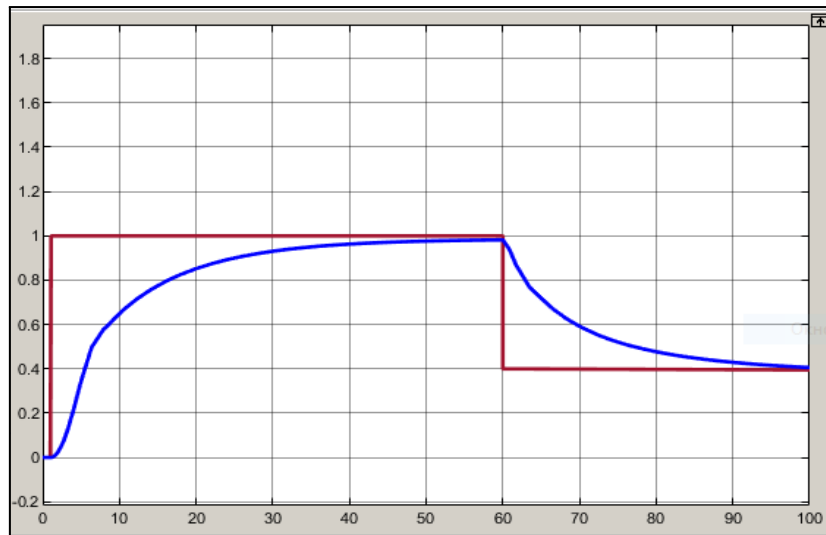


Рисунок 6 - «базовая» переходная характеристика

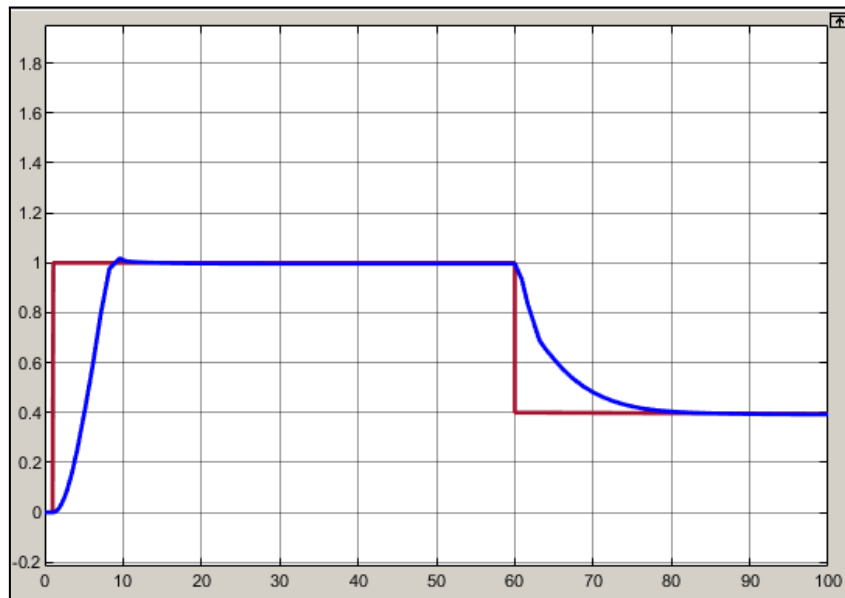


Рисунок 7 - полученная переходная характеристика

Качественные показатели полученного переходного процесса представлены в таблице 2.

Таблица 2 - качественные показатели переходного процесса

Показатель	$t_{п.п.}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta, \%$
Интервал 1	8.1	1.8	0.3
Интервал 2	15	0	0.2

## Часть 2.1 Исследование влияния изменения параметров объекта управления на работу системы

Проведем исследование при изменении параметров объекта управления. Измененные параметры представлены в таблице 3.

Таблица 3 - параметры объекта управления

№	Параметр	$S_b$	$K_z$	$K_i$
0	Значение	7.0	2.2	2.1
1	Значение +20%	8.4	2.64	2.52
2	Значение -20%	5.6	1.76	16.8
3	Значение +60%	11.2	3.52	3.36
4	Значение -60%	2.8	0.88	0.84

График переходного процесса №1 представлен на рисунке 8.

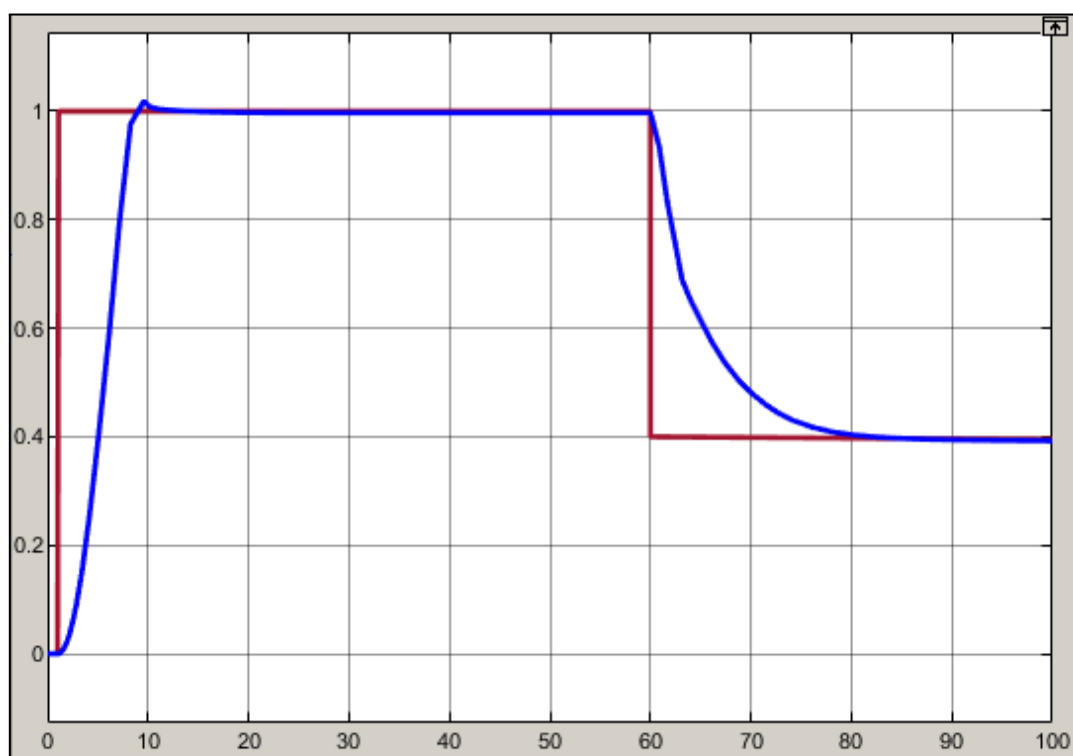


Рисунок 8 - график переходного процесса №1

Качественные показатели полученного переходного процесса №1 представлены в таблице 3.

Таблица 3 - качественные показатели переходного процесса №1

Показатель	$t_{п.п.}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta, \%$
Интервал 1	8.1	1.8	0.3
Интервал 2	15	0	0.2

График переходного процесса №2 представлен на рисунке 9.

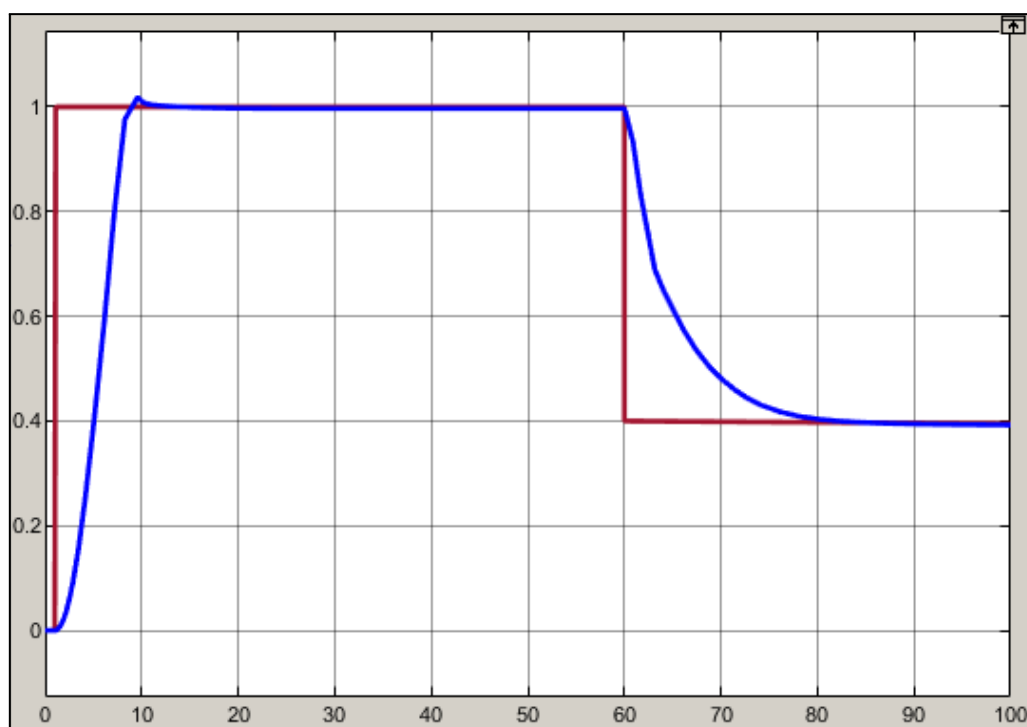


Рисунок 9 - график переходного процесса №2

Качественные показатели полученного переходного процесса №2 представлены в таблице 4.

Таблица 4 - качественные показатели переходного процесса №2

Показатель	$t_{п.п.}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta, \%$
Интервал 1	8.1	1.8	0.3
Интервал 2	15	0	0.2

График переходного процесса №3 представлен на рисунке 10.

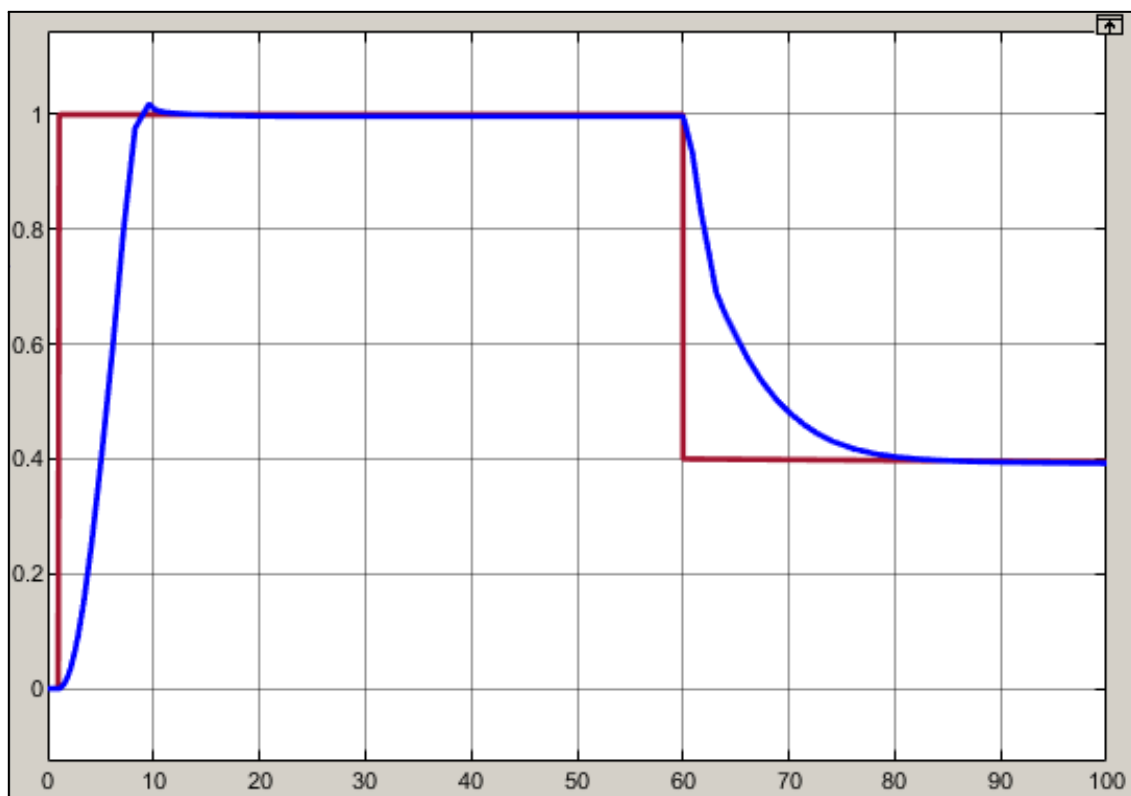


Рисунок 10 - график переходного процесса №3

Качественные показатели полученного переходного процесса №3 представлены в таблице 5.

Таблица 5 - качественные показатели переходного процесса №3

Показатель	$t_{п.п.}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta, \%$
Интервал 1	8.1	1.8	0.3
Интервал 2	15	0	0.2



График переходного процесса №4 представлен на рисунке 11.

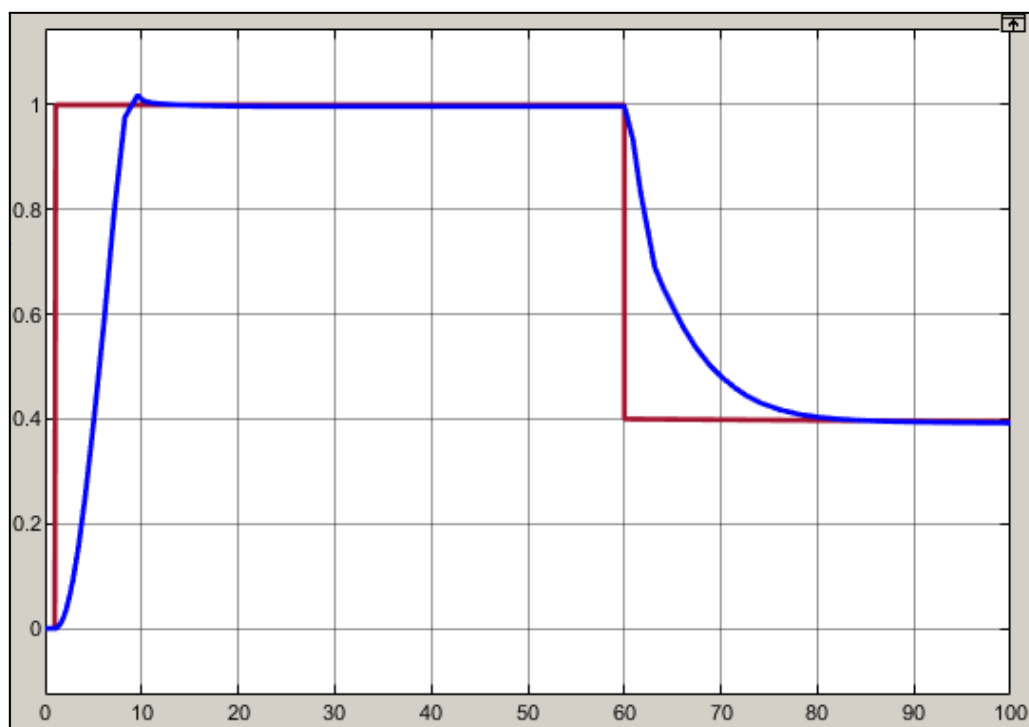


Рисунок 11 - график переходного процесса №4

Качественные показатели полученного переходного процесса №4 представлены в таблице 6.

Таблица 6 - качественные показатели переходного процесса №4

Показатель	$t_{п.п.}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta, \%$
Интервал 1	8.1	1.8	0.3
Интервал 2	15	0	0.2

Из полученных графиков можно сделать вывод, что *изменение параметров объекта управления не повлияло на качественные характеристики переходного процесса, либо их влияние было столь мало, что его затруднительно обнаружить.* Стоит отметить, что данный результат оказался неожиданным для автора, исходники к лабораторной для подтверждения представленных значений, можно найти в конце отчета.

## Часть 2.2 Исследование влияния изменения типов функций принадлежности нечеткой системы на работу системы

Поверхность «входы-выход» при использовании ф-ии принадлежности trimf представлена на рисунке 12.

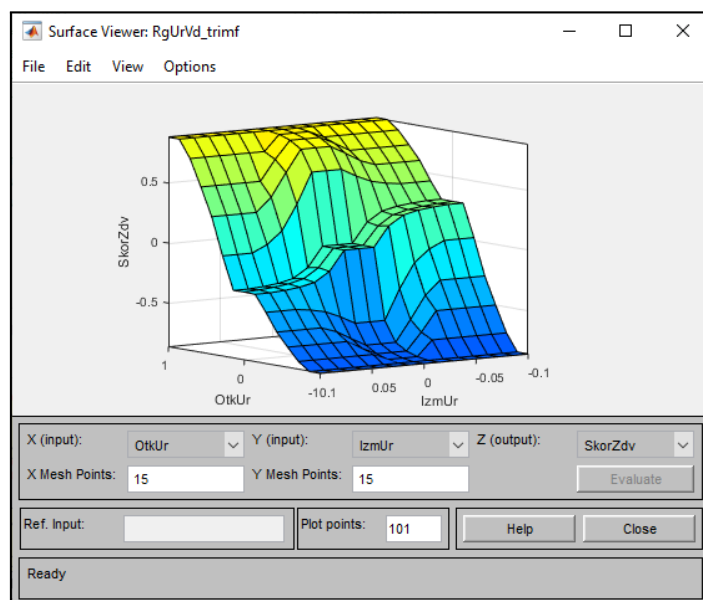


Рисунок 12 - поверхность «входы-выход» при trimf

Переходная характеристика при использовании ф-ии принадлежности trimf представлена на рисунке 13

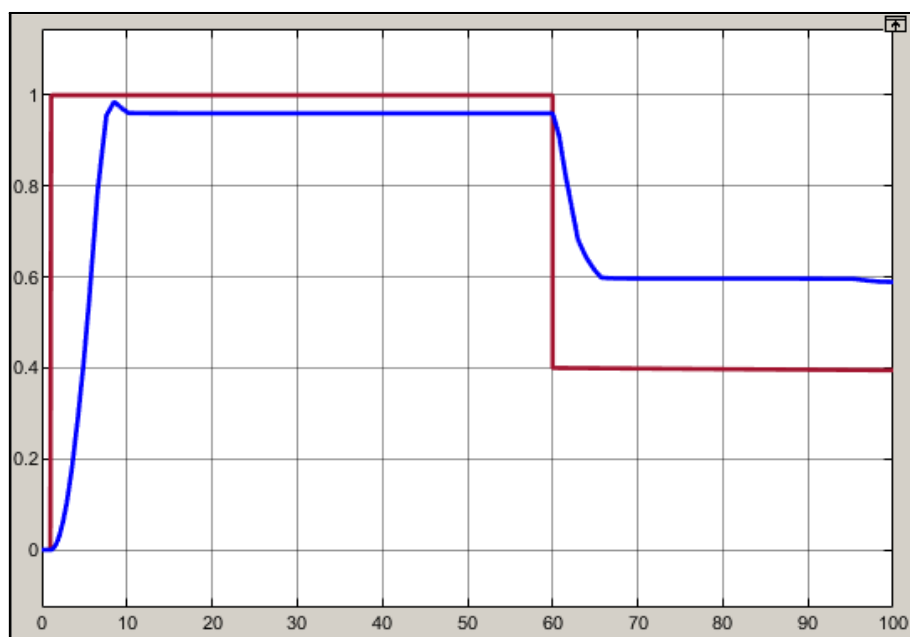


Рисунок 13 - переходная характеристика при trimf

Качественные показатели переходного процесса при использовании ф-ии принадлежности trimf представлены в таблице 7.

Таблица 7 - качественные показатели переходного процесса при trimf

Показатель	$t_{п.п.}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta, \%$
Интервал 1	7.5	-	4
Интервал 2	-	-	50

Поверхность «входы-выход» при использовании ф-ии принадлежности trapmf представлена на рисунке 14.

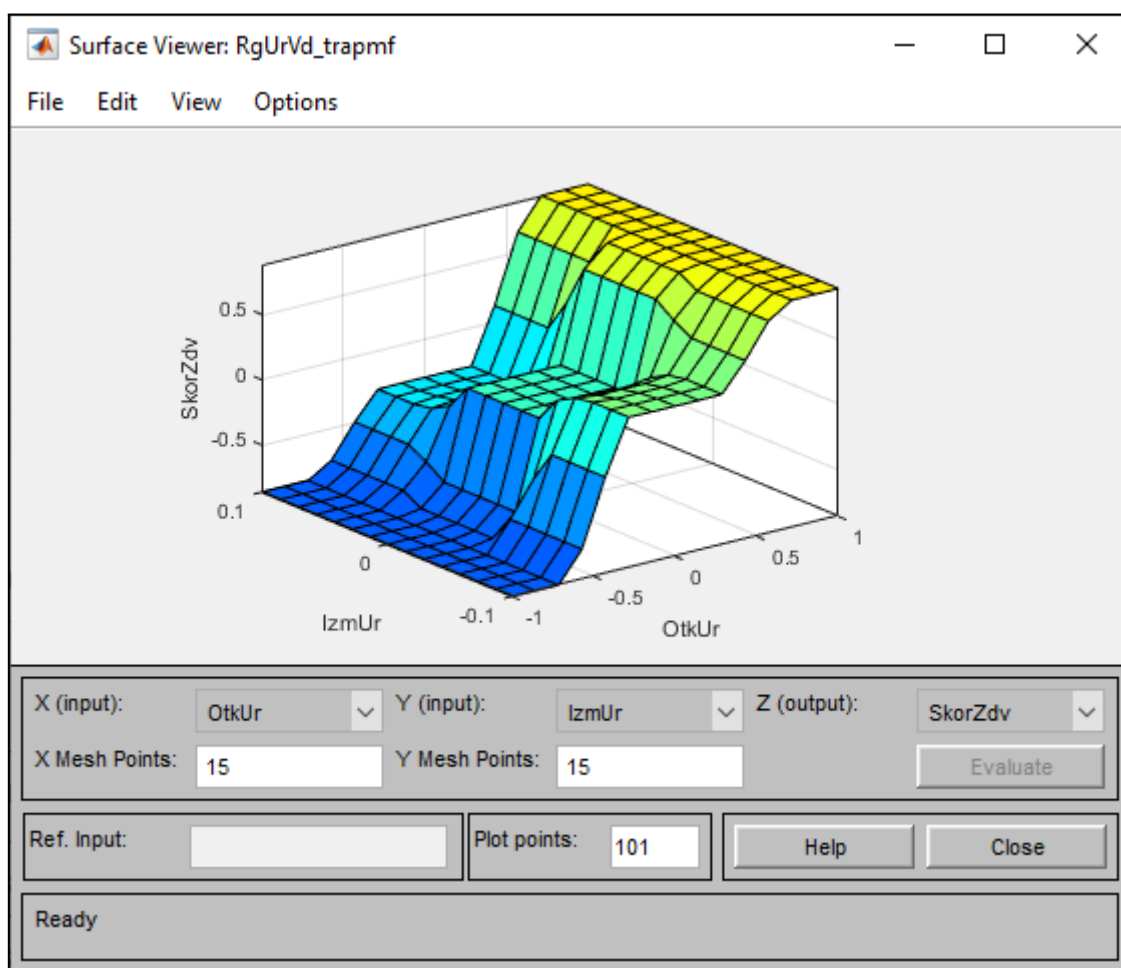


Рисунок 14 - поверхность «входы-выход» при trapmf

Переходная характеристика при использовании ф-ии принадлежности `trapmf` представлена на рисунке 15

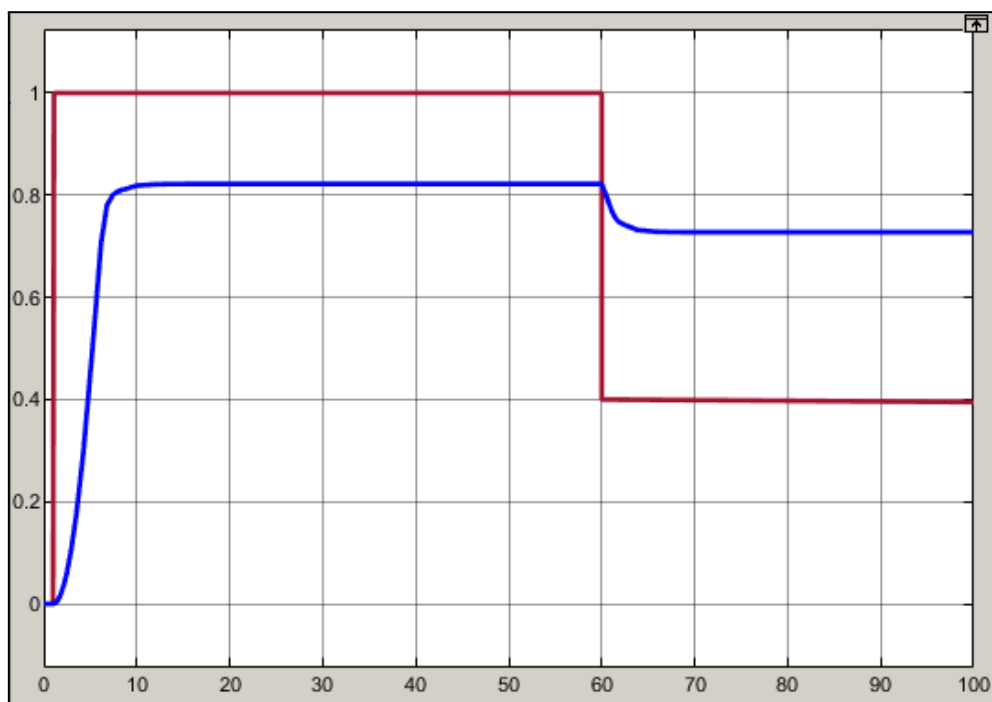


Рисунок 15 - переходная характеристика при `trapmf`

Определение качественных показателей переходного процесса при использовании ф-ии принадлежности `trapmf` не имеет смысла, тк нечеткая система работает некорректно.

Поверхность «входы-выход» при использовании ф-ии принадлежности `gbellmf` представлена на рисунке 16.

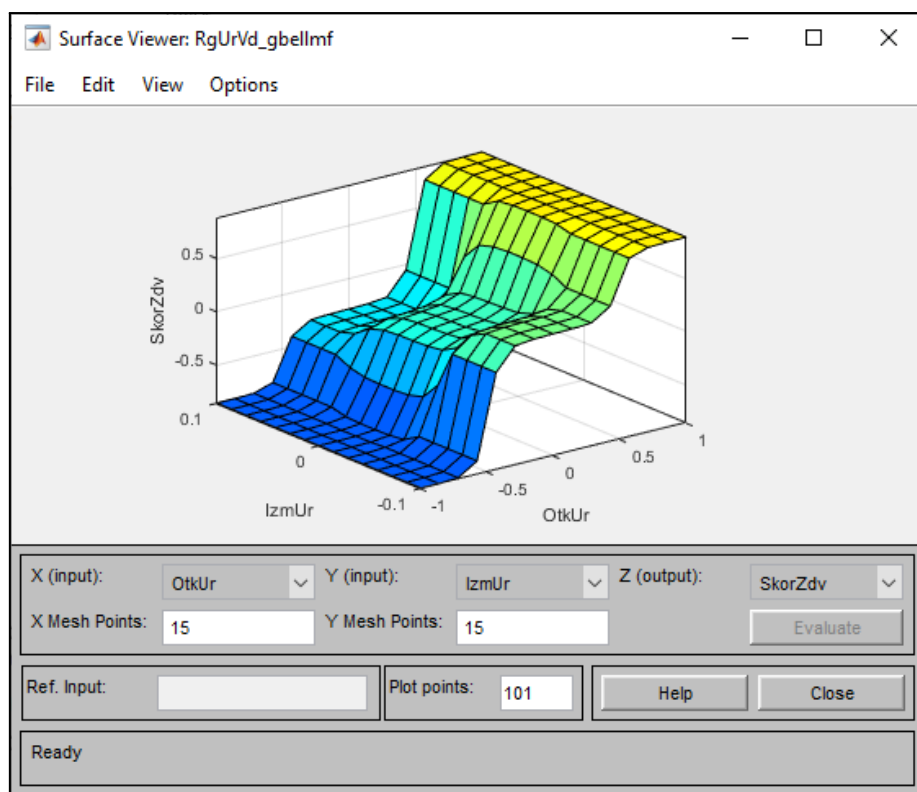


Рисунок 16 - поверхность «входы-выход» при gbellmf

Переходная характеристика при использовании ф-ии принадлежности gbellmf представлена на рисунке 17

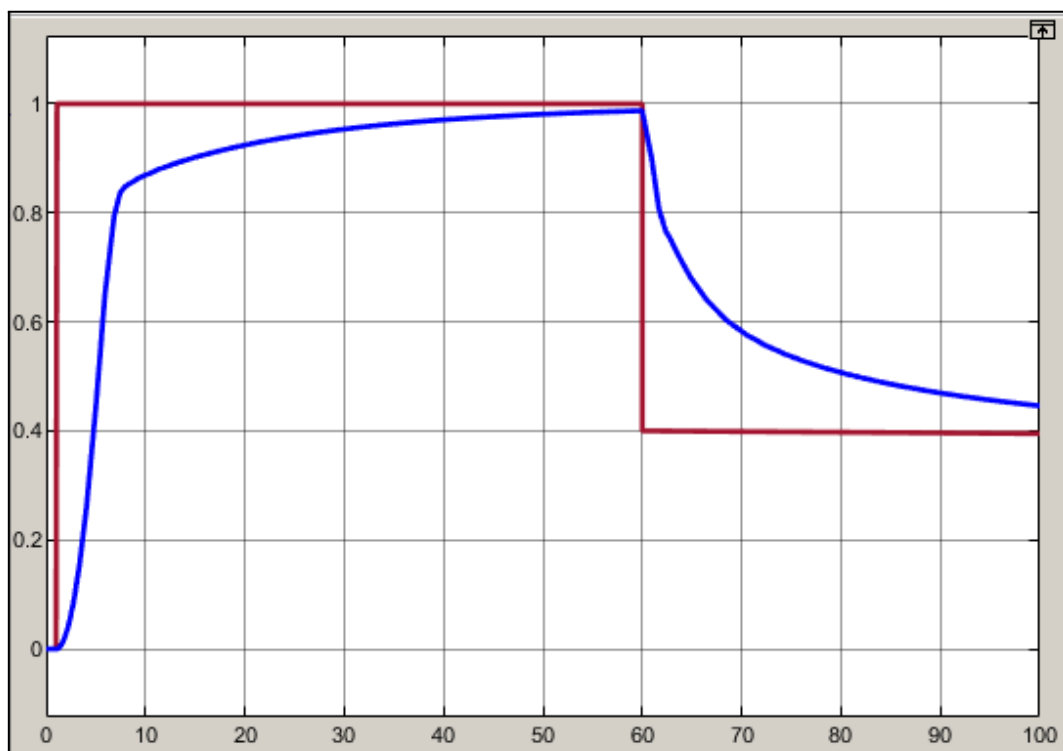


Рисунок 17 - переходная характеристика при gbellmf

Качественные показатели переходного процесса при использовании ф-ии принадлежности gbellmf представлены в таблице 8.

Таблица 8 - качественные показатели переходного процесса при gbellmf

Показатель	$t_{п.п.}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta, \%$
Интервал 1	30	-	< 1.3
Интервал 2	> 40	-	-

В результате проведенных опытов сделан вывод, что дальнейшие исследования в данном подразделе не имеют смысла, так как смена типа функции принадлежности для всех переменных - очень грубая операция, которая непременно приводит либо к резкому ухудшению качества работы нечеткой системы, либо вовсе делает её непригодной для использования. Наиболее эффективным является точечный подбор типов функций принадлежности, а также тонкие изменения их интервалов по мере необходимости, что было продемонстрировано в первой части работы.

### **Часть 2.3 Исследование влияния изменения весовых коэффициентов правил нечетких продукций на работу системы**

Рассмотрим случай с равными весовыми коэффициентами правил нечетких продукций. База правил нечетких продукций с равными весовыми коэффициентами представлена на рисунке 18.

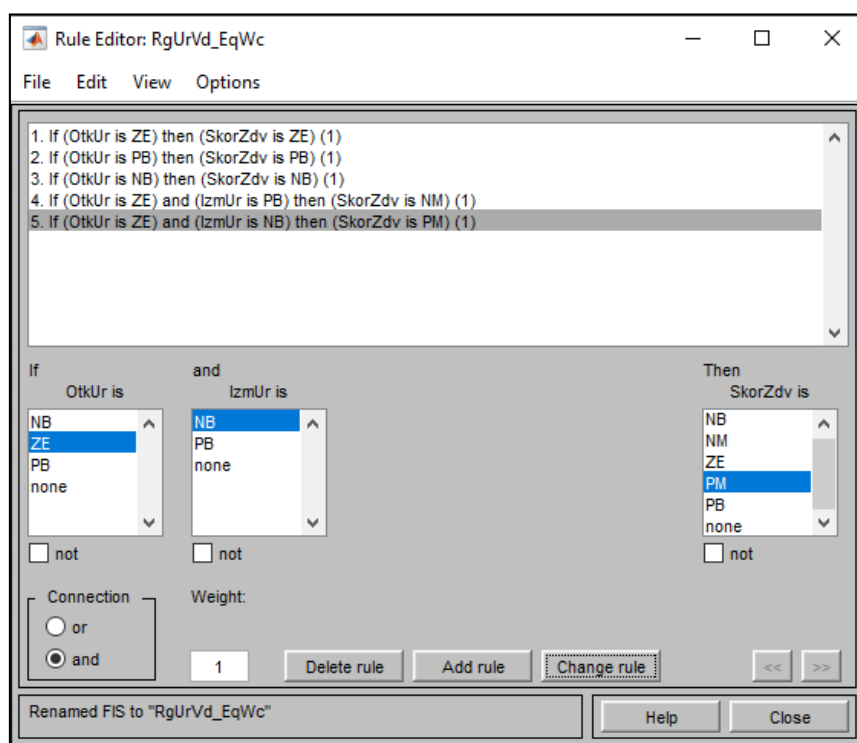


Рисунок 18 - база правил с равными в.к.

Поверхность «входы-выход» при использовании равных весовых коэффициентах правил нечетких продукций представлена на рисунке 19.

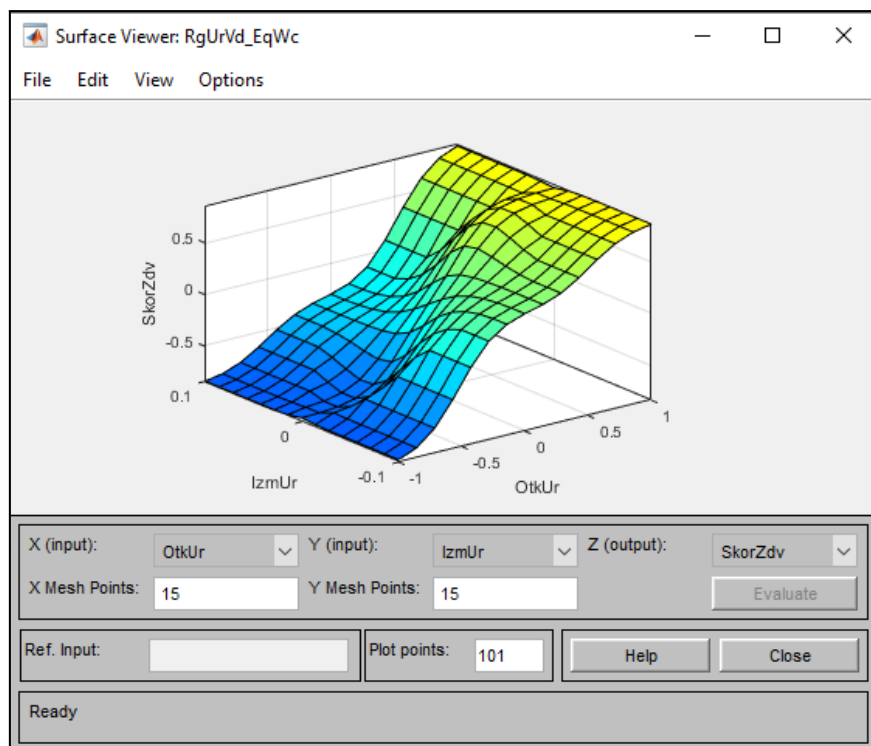


Рисунок 19 - поверхность «входы-выход» при равных в.к.

Переходная характеристика при использовании равных весовых коэффициентов правил нечетких продукций представлена на рисунке 20.

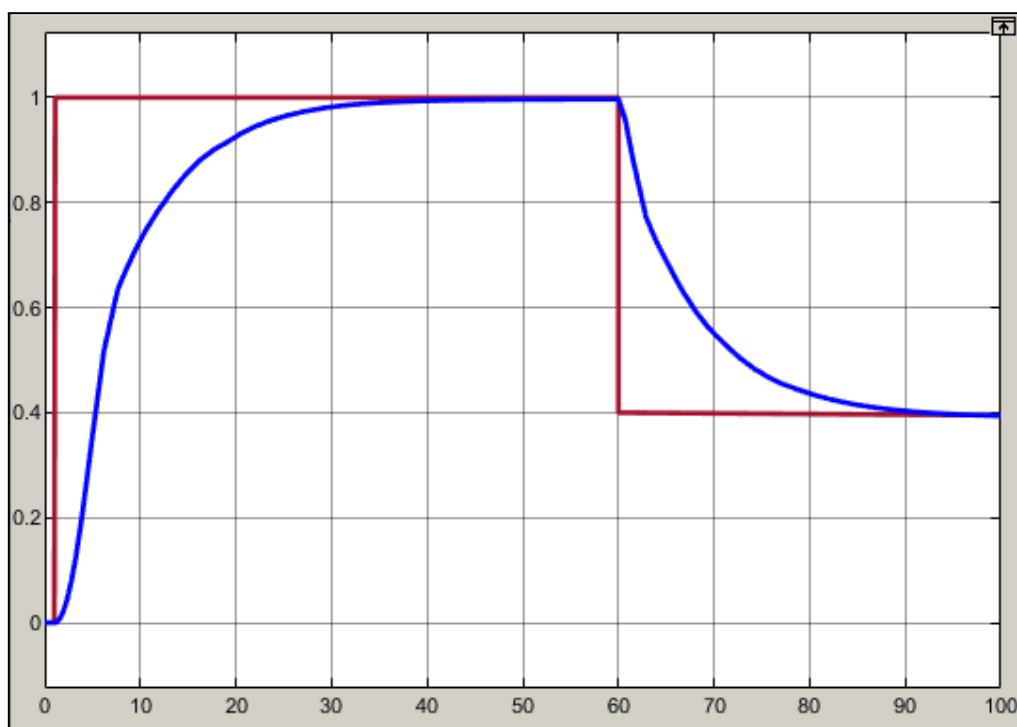


Рисунок 20 - переходная характеристика при равных в.к.

Качественные показатели переходного процесса при использовании при использовании равных весовых коэффициентов правил нечетких продукций представлены в таблице 9.

Таблица 9 - показатели переходного процесса при равных в.к.

Показатель	$t_{п.п.}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta, \%$
Интервал 1	24	-	0.3
Интервал 2	24	-	0.1



Далее поменяем местами весовые коэффициенты 0.5 и 1.0 в первоначальной базе правил нечетких продукций и рассмотрим данный случай. Для упрощения нейминга, обозначим его как «swar». База правил нечетких продукций для случая «swar» представлена на рисунке 21.

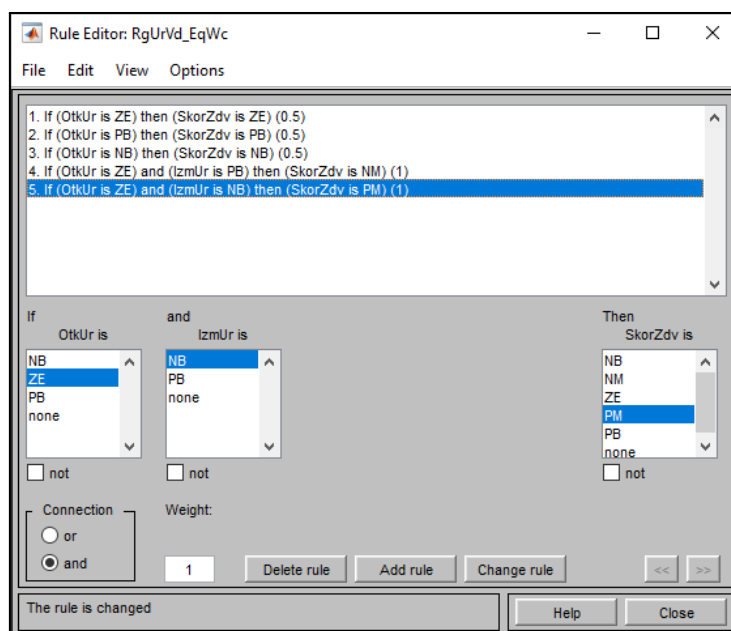


Рисунок 21 - база правил нечетких продукций при случае «swar»

Поверхность «входы-выход» для случая «swar» представлена на рисунке 22.

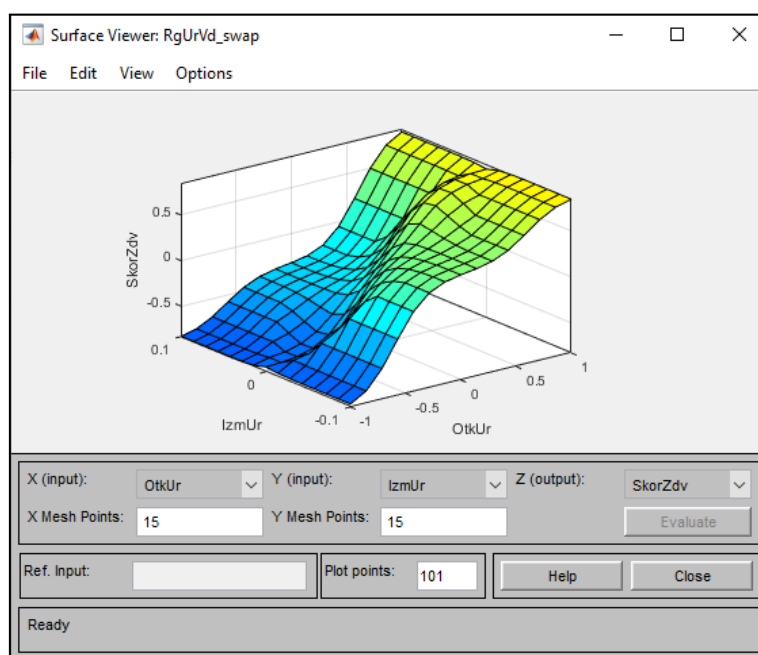


Рисунок 22 - поверхность «входы-выход» при случае «swar»

Переходная характеристика для случая «swar» представлена на рисунке 23.

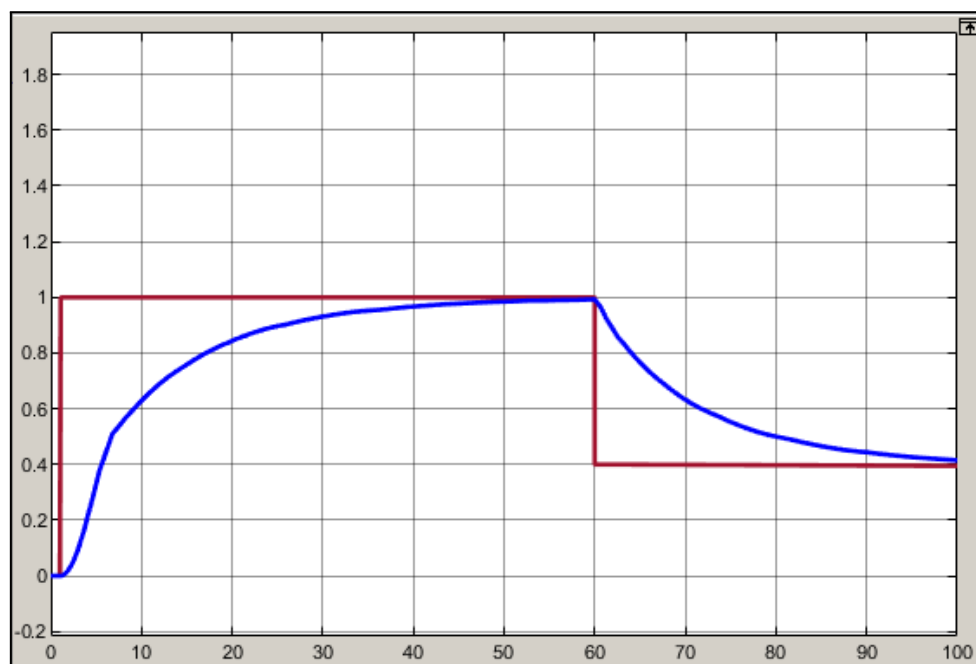


Рисунок 23 - переходная характеристика при случае «swar»

Качественные показатели переходного процесса при случае «swar» представлены в таблице 10.

Таблица 10 - показатели переходного процесса при случае «swar»

Показатель	$t_{п.п.}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta, \%$
Интервал 1	35	-	0.7
Интервал 2	37.5	-	< 3.75

Исходя из проведенных опытов можно сделать вывод, что весовые коэффициенты правил нечетких продукций позволяют произвести более точную настройку нашей системы, *т.е. умеренное изменение коэффициентов не всегда будет приводить к разрушительным последствиям, как это произошло в части 2.2, а скорее будет прямо и наглядно отражаться в качественных характеристиках переходного процесса в адекватных рамках.*

### Часть 3. Пример «sltankrule»

Схема демонстрационного примера «sltankrule» представлена на рисунке 23.

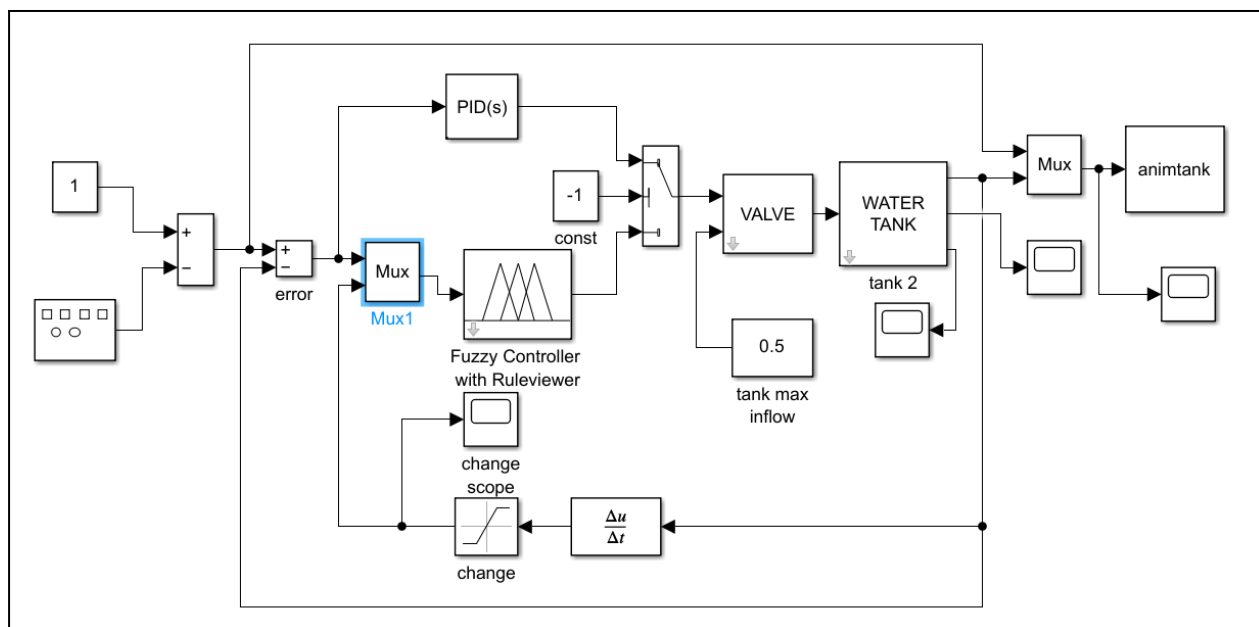


Рисунок 23 - схема демонстрационного примера «sltankrule»

Первое, что бросается в глаза при рассмотрении данной схемы - наличие блока «switch», который исходя из его настроек, будет запускать ветку выполнения процесса регулирования с помощью нечеткой системы, при значении на среднем входе:  $< 0$  (в данном случае, подается значение -1), при значении:  $\geq 0$  будет выполняться ветка с ПИД-регулятором; сделан такой шаг вероятно для сравнения двух путей решения данной типовой задачи. Части схемы задвижки и непосредственно резервуара здесь представлены отдельными подсистемами. Заглянув внутрь подсистем можно увидеть, что в «sltankrule» интегратор и звено насыщения применяются до домножения на обратный площади коэффициент  $1/S_b$ .

## **Вывод**

В каждой части работы представлены соответствующие выводы по разделу в тех местах, где это было необходимо. Суммируя их содержание можно сказать, что на основе нечетких систем можно строить системы регулирования, которые, как и любая нечеткая система нуждаются в тщательной настройке. 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](#).