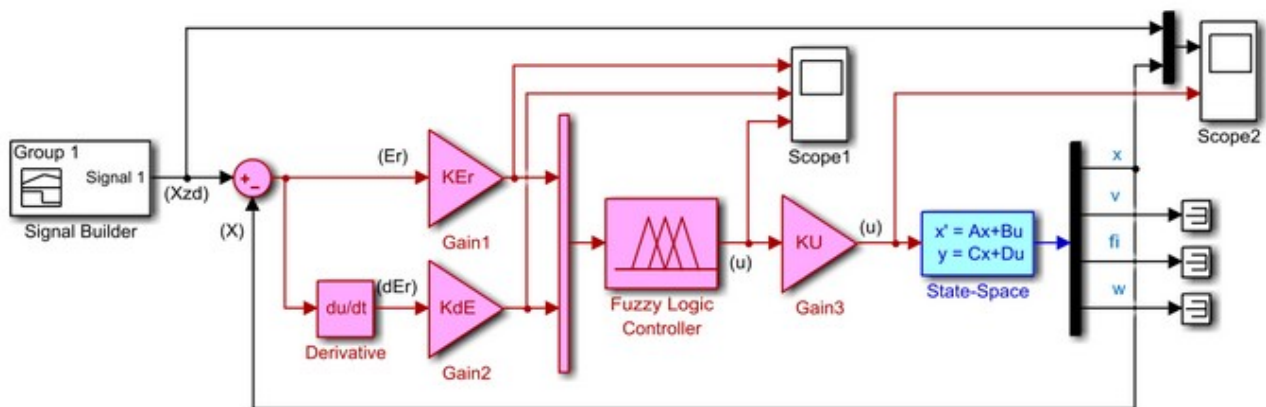
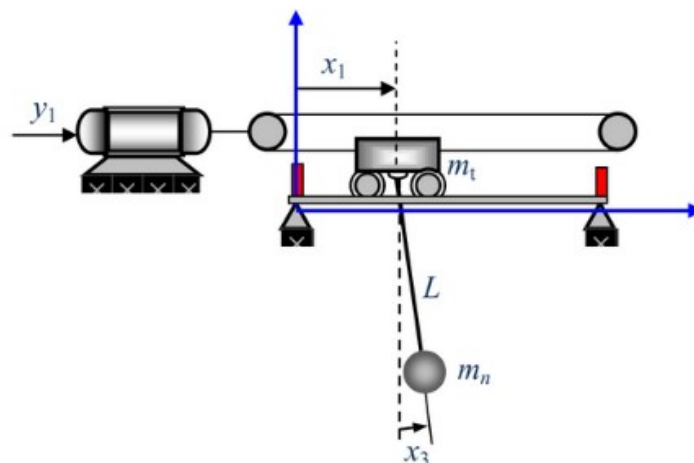


1. Борискин М.А.
2. 3341506/90401
3. 15.11.2020
4. Разработка нечёткой системы управления тележкой мостового крана.
5. Изучение особенностей разработки нечётких регуляторов. Синтез simulink-модели нечёткой системы управления тележкой мостового крана и её исследование.
6. Структурная схема исследуемой системы управления:



7. Уравнения динамики объекта управления в развёрнутом виде:

Объектом управления является электромеханическая система, состоящая из тележки массой  $m_t$ , груза с массой  $m_n$  на подвесе длиной  $L$  и электропривода (см. рис. 1).



Вариант работы: 9.

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{U}$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{C} \cdot \mathbf{X},$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & a_{43} & 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ b_2 \\ 0 \\ b_4 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$a_{23} = \frac{m_n}{m_t} \cdot g; \quad a_{43} = -\frac{(m_n + m_t)}{m_t \cdot L} \cdot g; \quad b_2 = \frac{k_p}{m_t}; \quad b_4 = -\frac{k_p}{m_t \cdot L};$$

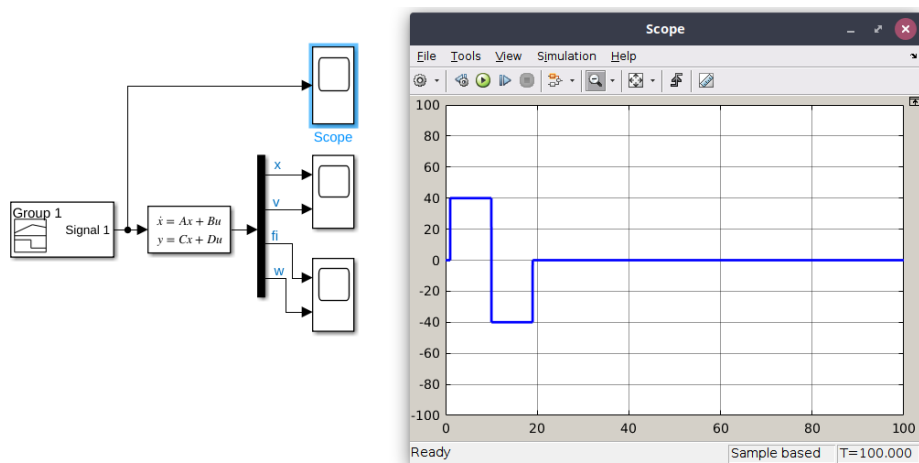
где  $\mathbf{X}$  – вектор состояния с компонентами:  $x_1 = x$  – перемещение тележки, м;  $x_2 = \dot{x}_1 = V$  – скорость перемещения тележки, м/с;  $x_3 = \varphi$  – угол отклонения груза на подвесе, рад;  $x_4 = \dot{x}_3 = \omega$  – угловая скорость груза, рад/с;

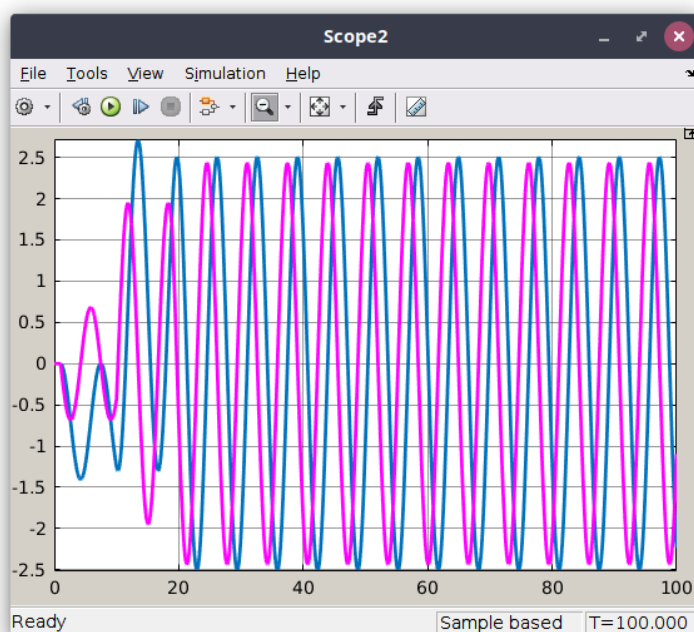
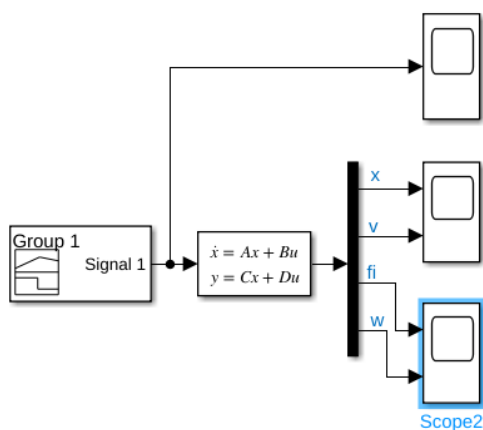
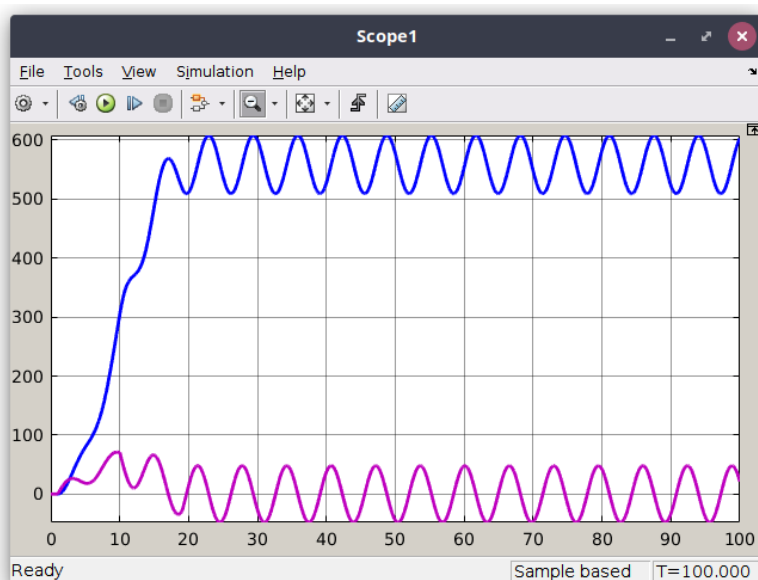
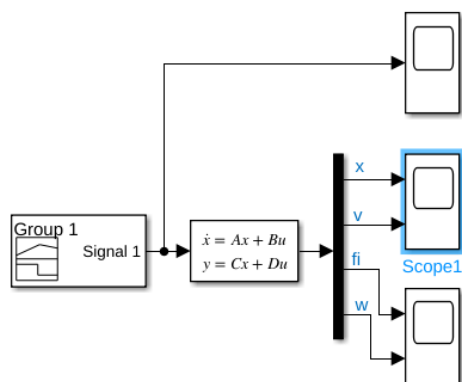
$\mathbf{U}$  – вектор управления. Единственным управляющим воздействием на систему является напряжение, приложенное к двигателю тележки:  $u_1 = u$ , В;

$\mathbf{Y}$  – вектор выхода. Выходными (измеряемыми) переменными системы являются все компоненты вектора состояния.

$k_p$  – передаточный коэффициент электропривода, Н/м.

Реакция объекта управления на ступенчатые управляющие воздействия:



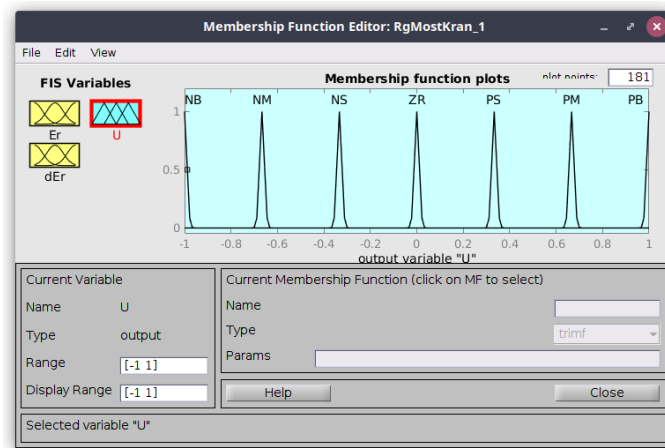
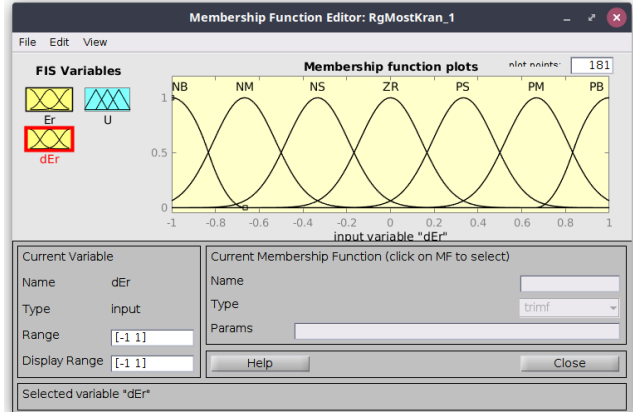
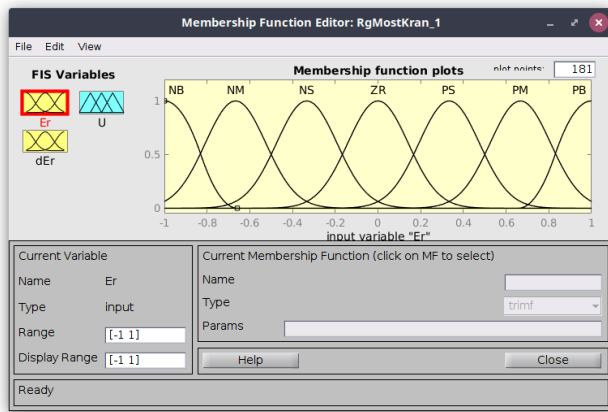


8. Графики функций принадлежности термов входных и выходных переменных нечёткого регулятора, которые соответствуют наилучшему качеству переходного процесса:

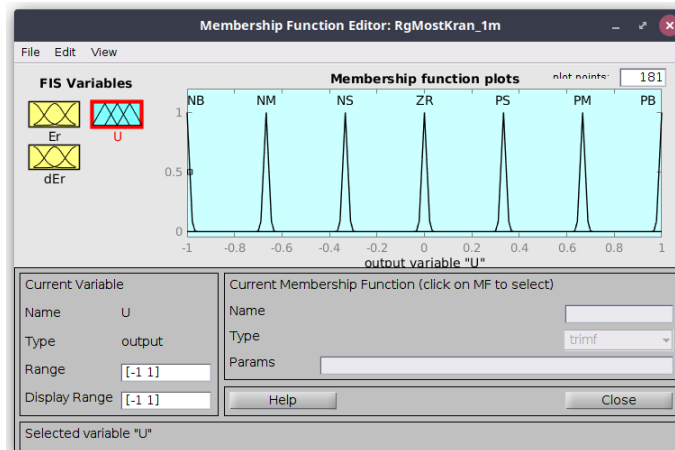
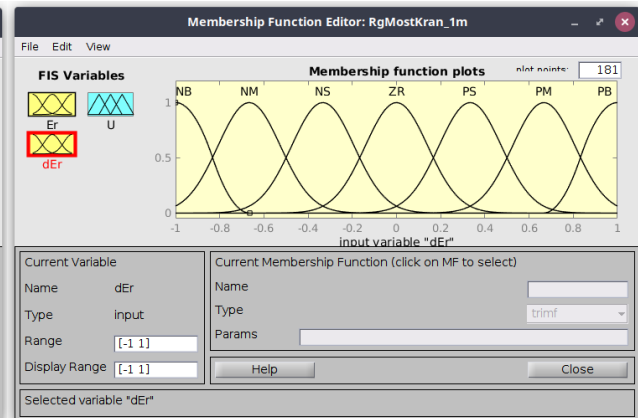
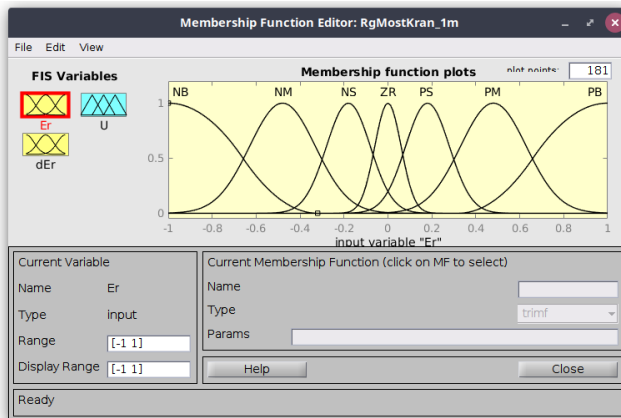
а также

11. Графики переходного процесса нечёткой системы управления тележкой мостового крана (задающее воздействие, регулируемая координата, ошибка регулирования, управляющее воздействие):

1:

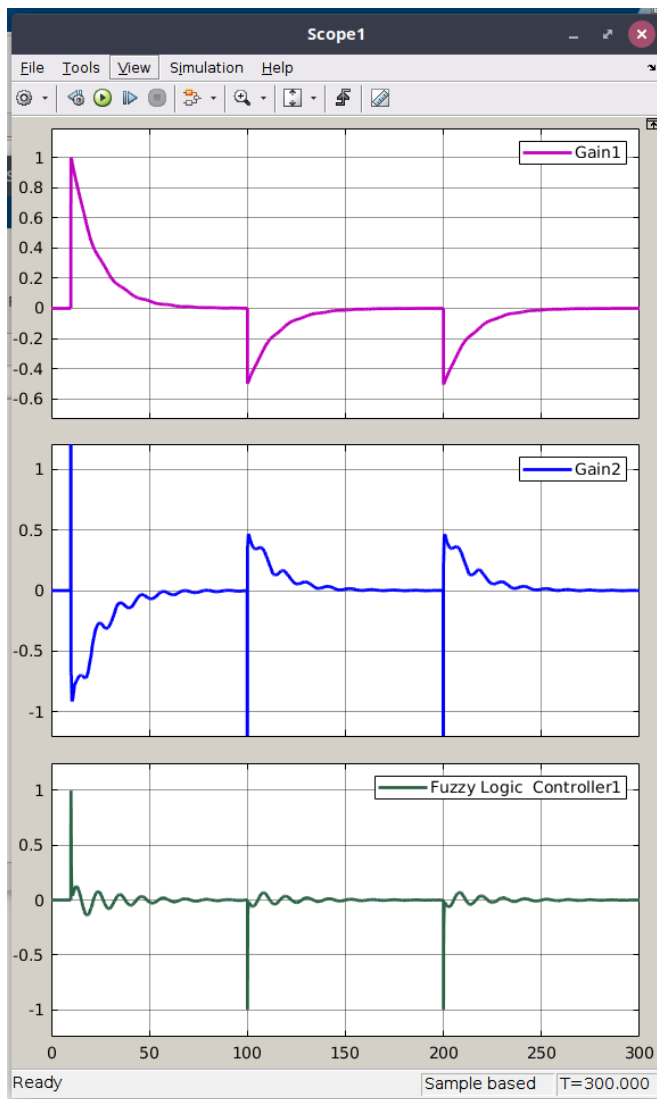


2:

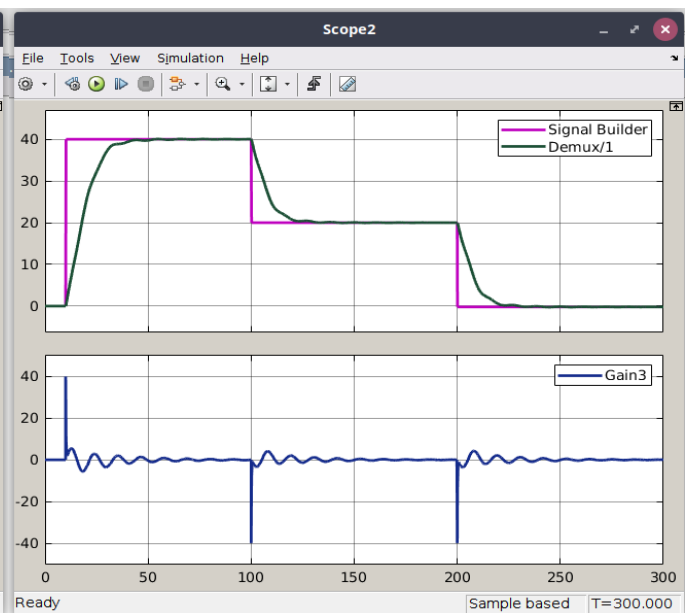
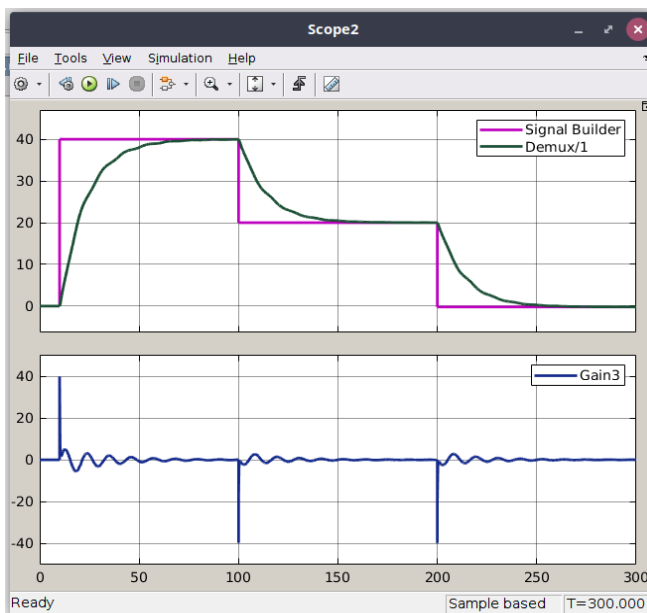
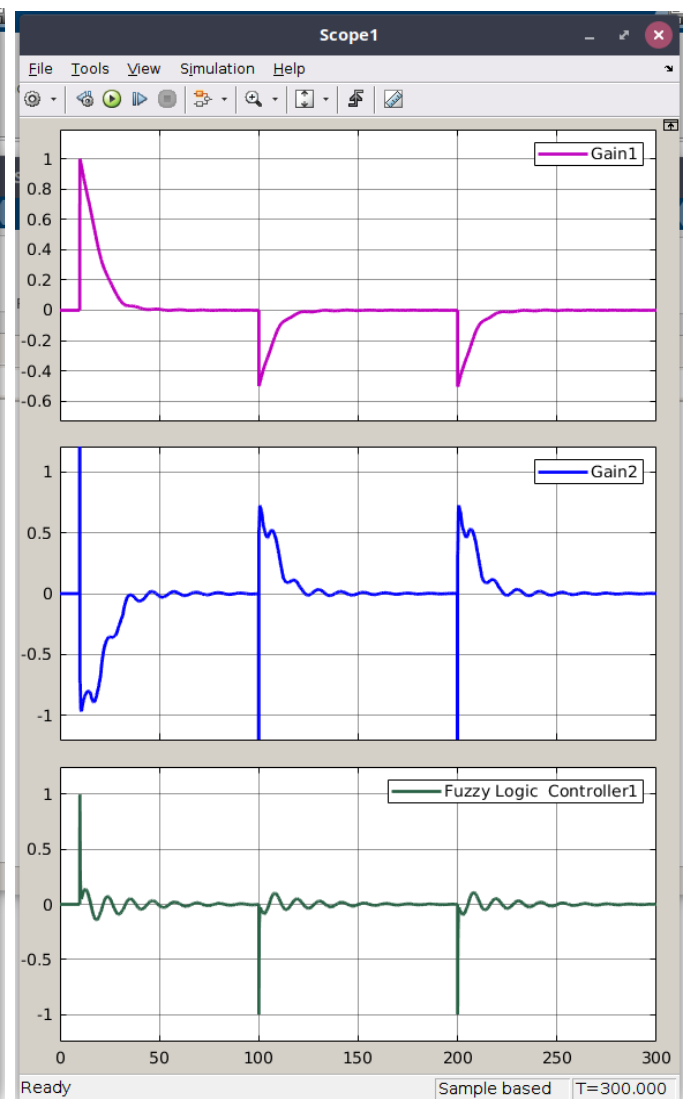


Сравнение:

1:



2:



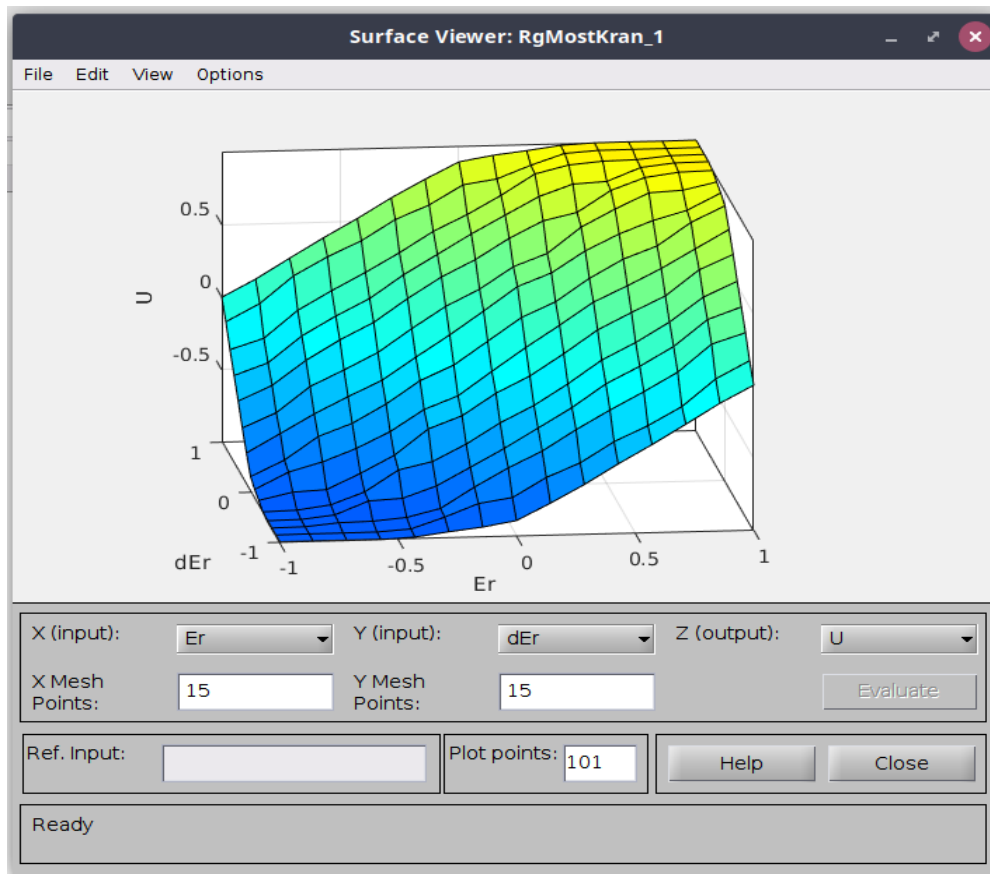
Видно, что перерегулирование больше во втором случае, то есть переходный процесс более качественный. Следовательно, графики функций принадлежности термов входных и выходных переменных нечёткого регулятора, которые соответствуют наилучшему качеству переходного процесса – это графики под цифрой “2”.

9. База правил нечётких продукций, реализующая исследуемый алгоритм управления, которая соответствует наилучшему качеству переходного процесса:

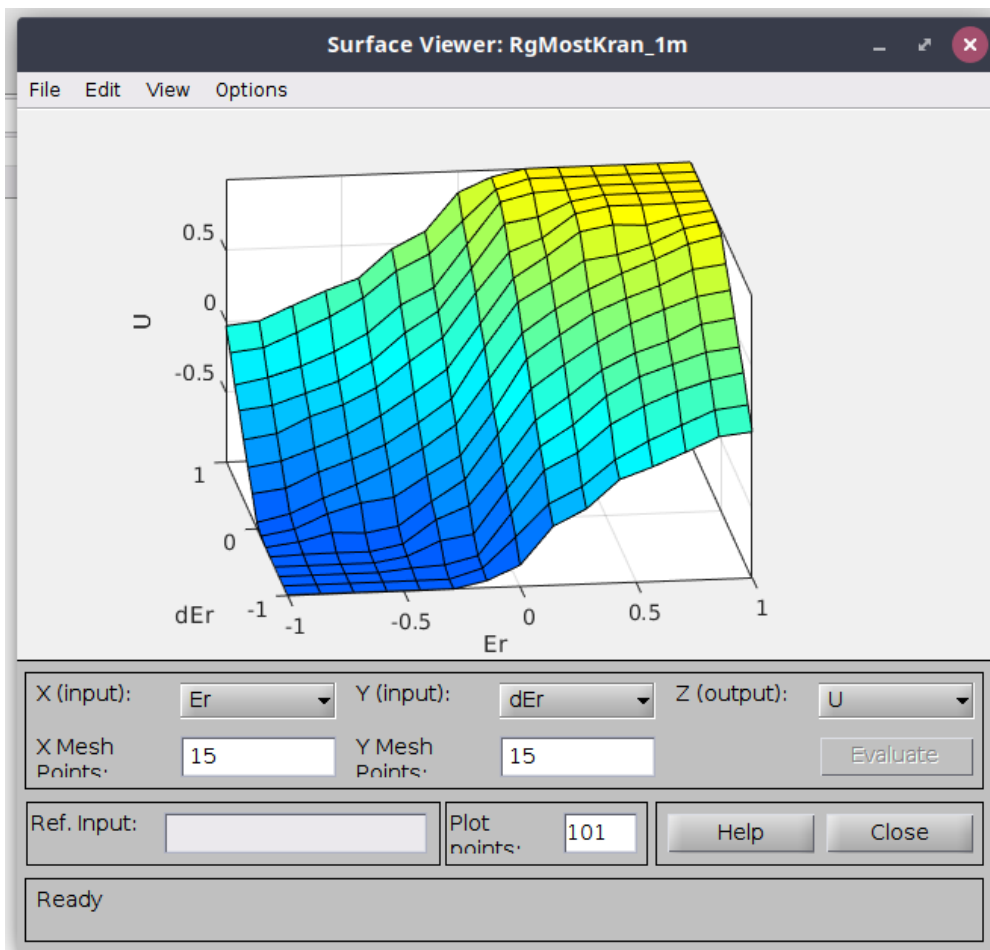
1. (Er==NB) & (dEr==NB) => (U=NB) (1)	22. (Er==ZR) & (dEr==NB) => (U=NB) (1)
2. (Er==NB) & (dEr==NM) => (U=NB) (1)	23. (Er==ZR) & (dEr==NM) => (U=NM) (1)
3. (Er==NB) & (dEr==NS) => (U=NB) (1)	24. (Er==ZR) & (dEr==NS) => (U=NS) (1)
4. (Er==NB) & (dEr==ZR) => (U=NB) (1)	25. (Er==ZR) & (dEr==ZR) => (U=ZR) (1)
5. (Er==NB) & (dEr==PS) => (U=NM) (1)	26. (Er==ZR) & (dEr==PS) => (U=PS) (1)
6. (Er==NB) & (dEr==PM) => (U=NS) (1)	27. (Er==ZR) & (dEr==PM) => (U=PM) (1)
7. (Er==NB) & (dEr==PB) => (U=ZR) (1)	28. (Er==ZR) & (dEr==PB) => (U=PB) (1)
8. (Er==NM) & (dEr==NB) => (U=NB) (1)	29. (Er==PS) & (dEr==NB) => (U=NM) (1)
9. (Er==NM) & (dEr==NM) => (U=NB) (1)	30. (Er==PS) & (dEr==NM) => (U=NS) (1)
10. (Er==NM) & (dEr==NS) => (U=NB) (1)	31. (Er==PS) & (dEr==NS) => (U=ZR) (1)
11. (Er==NM) & (dEr==ZR) => (U=NM) (1)	32. (Er==PS) & (dEr==ZR) => (U=PS) (1)
12. (Er==NM) & (dEr==PS) => (U=NS) (1)	33. (Er==PS) & (dEr==PS) => (U=PM) (1)
13. (Er==NM) & (dEr==PM) => (U=ZR) (1)	34. (Er==PS) & (dEr==PM) => (U=PB) (1)
14. (Er==NM) & (dEr==PB) => (U=PS) (1)	35. (Er==PS) & (dEr==PB) => (U=PB) (1)
15. (Er==NS) & (dEr==NB) => (U=NB) (1)	36. (Er==PM) & (dEr==NB) => (U=NS) (1)
16. (Er==NS) & (dEr==NM) => (U=NB) (1)	37. (Er==PM) & (dEr==NM) => (U=ZR) (1)
17. (Er==NS) & (dEr==NS) => (U=NM) (1)	38. (Er==PM) & (dEr==NS) => (U=PS) (1)
18. (Er==NS) & (dEr==ZR) => (U=NS) (1)	39. (Er==PM) & (dEr==ZR) => (U=PM) (1)
19. (Er==NS) & (dEr==PS) => (U=ZR) (1)	40. (Er==PM) & (dEr==PS) => (U=PB) (1)
20. (Er==NS) & (dEr==PM) => (U=PS) (1)	41. (Er==PM) & (dEr==PM) => (U=PB) (1)
21. (Er==NS) & (dEr==PB) => (U=PM) (1)	42. (Er==PM) & (dEr==PB) => (U=PB) (1)
43. (Er==PB) & (dEr==NB) => (U=ZR) (1)	
44. (Er==PB) & (dEr==NM) => (U=PS) (1)	
45. (Er==PB) & (dEr==NS) => (U=PM) (1)	
46. (Er==PB) & (dEr==ZR) => (U=PB) (1)	
47. (Er==PB) & (dEr==PS) => (U=PB) (1)	
48. (Er==PB) & (dEr==PM) => (U=PB) (1)	
49. (Er==PB) & (dEr==PB) => (U=PB) (1)	

10. Поверхность «входы-выход» нечёткого регулятора:

1:



2:



12. Численные значения показателей качества переходного процесса:

Время переходного процесса:

Для 1:

~62,4 с

Для 2:

~40,2 с

Перерегулирование:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h_{\max}}{h_{уст}} \cdot 100 \%$$

Для 1:

~28.5%

Для 2:

~37.0%

***Исследование влияния масштабирующих коэффициентов K<sub>E</sub>, K<sub>d</sub>E, K<sub>U</sub> на характер поверхности «входы-выход» нечёткого регулятора и качество переходного процесса системы управления\*.***

\*В ходе работы выяснилось, что изменение характера лингвистических правил нечётких продукций, весовых коэффициентов правил, типа и параметров функций принадлежности термов входных и выходных переменных не вносят существенных изменений в вид ф-й переходного процесса.

Логично предположить, что на качество переходного процесса оказывают наибольшее влияние изменение масштабирующих коэффициентов K<sub>E</sub> – отвечает за частотность переходного процесса, K<sub>d</sub>E – отвечает за амплитуду процесса, K<sub>U</sub> – отвечает за изменение числа колебаний в переходном процессе.

По дефолту были заданы следующие масштабирующие коэффициенты:

```
% Масштабирование сигналов нечёткого регулятора
KEr = 1/40;
KdE = 1/3;
KU = 40;
```

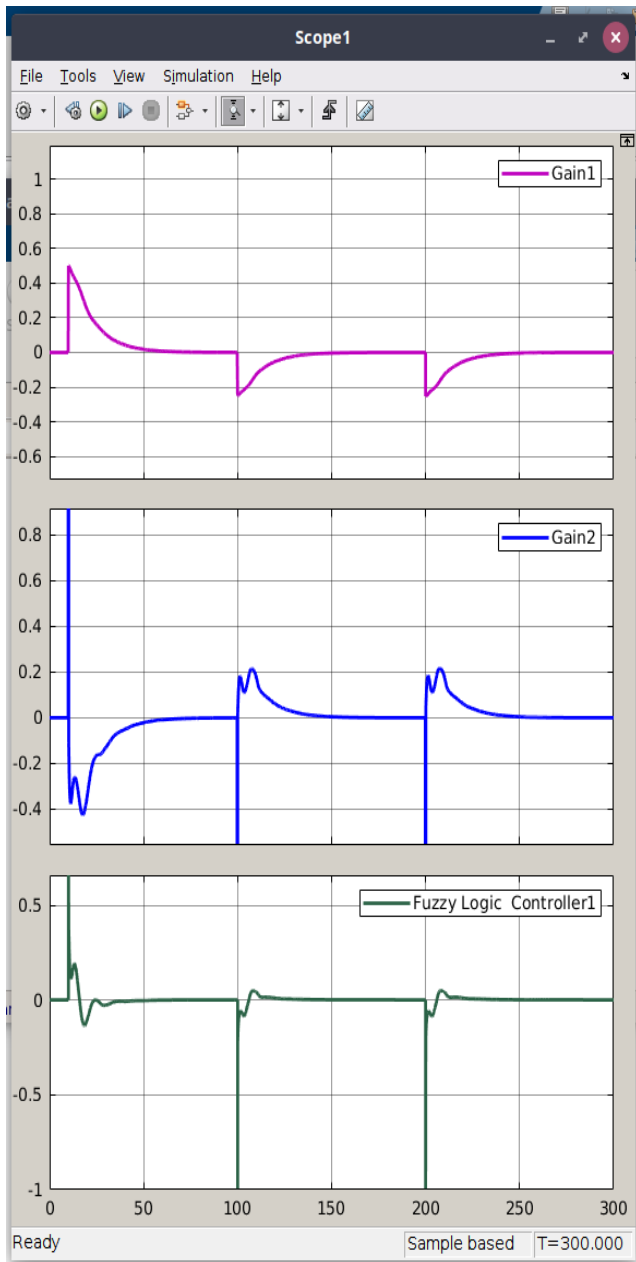
Зададим другие следующим образом:

```
% Масштабирование сигналов нечёткого регулятора
KEr = 1/80;
KdE = 1/6;
KU = 20;
```

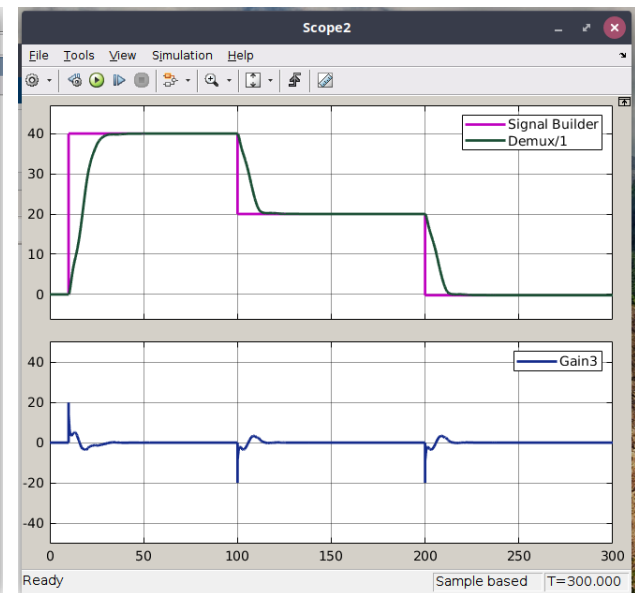
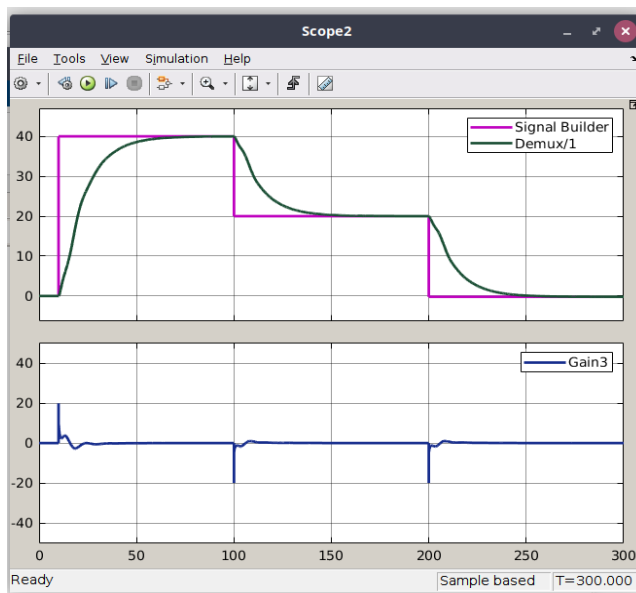
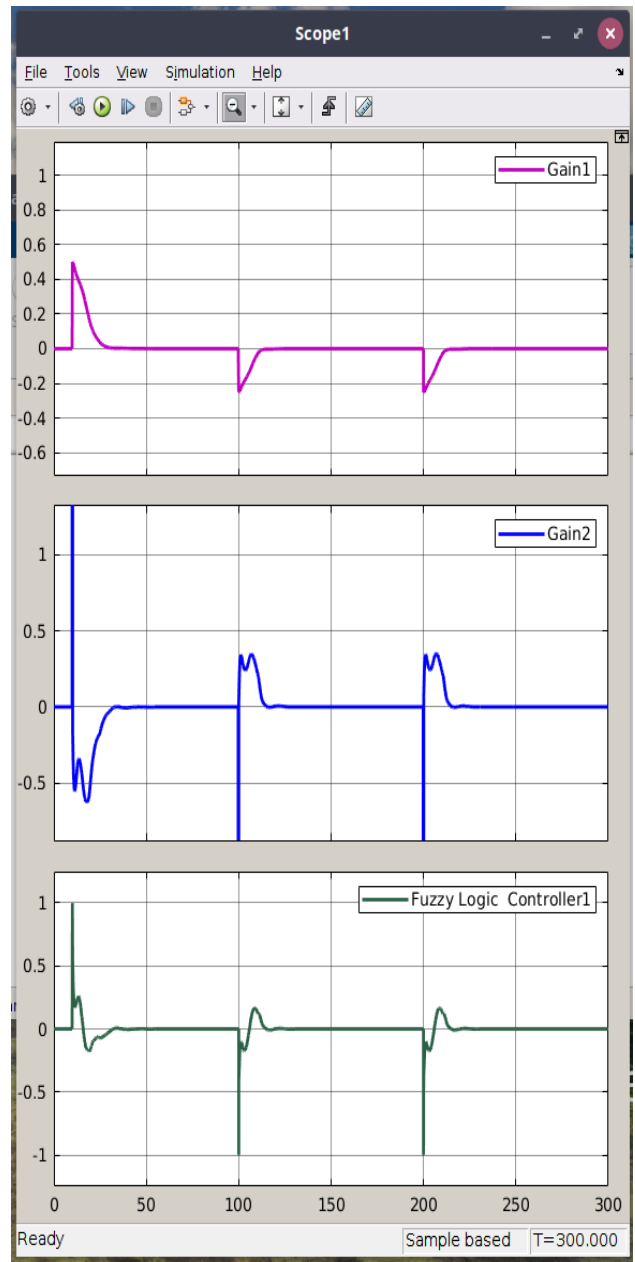
Получим:



1:



2:



Видно, что в обоих случаях характеристики переходного процесса реакции на воздействие стали заметно лучше.

### 13. Выводы по работе:

В ходе выполнения данной работы было показано, что в случае, если нечеткая система состоит из большого количества правил, то существенное влияние на качество и вид переходного процесса оказывает только изменение масштабирующих коэффициентов.

Пакет инструментов Fuzzy Logic Toolbox позволяет работать с системами с большим набором нечетких правил.