



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего профессионального образования**  
**«Московский государственный технологический университет**  
**«СТАНКИН»**  
**(ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»)**

---

Институт автоматизации и

робототехники Кафедра

«Робототехника и мехатроника»

Учебный курс «Современные методы управления в робототехнике и  
мехатронике»

Лабораторная работа №2

«Управление мобильным роботом с помощью контроллера на  
основе принципов нечёткой логики»

Выполнил: студент группы АДМ-21-05      Абдулгагиров М.М.

Проверил :      Колесниченко Р. В.

Оценка: \_\_\_\_\_

Дата: \_\_\_\_\_

Москва 2022

**Цель:** научиться управлять мобильным роботом с помощью системы управления на основе нечёткого регулятора. Изучить структуру контроллера нечёткой логики на основе алгоритма Мамдани.

**Задачи:** создать систему управления мобильным роботом с помощью контроллера нечёткой логики. Оптимизировать систему управления с целью получения минимального времени переходных процессов. Модифицировать систему управления с целью возвращения робота в начальное положение.

**Ход выполнения:**

Кинематическая схема мобильного робота, находящегося на плоской поверхности в системе координат  $OXY$ , изображена на рисунке 3. Будем называть эту систему координат абсолютной системой координат. В точках  $L$  и  $R$  расположены левое и правое передние колеса. Их оси вращения совпадают с отрезком  $LR$ , имеющим длину  $l$ . В середине отрезка  $LR$  находится начало системы координат  $O_oX_oY_o$ , жёстко связанной с роботом. Ось  $X_o$  этой системы координат направлена перпендикулярно  $LR$  в направлении движения. Ось  $Y_o$  вместе с осью  $X_o$  образуют правую систему координат. Положение основания робота как твердого тела задается величинами  $\varphi$ ,  $x$ ,  $y$ , где  $\varphi$  – угол между осями  $X$  и  $X_o$ , а  $x$  и  $y$  – координаты точки  $O_o$  в абсолютной системе координат  $OXY$ .

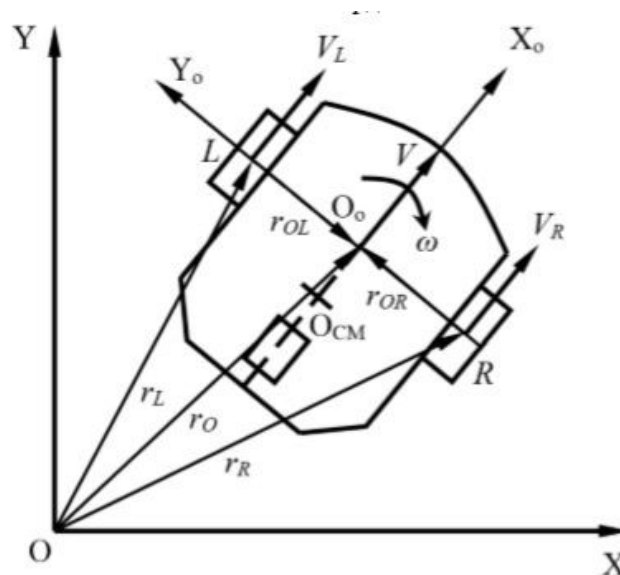


Рис. 1 Кинематическая схема мобильного робота

1. Запускаем Matlab и открываем файл модели системы управления мобильным роботом `robot_kinematic_model.mdl`, соответствующей рисунку 2.

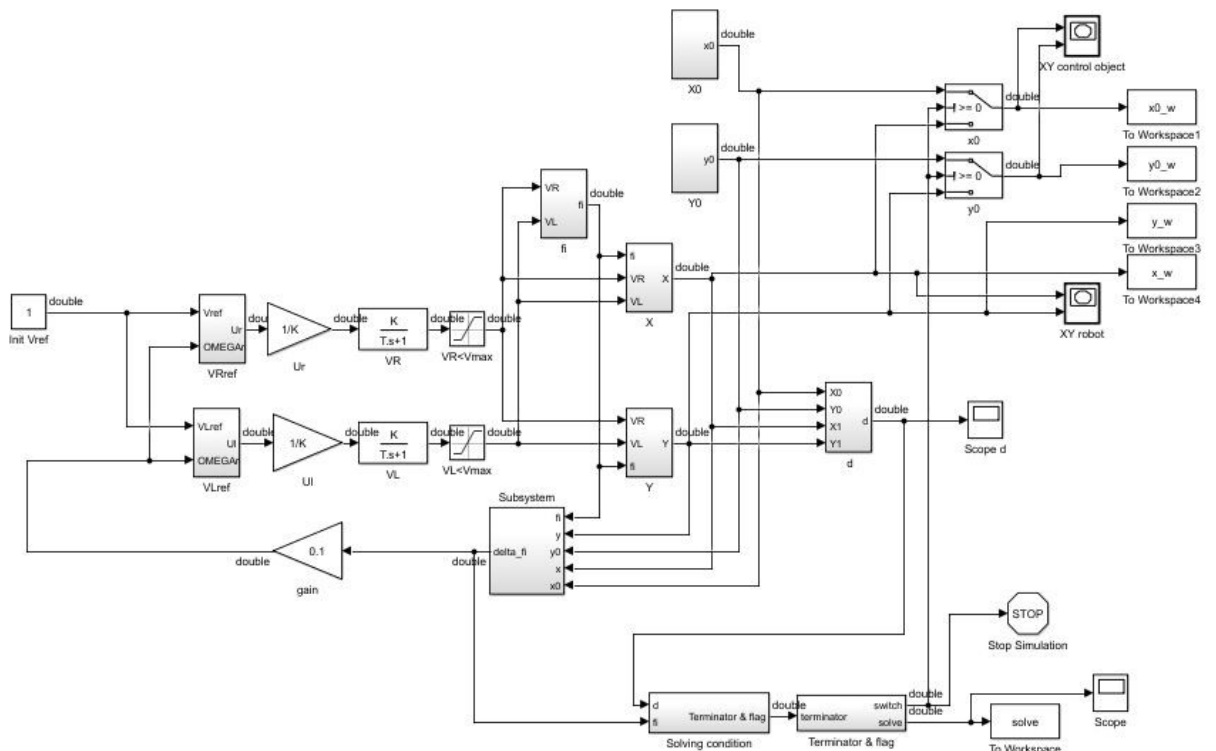


Рис. 2 Модель системы управления мобильным роботом

В состав системы управления входят:

- Кинематическая модель мобильного робота (рис. 3)

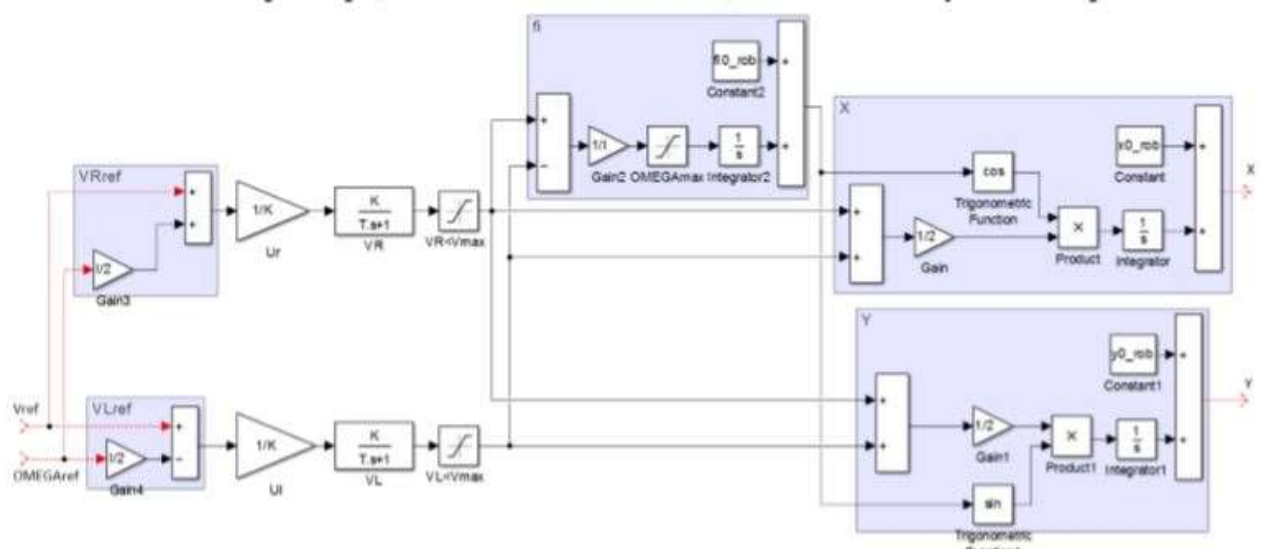


Рис. 3 Кинематическая модель мобильного робота

- Модель объекта (нарушителя) рис. 4-6.

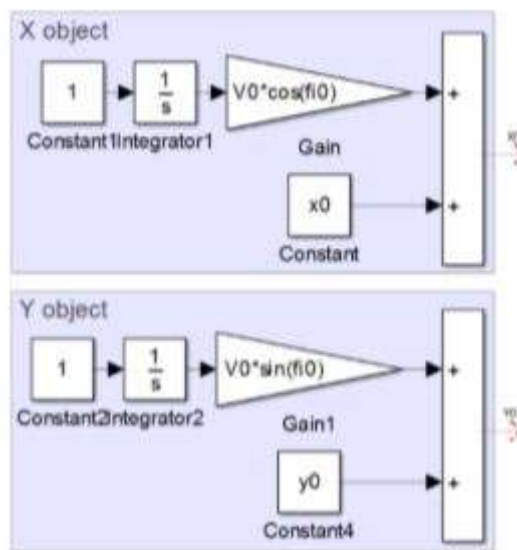


Рис. 4 Блок расчёта координат объекта

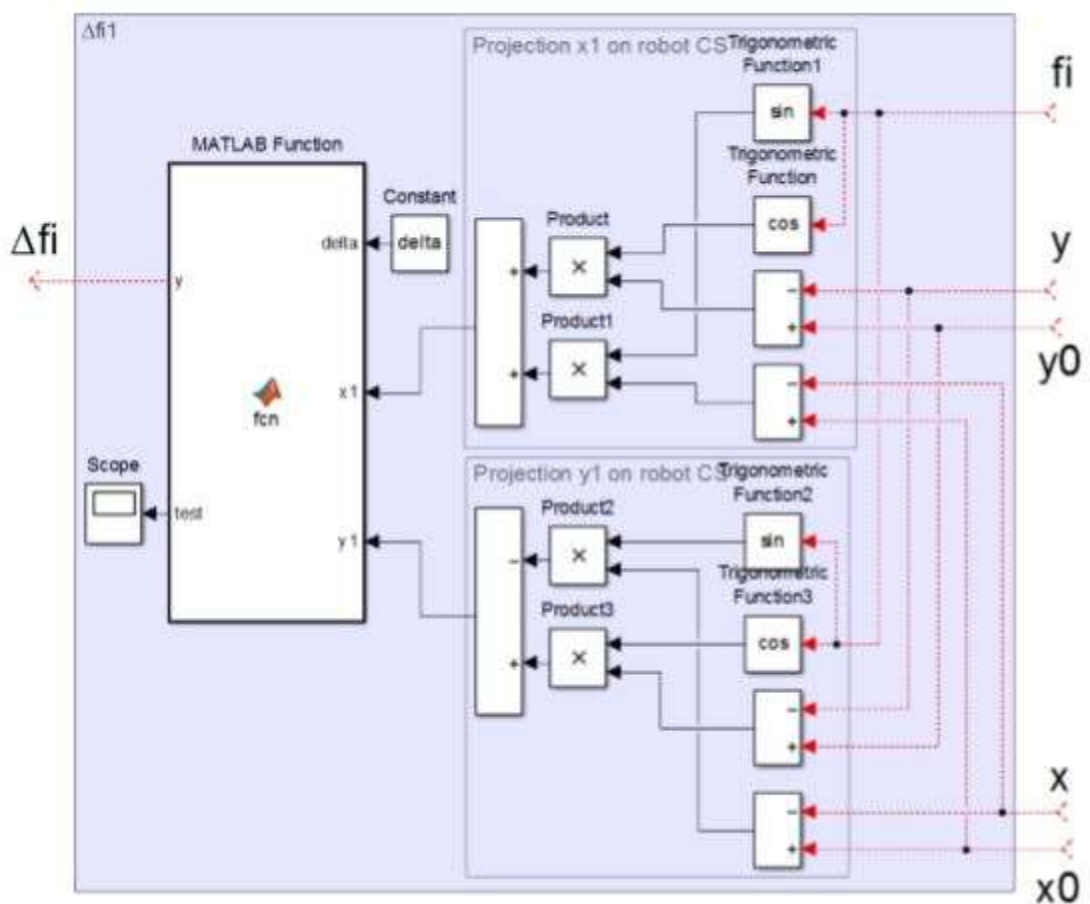


Рис. 5 Блок расчёта координат объекта

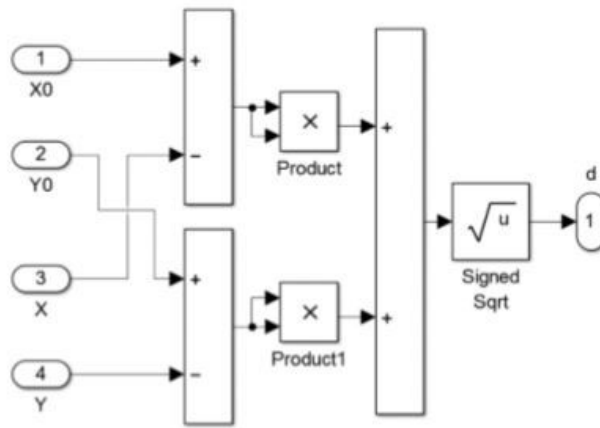


Рис. 6 Блок расчёта расстояния от робота до объекта

- Блок определения времени выполнения условия решения задачи (рис. 7). Условие  $d < |d_{\text{bound}}|$  и  $f_i < |f_{i\text{bound}}|$ , то  $\text{solve} = 1$  и  $\text{switch} = -1$ .

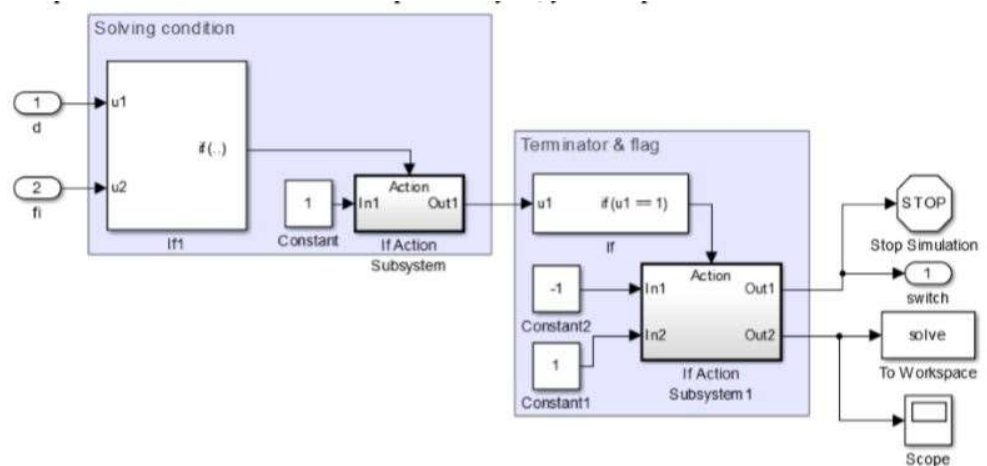


Рис. 7 Определение времени выполнения условий

- Блок построения графика движения робота и объекта (рис. 8)

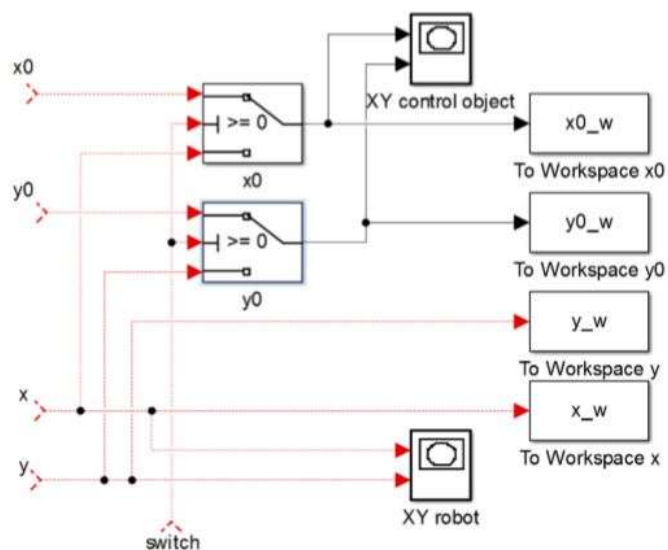


Рис. 8 Блок построения графиков движения

## 2. Задаём в рабочее пространство переменные (рис. 9)

Обозначение	Параметр	Значение
Параметры робота		
$l$	расстояние между правым и левым колёсами робота	0.381, м
$V_{\max}$	максимальная скорость (линейная) робота	1.2, м/с
$\text{OMEGAm}_{\max}$	максимальная скорость поворота (угловая) робота	0.05, с <sup>-1</sup>
Параметры двигателей		
$K$	постоянная двигателей, м/с*В	0.1, м/с*В
$T$	постоянная времени двигателей	0.1
Начальные условия движения объекта		
$V_0$	скорость движения объекта	0.7, м/с
$\text{fi}_0$	угол отклонения движения объекта от оси ОХ	-, рад
$x_0$	точка начала движения объекта по оси x	-, м
$y_0$	точка начала движения объекта по оси y	-, м
Начальные условия движения робота		
$V0\_rob$	скорость робота	1, м/с
$\text{fi}_0\_rob$	угол отклонения движения робота от оси ОХ	0, рад
$x0\_rob$	точка начала движения объекта по оси x	0, м
$y0\_rob$	точка начала движения объекта по оси y	0, м
$\text{Home}$	зона начального и конечного положения робота	10, м
Условия решения задачи		
$\text{dbound}$	расстояние между роботом и объектом, при котором задача считается решённой	0.21, м
$\text{fibound}$	угол между роботом и объектом, при котором задача считается решённой	0.349, рад
$\text{solve}$	флаг, показывающий, что задача решена (когда $\text{solve}=1$ )	0

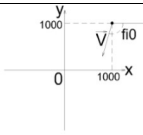
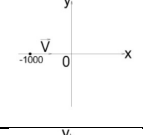
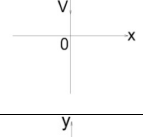
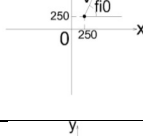
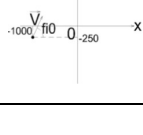
Рис. 9 Начальные условия модели

Запускаем программу Variables\_robot\_fuzzy.m:

```
% Параметры робота:
l=0.381; % расстояние между правым и левым колёсами робота
Vmax=1.2; %максимальная скорость, м/с
OMEGAm_max=0.05; %5.236; %максимальная скорость поворота (угловая), с^(-1)
K=0.1; % постоянная двигателей, м/с*В
T=0.1; % постоянная времени двигателей
%Начальные условия. Движение объекта
V0=0.7; %скорость движения объекта, м/с
fi0=-7*pi/12; %угол отклонения движения объекта от оси ОХ, рад
x0=1000; %точка начала движения объекта по оси x, м
y0=1000; %точка начала движения объекта по оси y, м
%Начальные условия. Движение робота
V0_rob=1; %скорость движения робота, м/с
fi0_rob=0; %угол отклонения движения робота от оси ОХ, рад
x0_rob=0; %точка начала движения объекта по оси x, м
y0_rob=0; %точка начала движения объекта по оси y, м
Home=10; %зона начального и конечного положения робота, м
%Условия решения задачи
dbound=0.21; %расстояние между роботом и объектом, при котором задача
считается решённой, м
fibound=0.349; %угол между роботом и объектом, при котором задача считается
решённой, рад
solve=0; %флаг, показывающий, что задача решена (когда solve=1)
delta=0.1;
```

Запускаем моделирование системы при параметрах, представленных в таблице 1 в течение 2000 с, и запишите время переходного процесса в соответствующие поля этой таблицы.

Таблица 1 Сравнение времени переходных процессов

График движения объекта	Значение параметров движения объекта			Время переходного процесса, t, с
	$\dot{\varphi}_0$ , рад	$x_0$ , м	$y_0$ , м	
	$-7\pi/12$	1000	1000	1092,189
	0.01	-1000	0	598,900
	$-\pi/2$	0	1000	804,228
	$\pi/3$	250	250	1170,881
	$\pi/3$	-1000	-250	1135,507

а) Моделирование проводится при  $\dot{\varphi}_0 = -7\pi/12$ ,  $x_0 = 1000$ ,  $y_0 = 1000$  (рис. 10)

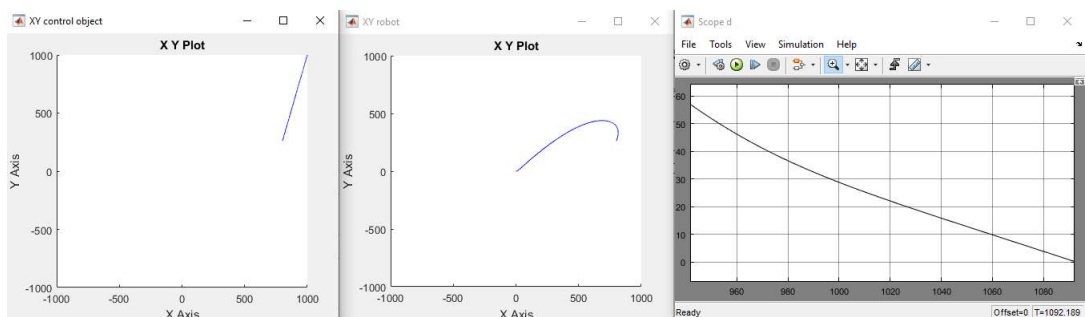


Рис. 10 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1092,189 с.

б) Моделирование проводится при  $\dot{\varphi}_0 = 0$ ,  $x_0 = -1000$ ,  $y_0 = 0$  (рис. 11)

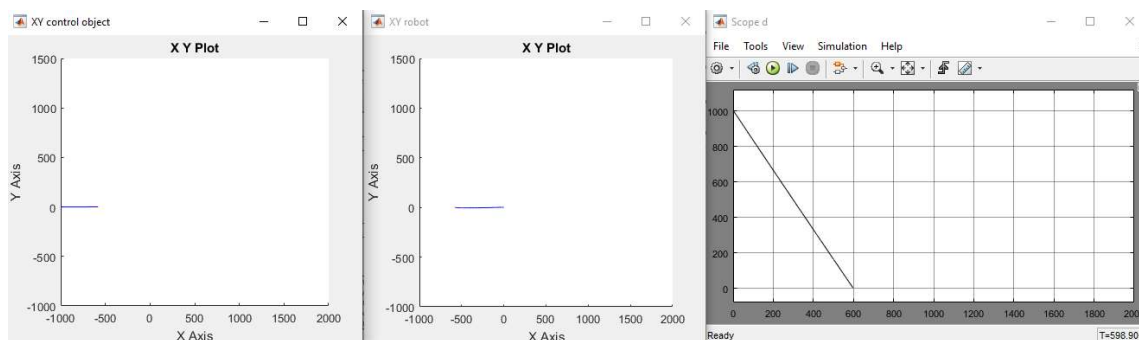


Рис. 11 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1021.900.

с) Моделирование проводится при  $f_{i0}=-\pi/2$ ,  $x_0=0$ ,  $y_0=1000$  (рис. 12).

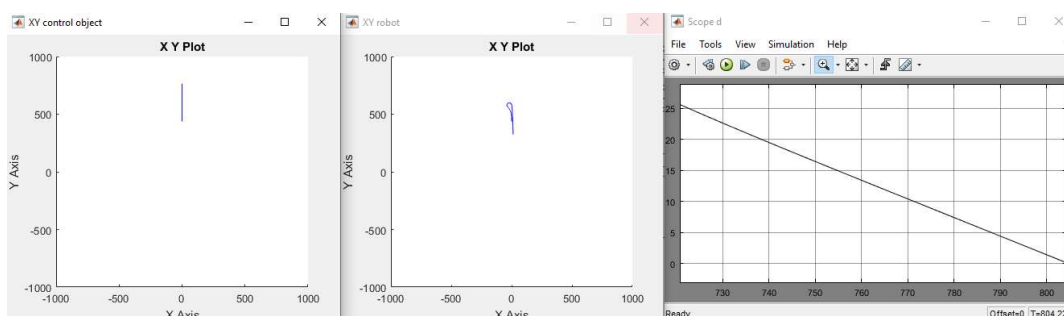


Рис. 12 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 804,228 с.

д) Моделирование проводится при  $f_{i0}=\pi/3$ ,  $x_0=250$ ,  $y_0=250$  (рис. 13)

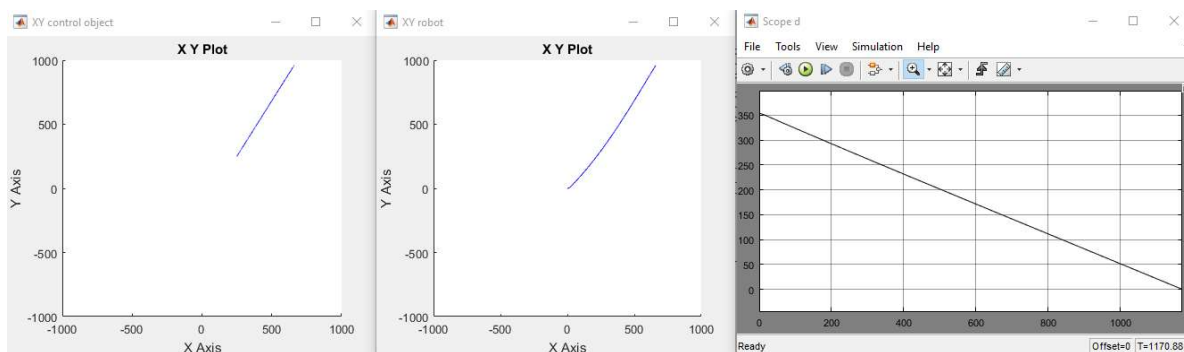


Рис. 13 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1170,881 с.

е) Моделирование проводится при  $f_{i0}=\pi/3$ ,  $x_0=-1000$ ,  $y_0=-250$  (рис. 14).



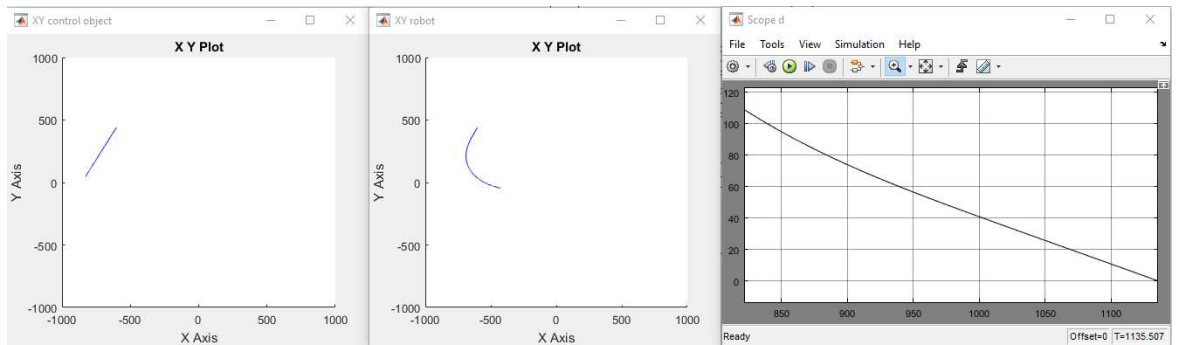


Рис. 14 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1135,507 с.

3. Реализуем систему управления с нечётким контроллером, замкнув систему обратной связью по углу дельта  $\varphi$  (рис. 15).

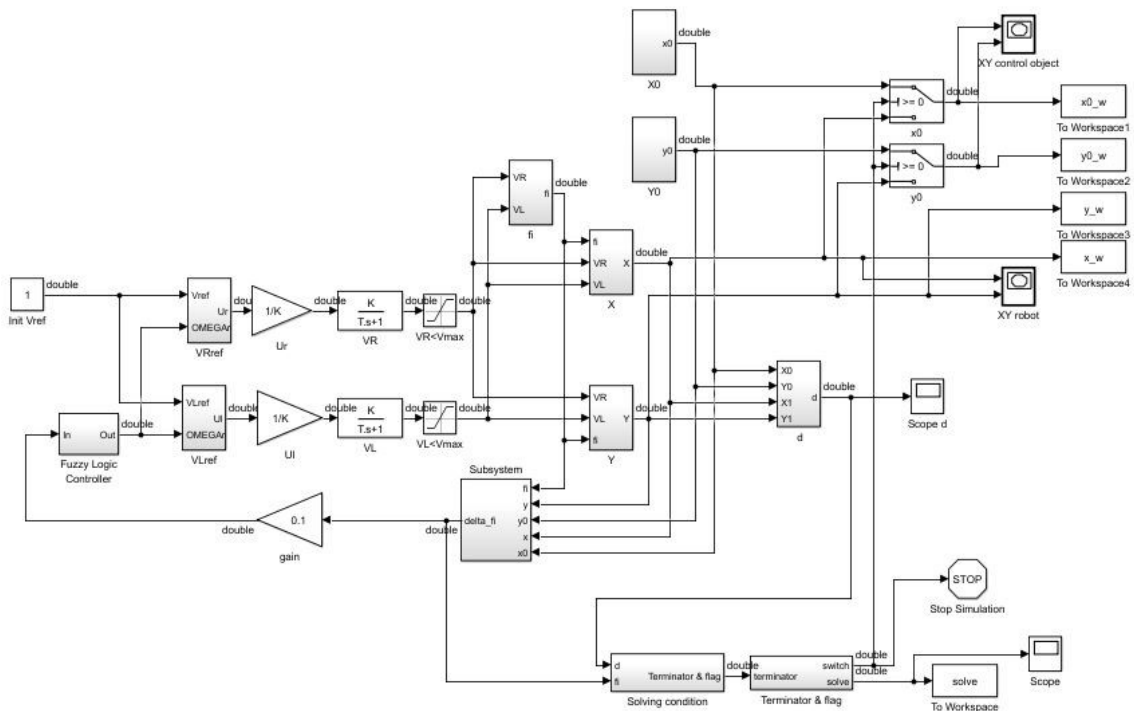


Рис. 15. Модель системы управления с нечётким контроллером

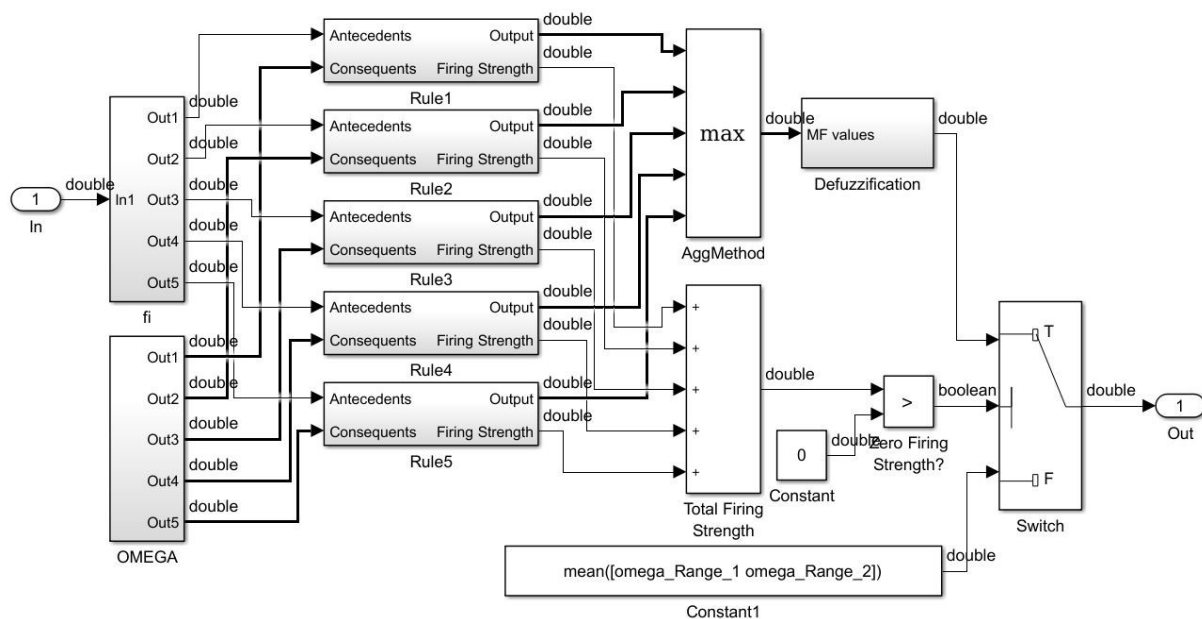


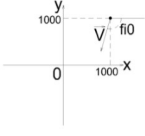
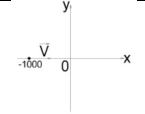
Рис. 16 Модель контроллера нечёткой логики

Загружаем файл “fuzzy\_controller.slx” и переносим нечёткий контроллер в систему управления мобильным роботом вместо звена с коэффициентом усиления в цепи обратной связи по углу.

Загружаем из файла “Graph\_functions.m” параметры треугольных функций принадлежности.

Запускаем моделирование в течение 2000 с, и записываем время переходного процесса в соответствующие поля таблицы 2.

Таблица 2. Сравнение времени переходных процессов

График начала движения	Значения параметров движения объекта			Время переходного процесса, с		
	$\varphi_0$ , рад	$x_0$ , м	$y_0$ , м	Классический вариант управления (из таблицы 1)	Контроллер нечёткой логики	Контроллер нечёткой логики с изменёнными ф-ми прин-ти (п.5)
	$-7\pi/12$	1000	1000	1092,189	1093	1075.200
	0	-1000	0	1021.900	1029	1025.800

	$-\pi/2$	0	1000	804,228	1217	1179.100
	$\pi/3$	250	250	1170,881	1207.700	1203.400
	$\pi/3$	-1000	-250	1135,507	1413.00	1528.500

а. Моделирование проводится при  $\dot{\varphi}_0 = -7\pi/12$ ,  $x_0 = 1000$ ,  $y_0 = 1000$  (рис. 17)

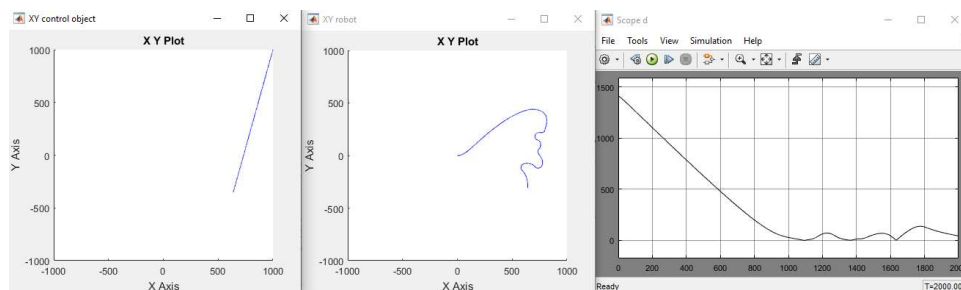


Рис. 17 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1093 с.

б. Моделирование проводится при  $\dot{\varphi}_0 = 0.01$ ,  $x_0 = -1000$ ,  $y_0 = 0$  (рис. 18)

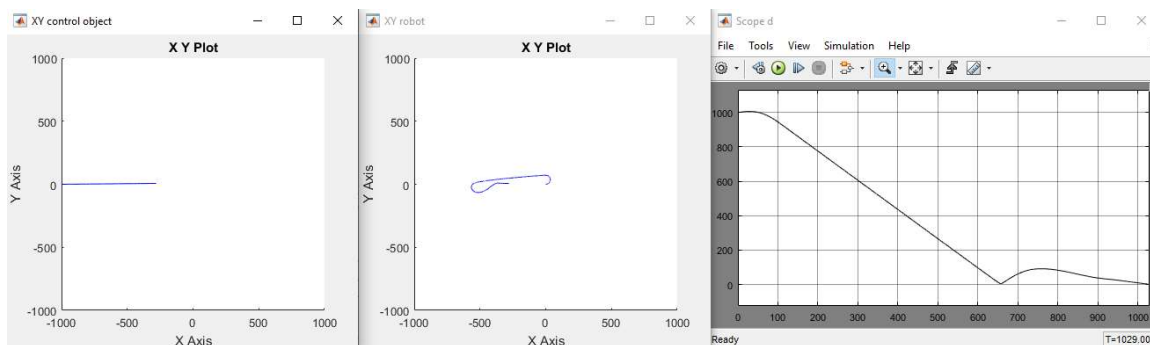


Рис. 18 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1029.

с. Моделирование проводится при  $\dot{\varphi}_0 = -\pi/2$ ,  $x_0 = 0$ ,  $y_0 = 1000$  (рис. 19)

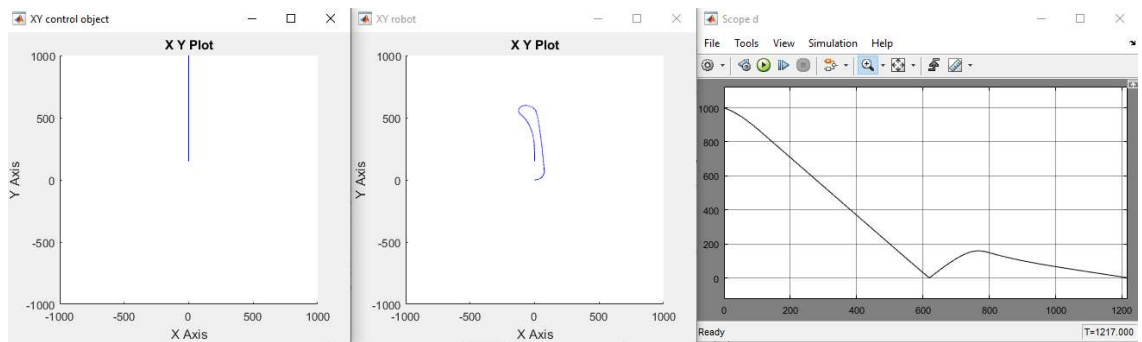


Рис. 19 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1217.

д. Моделирование проводится при  $\dot{\varphi}_0 = \pi/3$ ,  $x_0 = 250$ ,  $y_0 = 250$  (рис. 20)

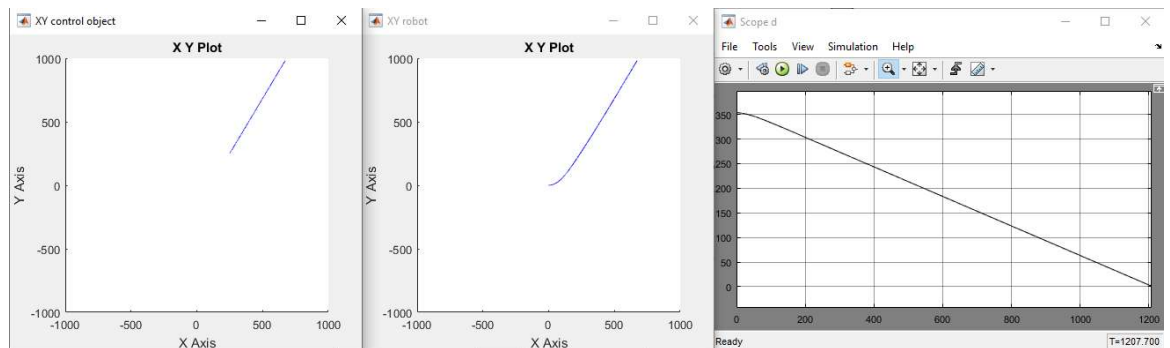


Рис. 20 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1207.700.

е. Моделирование проводится при  $\dot{\varphi}_0 = \pi/3$ ,  $x_0 = -1000$ ,  $y_0 = -250$  (рис. 21)

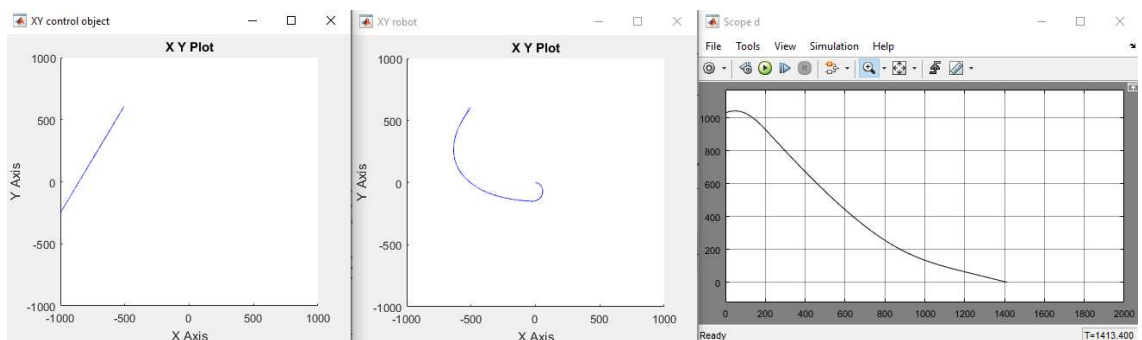


Рис. 21 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1413.00.

**Вывод:** при нечётком управлении время переходного процесса больше, чем в классическом варианте управления.

Изменяем параметры функций принадлежности, для минимизации времени переходного процесса.

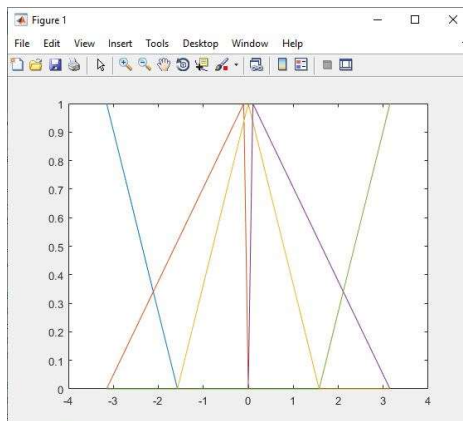


Рис. 22 Изменённые функции принадлежности  $f_i$

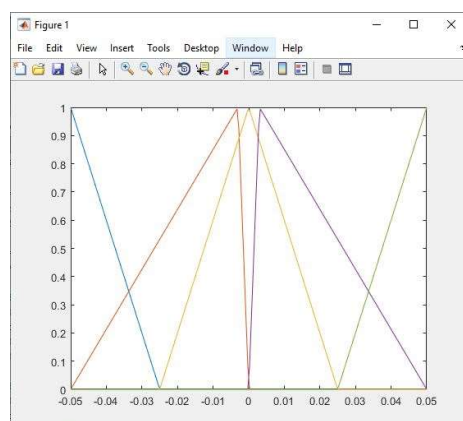


Рис. 23 Изменённые функции принадлежности  $\omega$

Повторим предыдущий эксперимент для заполнения седьмого столбца таблицы 2.

- а. Моделирование проводится при  $f_{i0} = -7 \cdot \pi / 12$ ,  $x_0 = 1000$ ,  $y_0 = 1000$  (рис. 24)

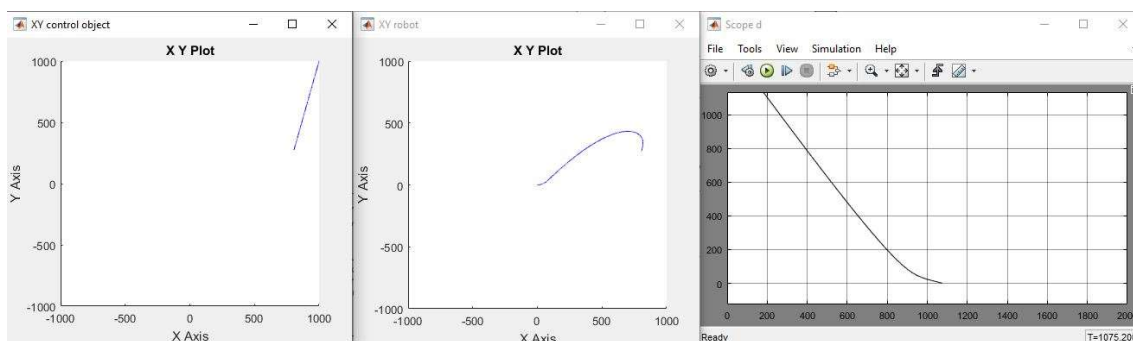


Рис. 24 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1075.200.

б. Моделирование проводится при  $\dot{f}_0=0.01$ ,  $x_0=-1000$ ,  $y_0=0$  (рис. 25)

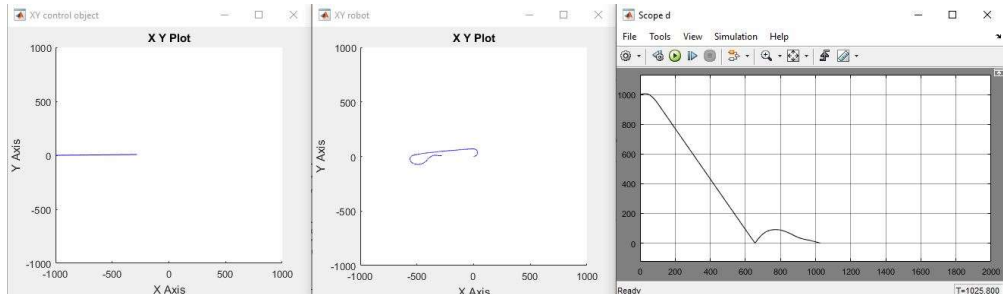


Рис. 25 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1025.800.

с. Моделирование проводится при  $\dot{f}_0=-\pi/2$ ,  $x_0=0$ ,  $y_0=1000$  (рис. 26)

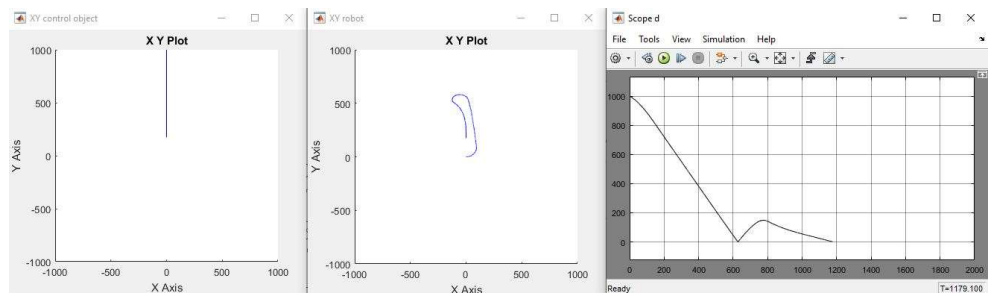


Рис. 26 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1179.100.

д. Моделирование проводится при  $\dot{f}_0=\pi/3$ ,  $x_0=250$ ,  $y_0=250$  (рис. 27)

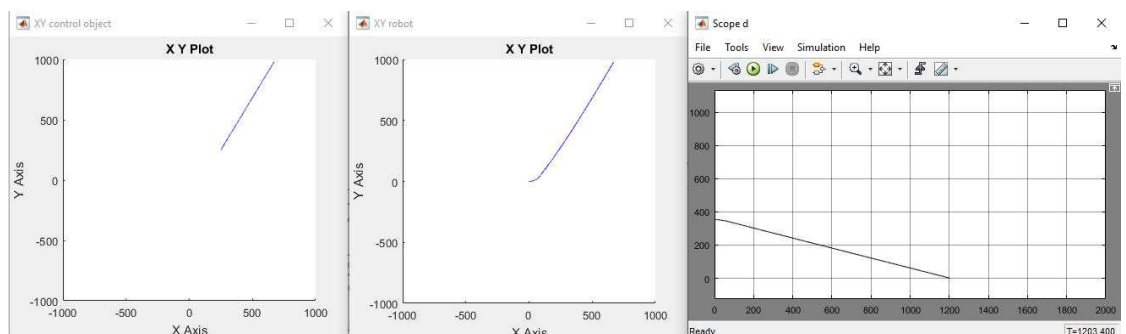


Рис. 27 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1203.400

е. Моделирование проводится при  $\varphi_0=\pi/3$ ,  $x_0=-1000$ ,  $y_0=-250$  (рис. 28)

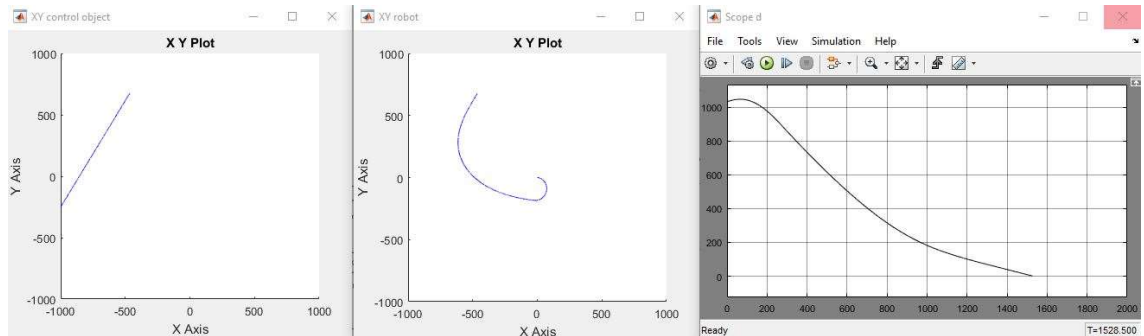


Рис. 28 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1528.500.

**Вывод:** настроив графики принадлежности удалось уменьшить время переходного процесса.

Добавим в контроллер нечёткой логики управление скоростью мобильного робота в зависимости от расстояния  $d$ , чтобы при подходе к объекту робот замедлялся, что позволило бы осуществить более качественный захват. При этом скорость робота не должна опускаться ниже скорости движения объекта.

Внесём исправления в блок «Fuzzy Logic Controller1» (рис. 29, 30, 31). Добавляем вход  $d$  и через блок перемножения совмещаем с сигналом управления.

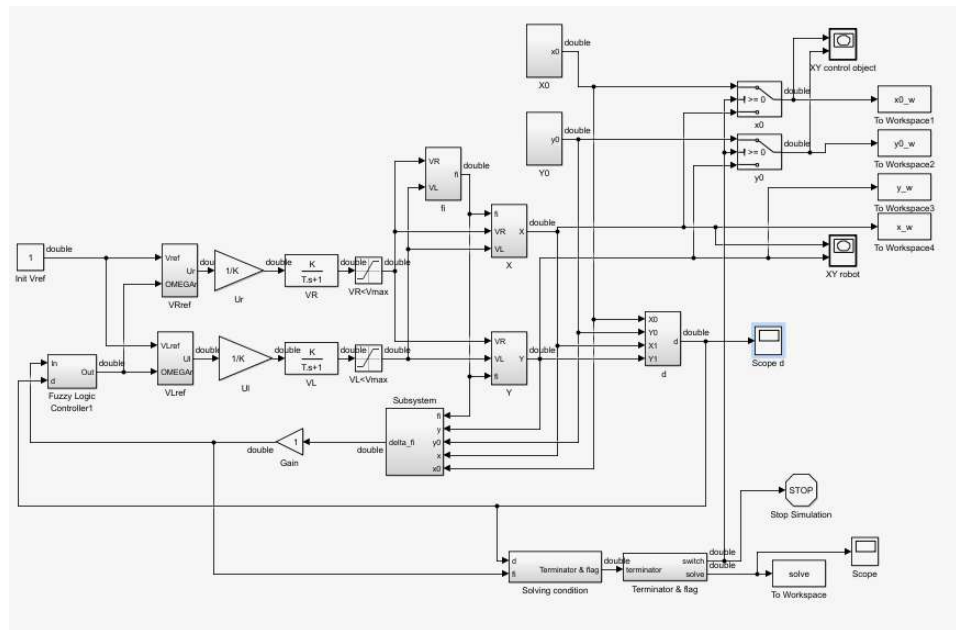


Рис. 29 Изменения в Fuzzy Logic Controller1

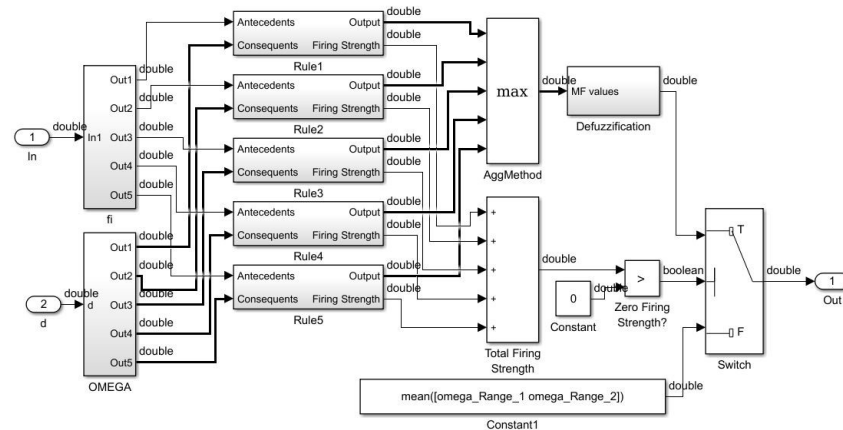


Рис. 30 Изменения в Fuzzy Logic Controller1

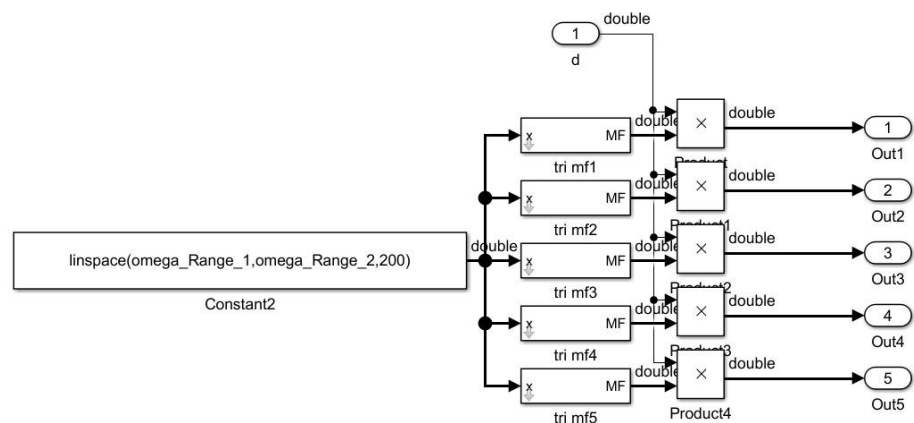


Рис. 31 Изменения в Fuzzy Logic Controller1



Проведём эксперименты в соответствии параметрами из таблиц.

- а. Моделирование проводится при  $\dot{\varphi}_0 = -7\pi/12$ ,  $x_0 = 1000$ ,  $y_0 = 1000$  (рис. 32)

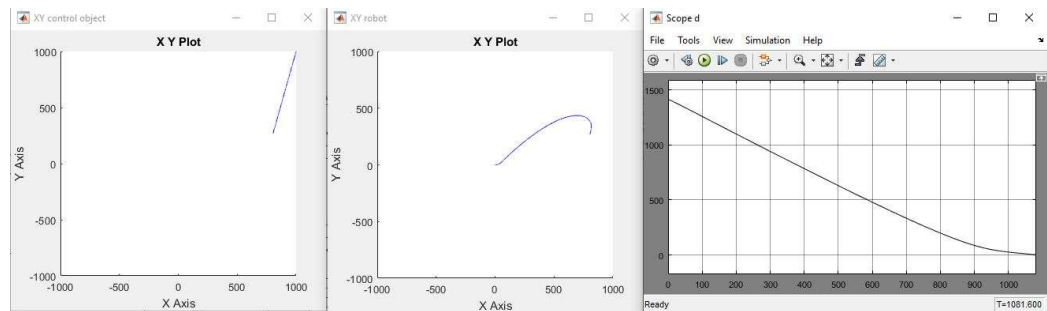


Рис. 32 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1081.600с.

- б. Моделирование проводится при  $\dot{\varphi}_0 = 0.01$ ,  $x_0 = -1000$ ,  $y_0 = 0$  (рис. 33)

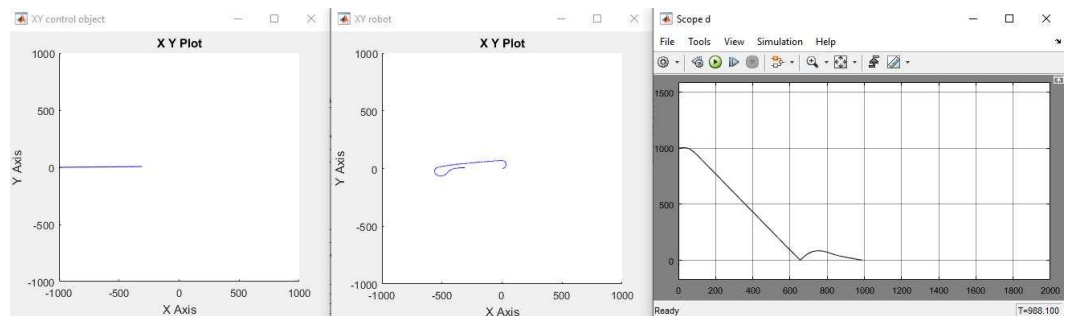


Рис. 33 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 988.100с.

- с. Моделирование проводится при  $\dot{\varphi}_0 = -\pi/2$ ,  $x_0 = 0$ ,  $y_0 = 1000$  (рис. 34)

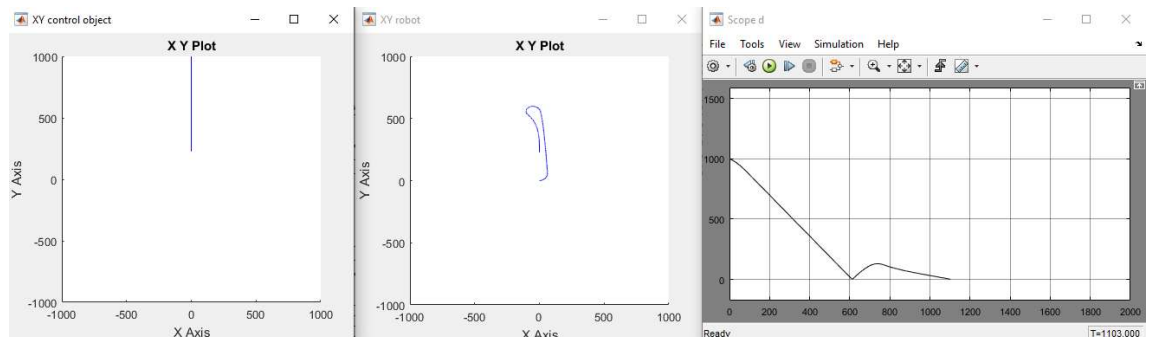


Рис. 34 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1103с.

d. Моделирование проводится при  $\dot{f}_0 = \pi/3$ ,  $x_0 = 250$ ,  $y_0 = 250$  (рис. 35)

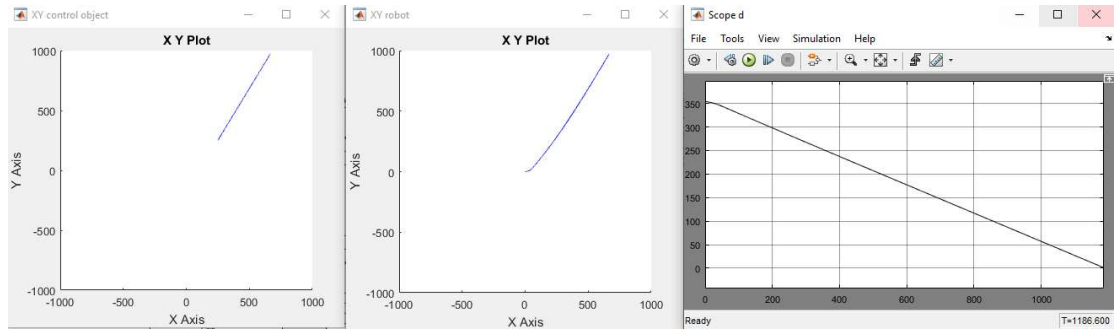


Рис. 35 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1186.600с.

e. Моделирование проводится при  $\dot{f}_0 = \pi/3$ ,  $x_0 = -1000$ ,  $y_0 = -250$  (рис. 36)

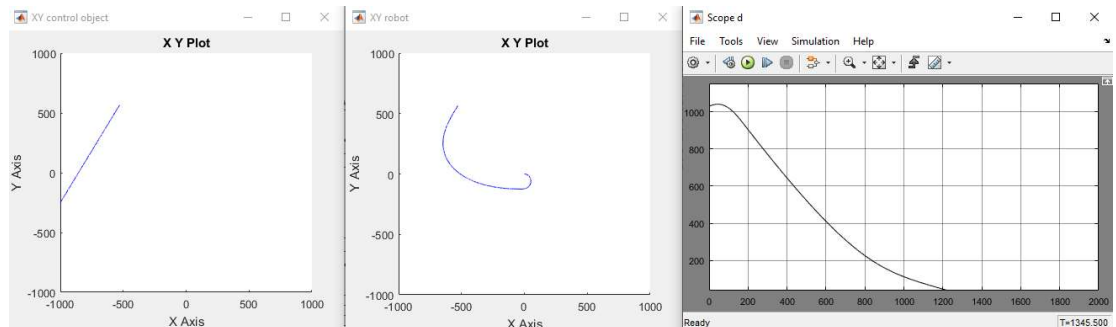


Рис. 36 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1345.500с.

**Вывод:** результатом внесения дополнительной настройки (управления по скорости) были уменьшены временные интервалы переходных процессов по сравнению с предыдущими настройками (функций принадлежности).

Модифицируем систему управления, добавив несколько блоков так, чтобы робот, после захвата объекта, двигался в нулевую зону, определяемую переменной *None*, и останавливался. Для этого можно добавить несколько блоков *switch*, переключающихся по сигналу *switch* с подсистемы *terminator & flag*.

Внесём исправления в схему, добавив константы «Home» для X и Y координат. Продублируем блоки расчётов «d» и «fi», в которых вместо «X0» «Y0» подключаем «Home». Константа «Home» имеет значение =10.

Добавляем два блока «switch»: один реализует управление по «d», второй по «fi». В первый разъём новых «switch» подключаем исходные расчёты (полученные в предыдущих пунктах), ко второму разъёму подключаем первоначальный «switch», а к третьему разъёму подключаем вновь созданные «d» и «fi». Выходы блоков «switch» подключаем к соответствующим входам блока «Fuzzy logic controller».

Также дублируем блоки «Solving condition» и «terminator & flag» соответственно. Время моделирования увеличиваем до 3000с.

Вышеописанные изменения схемы представлены на рисунке 37.

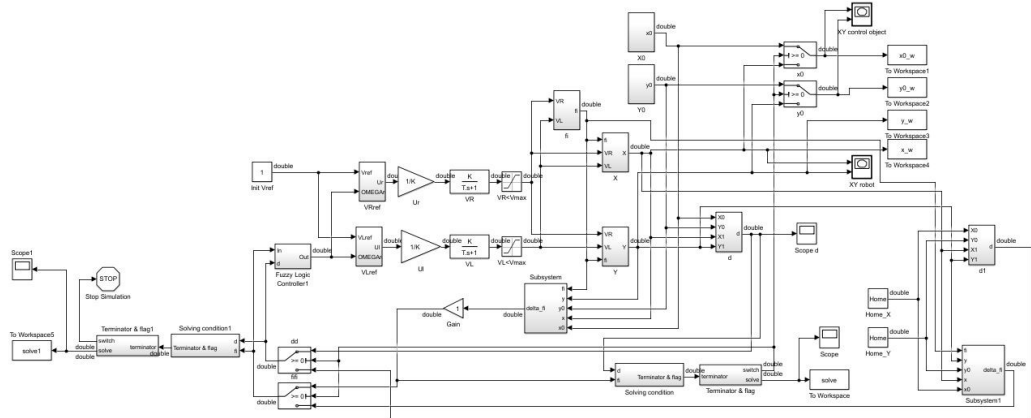


Рис. 37 Схема управления мобильным роботом

Проведём эксперименты в соответствии параметрами из таблицы 3.

- а. Моделирование проводится при  $\theta_0 = -7 \cdot \pi / 12$ ,  $x_0 = 1000$ ,  $y_0 = 1000$  (рис. 38)

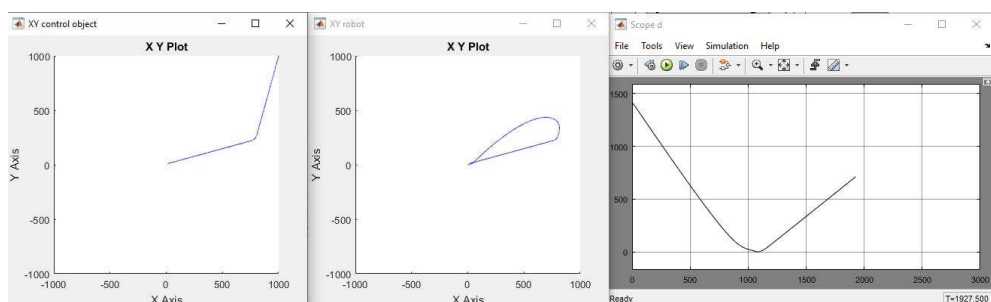


Рис. 38 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1927.5с.

б. Моделирование проводится при  $\dot{f}_0=0.01$ ,  $x_0=-1000$ ,  $y_0=0$  (рис. 39)

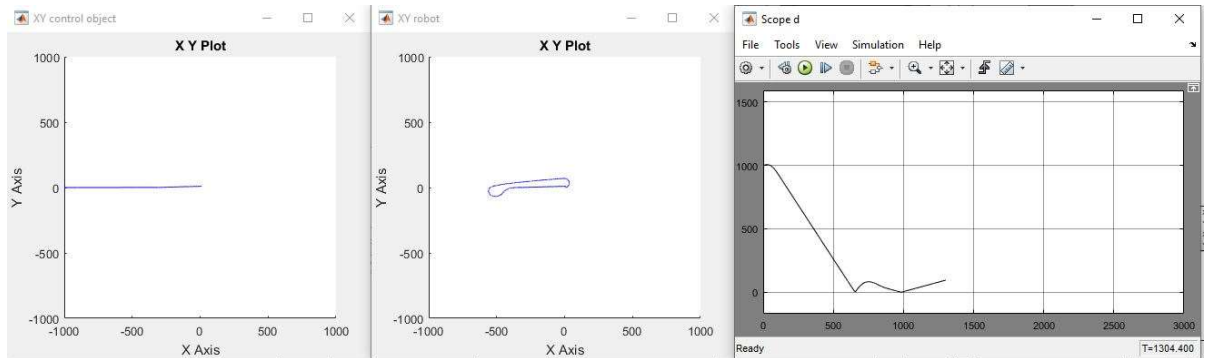


Рис. 39 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1304.4с.

с. Моделирование проводится при  $\dot{f}_0=-\pi/2$ ,  $x_0=0$ ,  $y_0=1000$  (рис. 40)

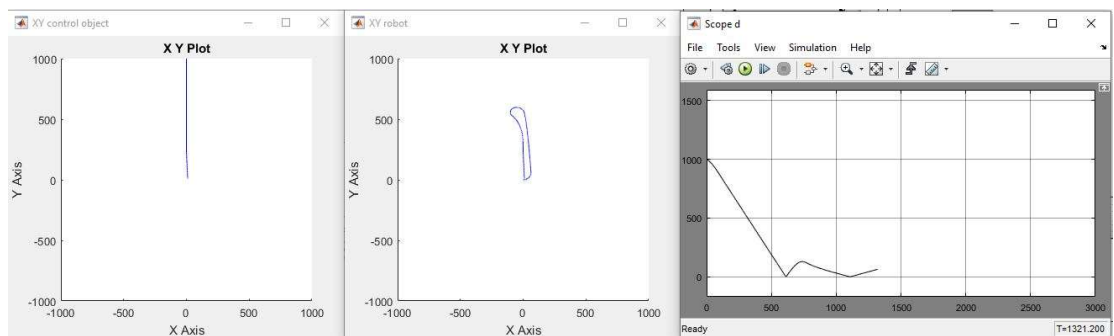


Рис. 40 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1321.2с.

д. Моделирование проводится при  $\dot{f}_0=\pi/3$ ,  $x_0=250$ ,  $y_0=250$  (рис. 41)

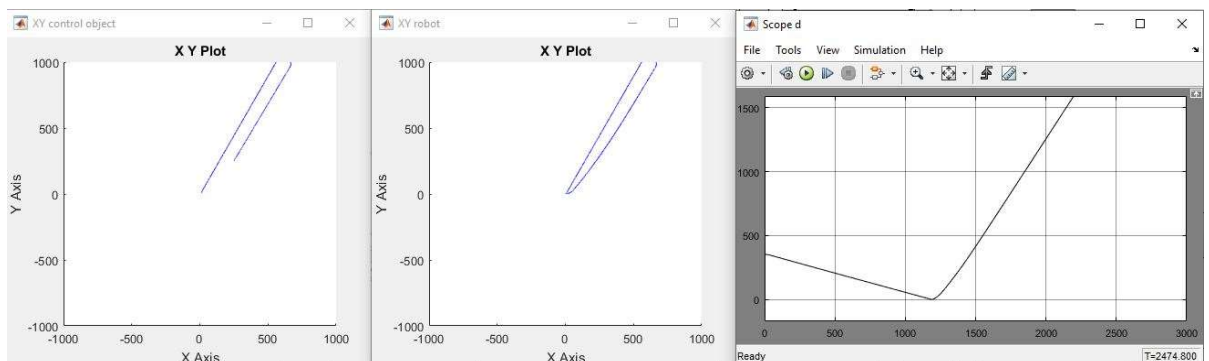


Рис. 41 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 2478.8с.

е. Моделирование проводится при  $\varphi_0 = \pi/3$ ,  $x_0 = -1000$ ,  $y_0 = -250$  (рис. 42)

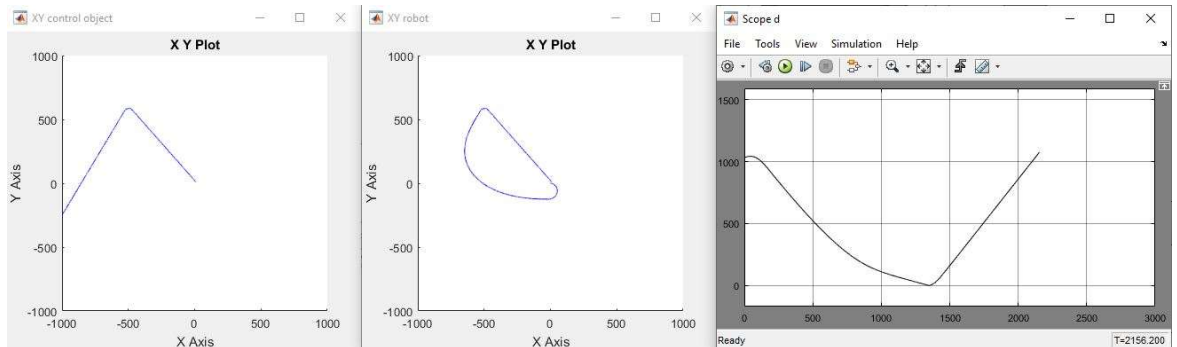


Рис. 42 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 2156.2с.

**Вывод:** добавленные в схему изменения решили поставленную задачу, робот после «обезвреживания» объекта возвращается в позицию «Home».

Реализуем систему управления мобильным роботом с помощью нечёткой логики по методу наведения с углом опережения. Идея заключается в том, в любой момент времени вектор скорости робота направлен не прямо на объект, а с некоторым постоянным углом опережения. Сравним времена переходных процессов при данном методе наведения робота с методом «собачьей погони».

Для реализации системы управления мобильным роботом с помощью нечёткой логики по методу наведения с углом опережения необходимо сделать корректировку угла наведения, схема представлена на рисунке 43.

Принцип работы данной схемы заключается в переключении способа корректировки угла наведения в зависимости от начального положения объекта по средствам блока «switch» 8. На первый его вход подается значение угла  $\Delta \varphi$  с отрицательной корректировкой (через сумматор), на третий вход – с положительной. На второй вход подаётся сигнал переключения ключа в зависимости от сигнала элементов сравнения (которые путём сравнения определяют положения объекта).

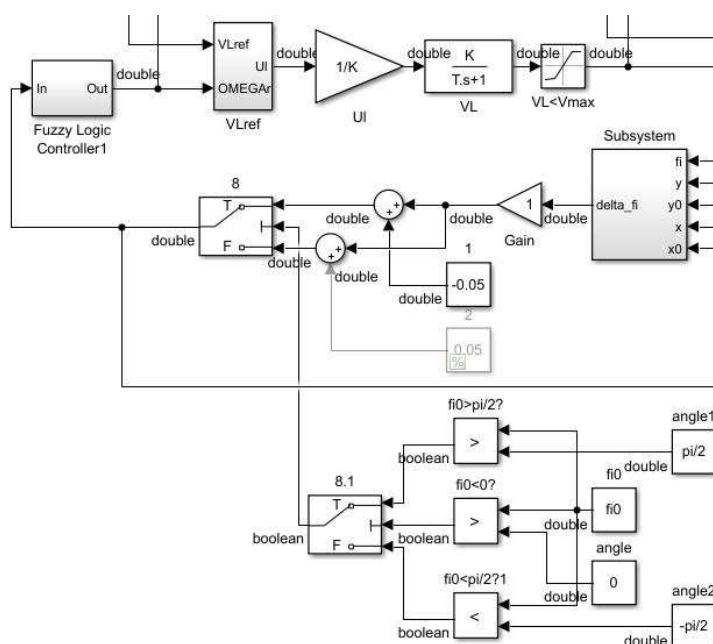


Рис. 43 Схема реализации навигации с углом опережения

Таблица 3 Сравнение времени переходных процессов

График движения объекта	Значение параметров движения объекта			Время переходного процесса при «собачьей погоне», t, с	Время переходного процесса при «опережении», t, с
	$\dot{\varphi}_0$ , рад	$x_0$ , м	$y_0$ , м		
	$-7\pi/12$	1000	1000	1075.200	1050.4
	0.01	-1000	0	1025.800	1025.800
	$-\pi/2$	0	1000	1179.100	1179.100
	$\pi/3$	250	250	1203.400	1203.400
	$\pi/3$	-1000	-250	1528.500	1528.500

Проведём эксперименты в соответствии параметрами из таблицы 3.

- а. Моделирование проводится при  $\dot{\varphi}_0 = -7\pi/12$ ,  $x_0 = 1000$ ,  $y_0 = 1000$  (рис. 44)

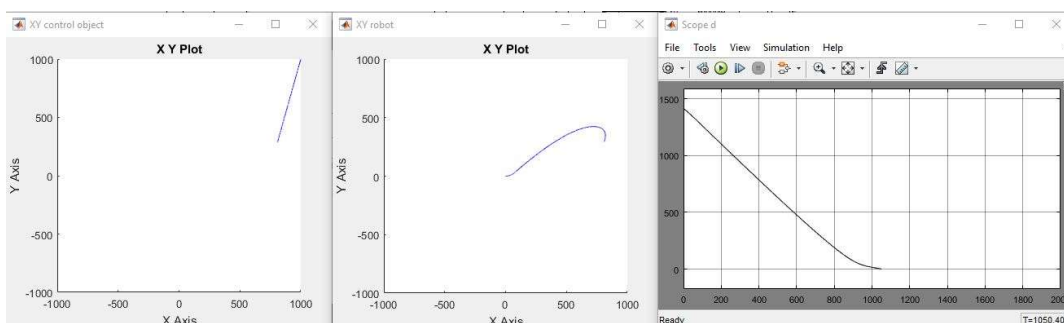


Рис. 44 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1050.4с.

- б. Моделирование проводится при  $\dot{\varphi}_0 = 0.01$ ,  $x_0 = -1000$ ,  $y_0 = 0$  (рис. 45)

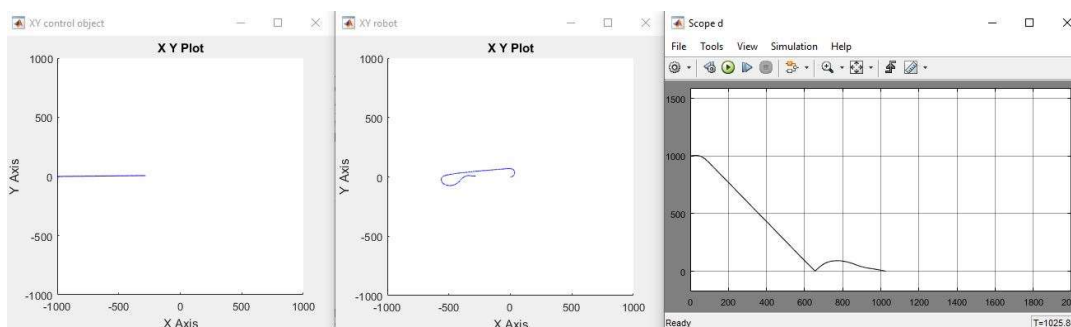


Рис. 45 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1025.8с.

- с. Моделирование проводится при  $\dot{\varphi}_0 = -\pi/2$ ,  $x_0 = 0$ ,  $y_0 = 1000$  (рис. 46)

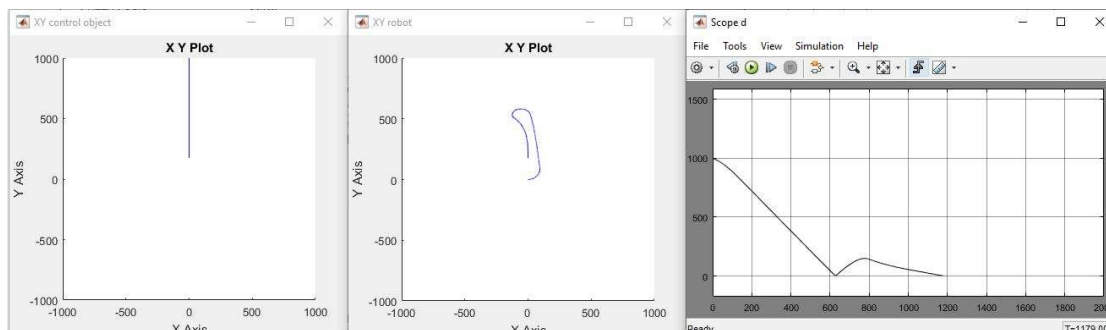


Рис. 46 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1179с.

d. Моделирование проводится при  $\dot{\varphi}_0=\pi/3$ ,  $x_0=250$ ,  $y_0=250$  (рис. 47)

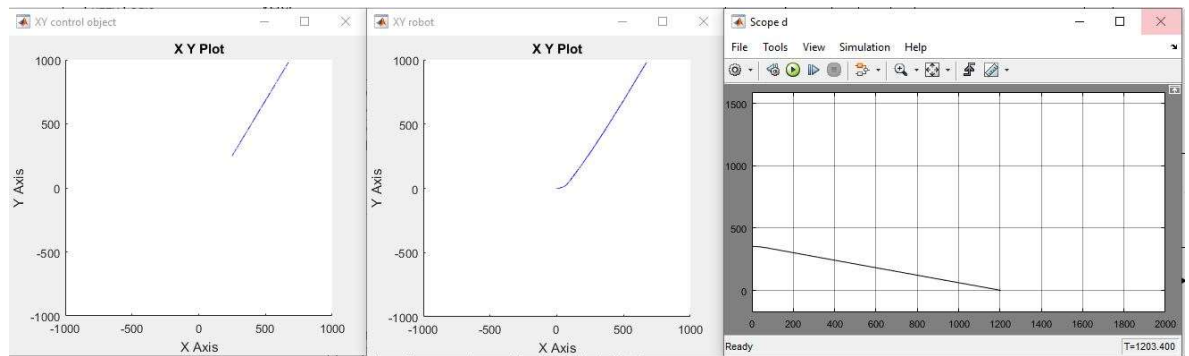


Рис. 47 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1203.4с.

e. Моделирование проводится при  $\dot{\varphi}_0=\pi/3$ ,  $x_0=-1000$ ,  $y_0=-250$  (рис. 48)

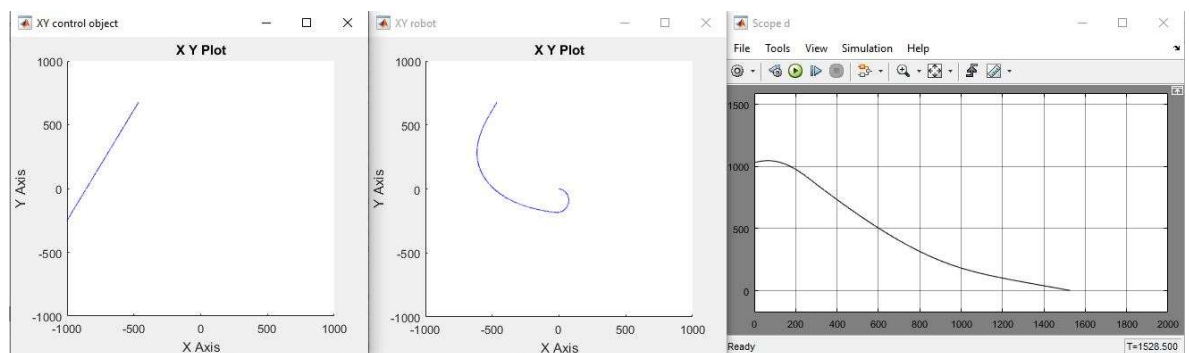


Рис. 48 Графики движения объекта и робота, график переходного процесса (слева на право соответственно)

Время переходного процесса 1528.5с.

**Вывод:** на основании таблицы 3 можно сказать, что метод наведения с углом опережения работает быстрее чем метод «погони».