****

Институт информационных и вычислительных технологий

Кафедра управления и интеллектуальных технологий

**Отчет по лабораторной работе №5**

**По курсу «Нейрокомпьютеры и их применение»**

**«Синтез нейросетевого оптимального регулятора»**

Выполнили студенты: Михайловский Михаил, Озеров Сергей

Группа: А-03-21

Проверил: Колпинский Сергей Викторович

**Москва 2024**

Оглавление

[Исследование имеющегося контура управления 3](#_Toc163664389)

[Синтез нейрорегулятора вне контура управления 4](#_Toc163664390)

[Сбор набора данных 4](#_Toc163664391)

[Обучение нейросетевого регулятора 5](#_Toc163664392)

[Обучение нейросетевой модели объекта 8](#_Toc163664393)

[Обучение нейросетевого регулятора в контуре управления 9](#_Toc163664394)

Исследование имеющегося контура управления

Имеется данный контур автоматического управления, представленный на рис. 1. В качестве регулятора используется ПИД-регулятор. Параметры ПИД-регулятора и объекта показаны на рис. 2, 3.

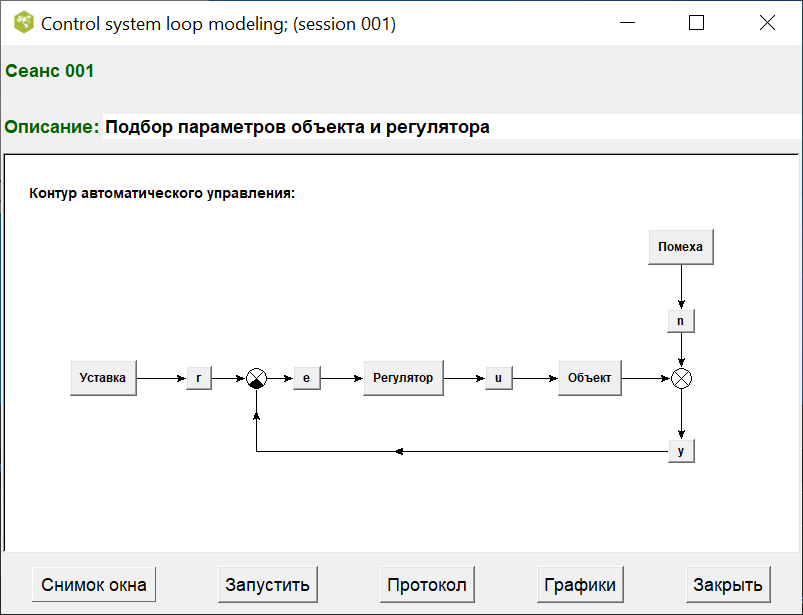


Рис. 1. Схема имеющегося контура автоматического управления

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 2. Параметры ПИД-регулятора | Рис. 3. Параметры объекта |

Получим переходную функцию системы автоматического управления (САУ). Для этого подадим на вход меандр (рис. 4), тогда на выходе получим переходную функцию (рис. 5).

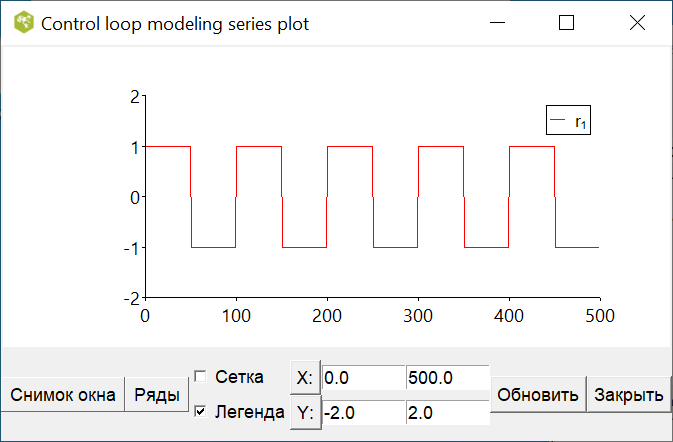


Рис. 4. Меандр, поданный на вход

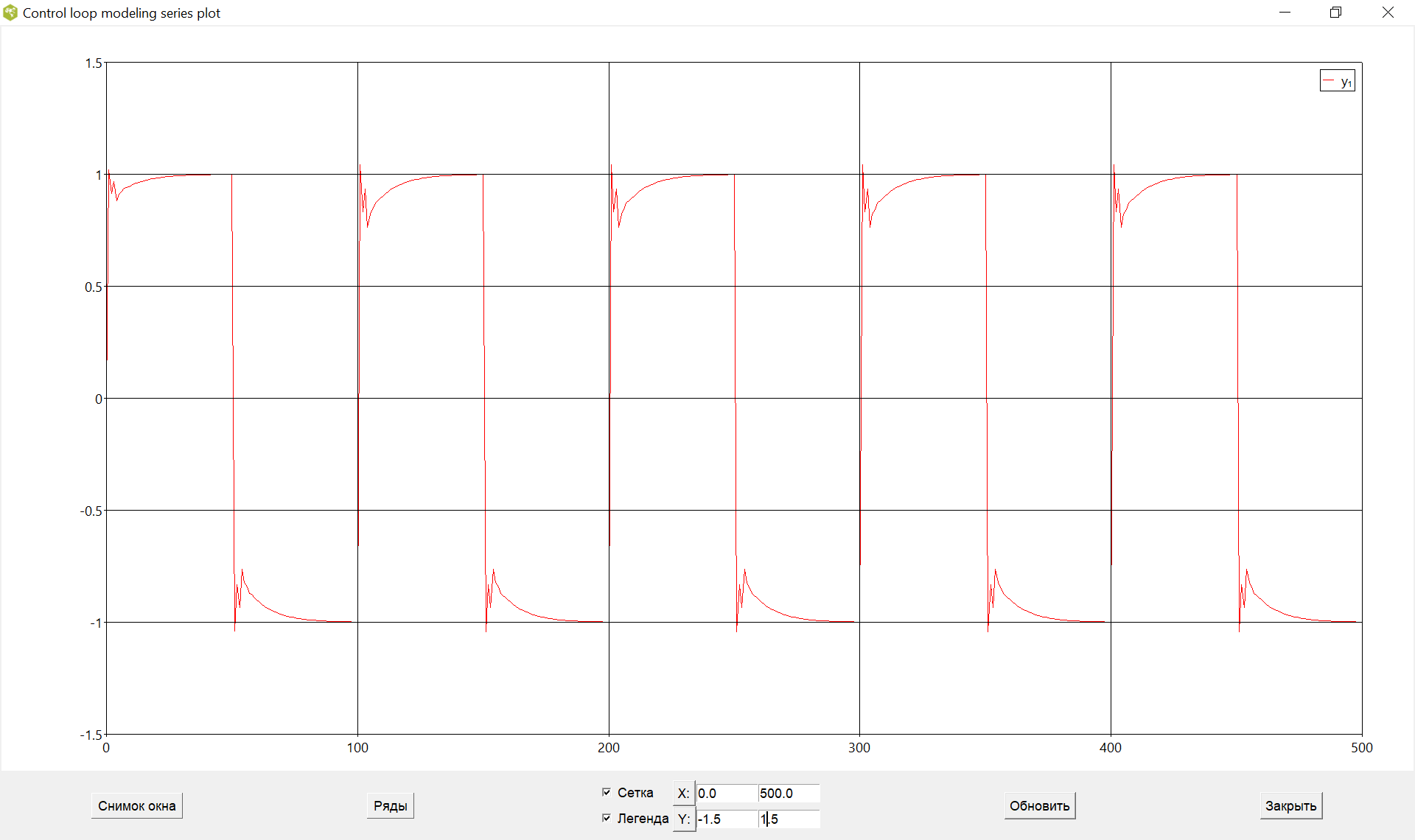


Рис. 5. Полученная переходная характеристика (ПХ)

Синтез нейрорегулятора вне контура управления

Сбор набора данных

Далее получили графики работы объекта, с заданным случайным входным сигналом (случайной уставкой) и помехой . Полученные графики изображены на рис. 6. Всего было записано 1000 значений.

Полученная выборка будет обучающей для последующего обучения искусственного нейросетевого регулятора (ИНС). Так же получим валидационную выборку размером в 100 значений (рис. 7).

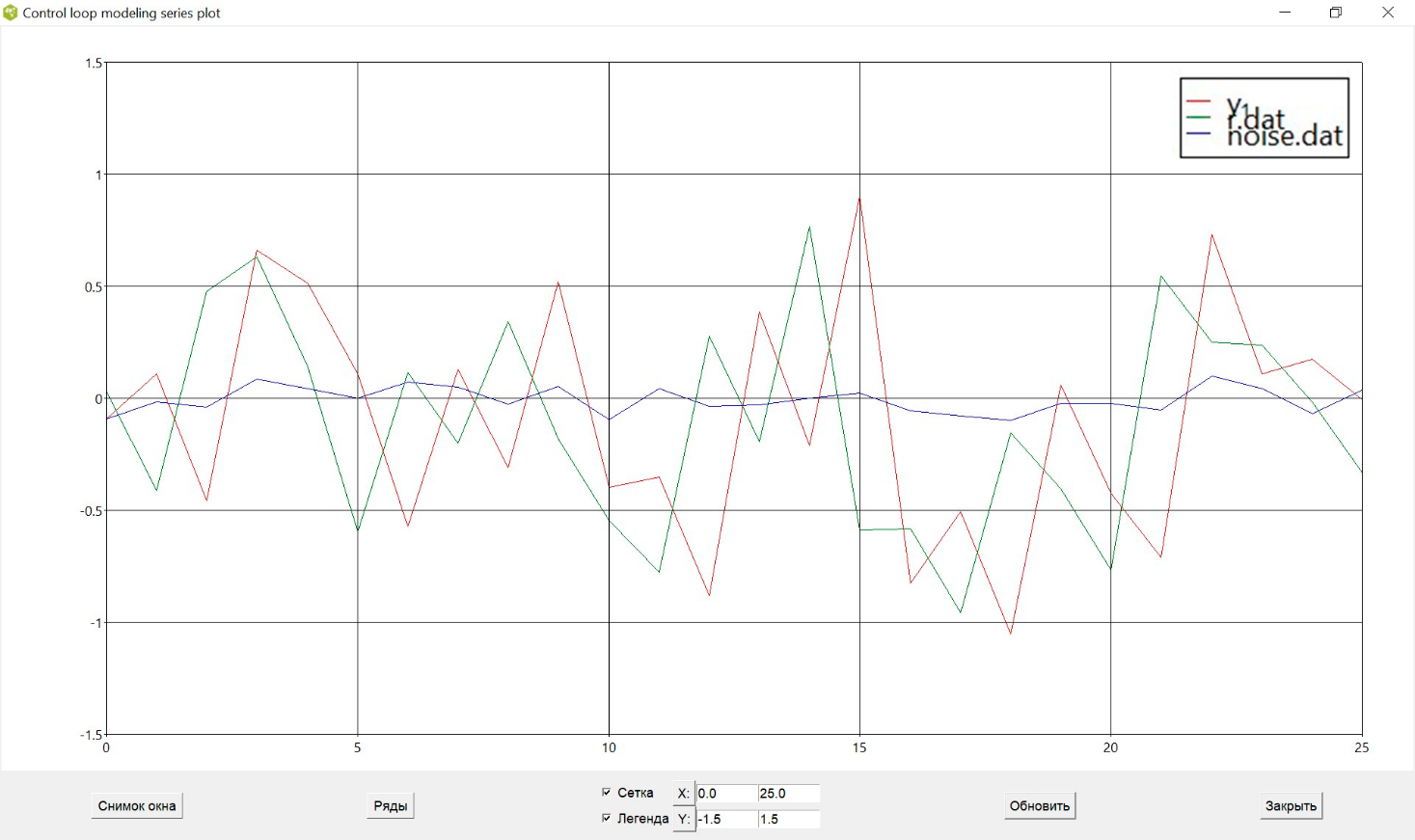


Рис. 6. Обучающая выборка работы объекта со случайным входным сигналом (1000 значений).

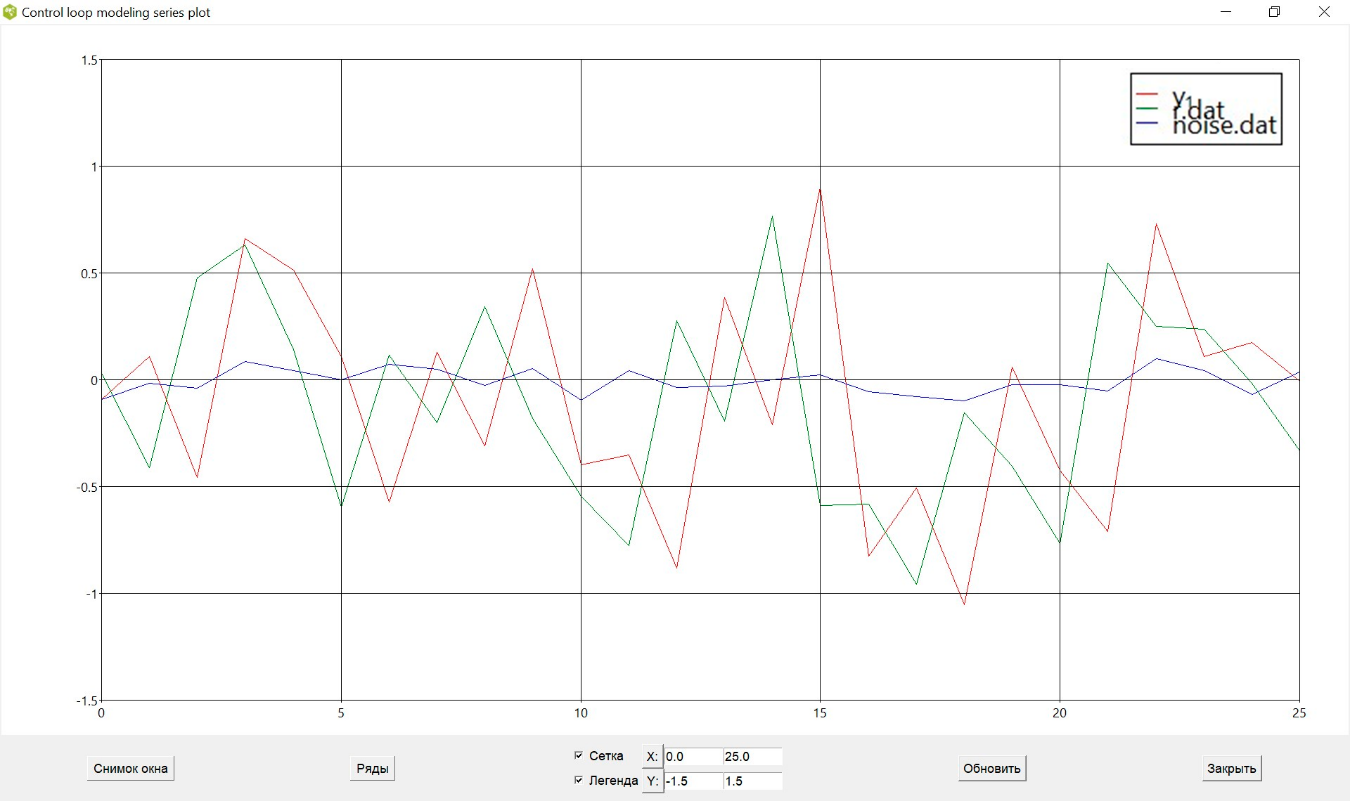


Рис. 7. Валидационная выборка работы объекта со случайным входным сигналом (100 значений).

Вид выходного сигнала похож на уставку со сдвигом и некоторой погрешностью.

Обучение нейросетевого регулятора

Схема обучения нейронной сети подразумевает то, что на вход нейросети подаётся сигнал, уставки и ошибки (рис. 8). По ошибке нейросеть учится предсказывать значения, которые выдаёт ПИД-регулятор. Во время обучения по валидационной выборке происходит проверка во избежание переобучения.

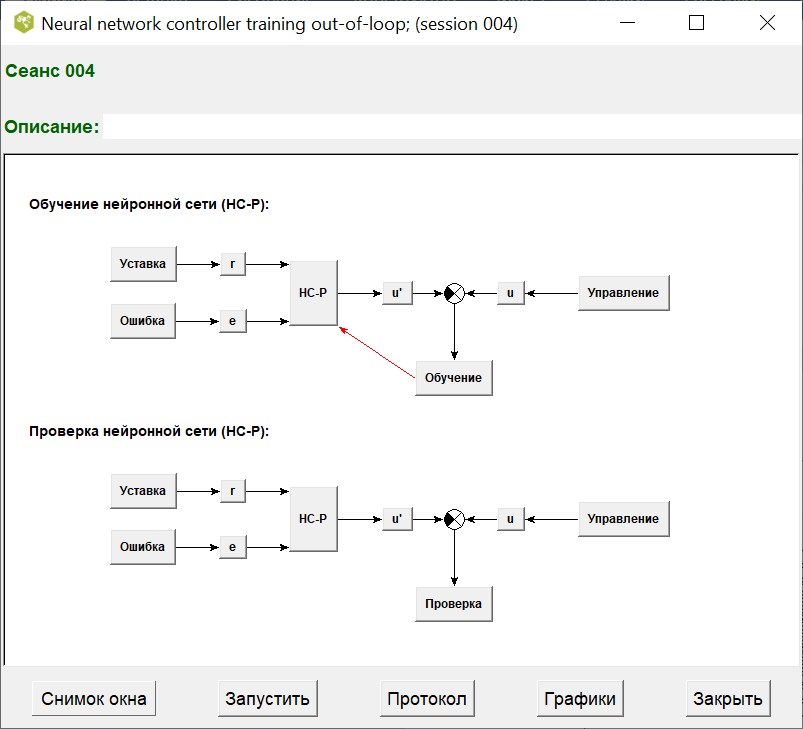


Рис. 8. Схема обучения нейросетевого регулятора

Было обучено 3 нейросетевых регулятора с различной структурой.

1 нейросеть. В качестве структуры первой нейросети был выбран двухслойный персептрон (рис. 9). График обучение изображён на рис. 10. При обучении была достигнута ошибка по валидационной выборке .

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 9. Структура 1-й нейросети | Рис. 10. Обучение 1-й нейросети |

2 нейросеть. В качестве структуры второй нейросети был выбран трёхслойный персептрон (рис. 11). График обучение изображён на рис. 12. При обучении была достигнута ошибка по валидационной выборке .

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 11. Структура 2-й нейросети | Рис. 12. Обучение 2-й нейросети |

3 нейросеть. В качестве структуры третьей нейросети был выбран однослойный персептрон (рис. 13). График обучение изображён на рис. 14. При обучении была достигнута ошибка по валидационной выборке

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 13. Структура 3-й нейросети | Рис. 14. Обучение 3-й нейросети |

4 нейросеть. В качестве структуры третьей нейросети был выбран однослойный персептрон с интегралом ошибки на входе (рис. 15). График обучение изображён на рис. 16. При обучении была достигнута ошибка по валидационной выборке .

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 15. Структура 4-й нейросети | Рис. 16. Обучение 4-й нейросети |

По метрике MSE 4-я нейросеть оказалась лучшей. Выбираем её для дальнейшего использования.

Смоделируем работу системы с обученным нейросетевым регулятором (рис. 17).

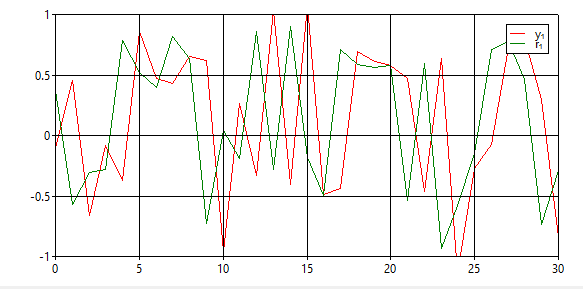


Рис. 17. График работы объекта с обученным нейросетевым регулятором

Как видим, выходной сигнал по виду похож на входной сигнал со сдвигом и некоторой погрешностью управления. То есть, характер управления ПИД-регулятора при стохастической уставке сымитирован.

Обучение нейросетевой модели объекта

Обучим нейросетевую модель объекта для предсказания выхода объекта и последующего дообучения нейрорегулятора. Для обучения будем использовать похожую схему с обучением нейрорегулятора (рис. 18).

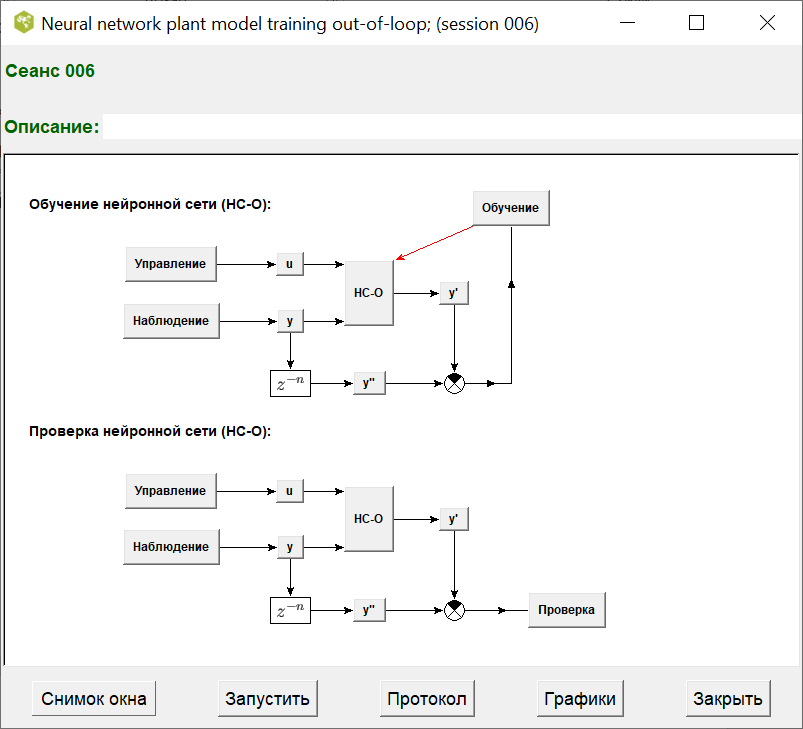


Рис. 18. Схема обучения нейросетевой модели объекта

1 нейросеть. В качестве структуры первой нейросети был выбран двухслойный персептрон (рис. 19). График обучение изображён на рис. 20. При обучении была достигнута ошибка по валидационной выборке .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Рис. 19. Структура 1-й нейросети |  | Рис. 20. Обучение 1-й нейросети |

2 нейросеть. В качестве структуры второй нейросети был выбран трёхслойный персептрон (рис. 21). График обучение изображён на рис. 22. При обучении была достигнута ошибка по валидационной выборке .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Рис. 21. Структура 2-й нейросети |  | Рис. 22. Обучение 2-й нейросети |

3 нейросеть. В качестве структуры третьей нейросети был выбран однослойный персептрон (рис. 23). График обучение изображён на рис. 24. При обучении была достигнута ошибка по валидационной выборке .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Рис. 23. Структура 3-й нейросети |  | Рис. 24. Обучение 3-й нейросети |

По метрике MSE тестовой выборки 3-я нейросеть оказалась лучшей. Выбираем её для дальнейшего использования.

Обучение нейросетевого регулятора в контуре управления

Дообучим нейросетевой регулятор в контуре управления по следующей схеме (рис. 25). Для этого выход нейросетевого регулятора подсоединяется ко входу нейросетевого объекта, и тогда по полученным предсказаниям значения объекта по методу обратного распространения ошибки можно подстраивать коэффициенты регулятора. Параллельно нейросетевой объект дообучается предсказывать значения реального объекта.

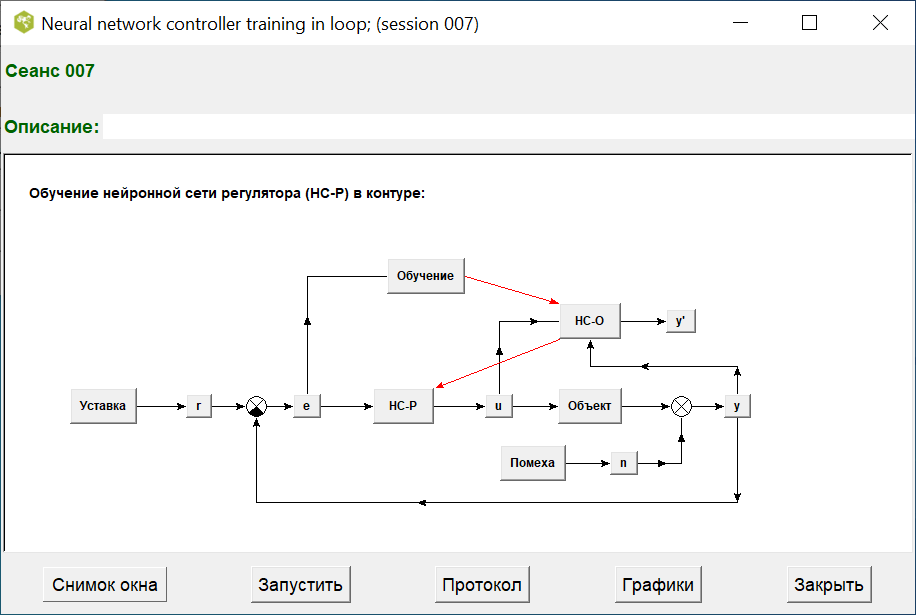


Рис. 25. Схема обучения нейросетевого регулятора в контуре управления

В результате дообучения по 1000 наблюдениям получаем следующий график обучения (рис. 26).

Как видим, обучение проходит медленно и значительного улучшения ошибки не удалось получить. Это связано с тем, что для дальнейшего обучения нужно использовать значительно больший объём обучающих данных.

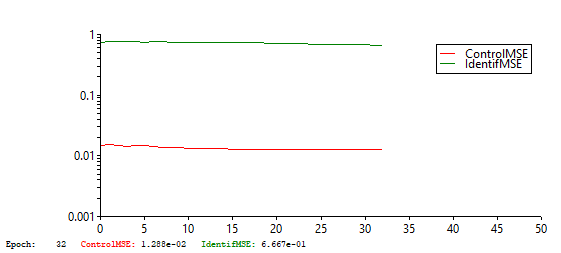


Рис. 26. График дообучения нейросетевого регулятора и объекта

Проверим работу полученного нейросетевого регулятора в замкнутом контуре при стохастической уставке (рис. 27).

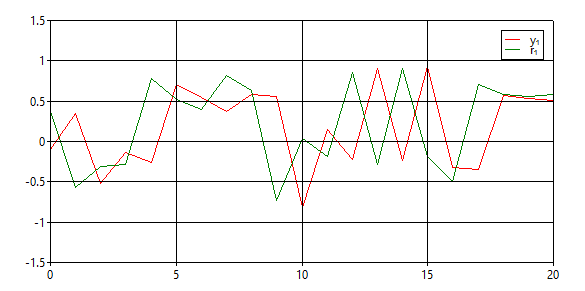


Рис. 27. Работа нейросетевого регулятора при стохастической уставке

Как видим, с задержкой в шаг дискретизации выход объекта повторяет значение уставки с небольшим отклонением. Посмотрим на переходную характеристику объекта (рис. 28).

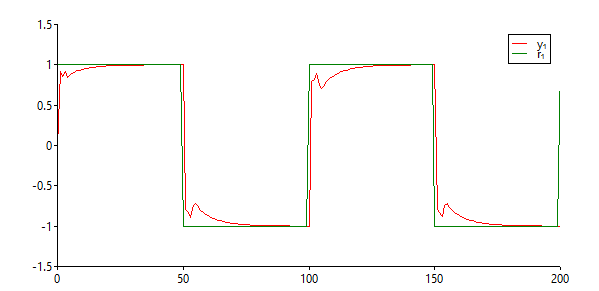


Рис. 28. Переходная характеристика объекта с синтезированным нейросетевым регулятором

Как видим, по виду полученная характеристика очень похожа на ПХ объекта с ПИД-регулятором. По сути, нейросетевой регулятор повторяет ПИ составляющую ПИД-регулятора. Дифференцирующая составляющая не может быть воспроизведена, поскольку нейросетевой регулятор не учитывает входное значение в предыдущий момент времени.

Если провести более глубокое обучение данной модели в контуре управления, то можно получить более хорошие характеристики регулирования, чем в изначальной САУ с ПИД-регулятором.