

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Український державний університет
науки і технологій**

Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

В авторській редакції

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ

Навчально-методичні рекомендації
до виконання курсового проекту

Електронне видання



ДНІПРО
2025

Упорядники:
О. Ю. Потап, М. О. Рибальченко

Електронне видання

Схвалено Групою забезпечення якості освітньої програми
«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»
Протокол № 6 від 07.01.2025

С 40 Системи управління зі штучним інтелектом : навчально-методичні рекомендації до виконання курсового проєкту / упоряд. О. Ю. Потап, М. О. Рибальченко ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 28 с.

Навчально-методичні рекомендації містять опис та методику виконання завдань, які підлягають опрацюванню під час виконання курсового проєкту з дисципліни «Системи управління зі штучним інтелектом». Наведені вихідні дані за варіантами та необхідна довідкова інформація.

Призначаються для студентів, які здобувають освітній ступінь магістра на освітній програмі «Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка».

Іл. 19. Табл. 4. Посилань: 2 назв.

ЗМІСТ

Передмова	4
1. Завдання та вихідні дані курсового проекту	5
2. Дослідження роботи нейромережного регулятора за схемою прямого інверсного управління	6
3. Дослідження роботи нейромережного регулятора за схемою прямого адитивного управління	10
4. Дослідження роботи нейромережного регулятора за схемою управління із внутрішньою моделлю	15
5. Структура пояснювальної записки	24
6. Критерії оцінювання курсового проекту	25
Список літератури	26
Додаток 1. Форма титульного аркуша пояснювальної записки	27

ПЕРЕДМОВА

Навчальним планом підготовки магістрів за спеціальністю 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка на освітній програмі «Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка» передбачене виконання курсового проєкту з навчальної дисципліни «Системи управління зі штучним інтелектом». Курсова робота охоплює навчальний матеріал дисципліни щодо застосування штучних нейронних мереж у системах автоматичного управління технологічними об'єктами автоматизації.

Виконання даного курсового проєкту має на меті досягнення здобувачами вищої освіти запланованого очікуваного результату навчання: «Вміти синтезувати системи автоматичного управління на базі нейрорегуляторів, моделювати та досліджувати їхню роботу з використанням спеціалізованих програмних засобів».

Виконання курсового проєкту базується на відповідному лекційному матеріалі та передбачає застосування студентами практичних навичок зі створення, навчання та тестування штучних нейронних мереж, що набуті ними під час виконання лабораторного практикуму із зазначеної навчальної дисципліни.

Курсовий проєкт передбачає синтез та дослідження здобувачами освіти роботи нейромережних регуляторів, що представляють собою інверсну модель об'єкта управління, порівняння якості роботи нейромережного та класичного ПД-регуляторів при управлінні лінійним об'єктом із запізнюванням.

Навчально-методичні рекомендації містять вихідні дані для виконання курсового проєкту за варіантами, опис та методику виконання завдань, які підлягають опрацюванню під час її виконання та критерії оцінювання курсового проєкту.

1 ЗАВДАННЯ ТА ВИХІДНІ ДАНІ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

1.1. Завдання курсового проєкту

Курсовий проєкт передбачає виконання таких завдань:

1). Провести синтез і дослідження роботи нейромережних регуляторів, що представляють собою інверсну модель об'єкта управління, а саме:

- пряме інверсне управління,
- пряме адитивне управління,
- управління із внутрішньою моделлю.

2). Порівняти якість роботи нейромережного й класичного ПІД-регуляторів при управлінні об'єктом першого порядку із запізнюванням.

1.2. Вихідні дані

У даному курсовому проєкті як об'єкт управління використовується об'єкт першого порядку із запізнюванням, який описується функцією передачі

$$W_0(p) = \frac{k_0 \cdot e^{-\tau_0 \cdot p}}{T_0 \cdot p + 1}, \quad (1)$$

та з параметрами, що наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри об'єкта управління

№ вар.	k_0	T_0, c	τ_0, c
1	1,0	15	12
2	2,6	10	15
3	5,3	25	14
4	4,8	40	20
5	7,2	17	10
6	2,9	33	8
7	14,0	6	16
8	1,8	20	4
9	6,4	12	26
10	10,2	7	17
11	0,8	14	5
12	3,9	19	11

На практиці для управління подібними технологічними об'єктами зазвичай застосовується схема ПІД-управління. Тому побудовані нейромережні системи мають порівнюватись саме з ПІД-управлінням. Якість

управління в обох випадках має оцінюватись за допомогою інтегрального квадратичного критерію.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО РЕГУЛЯТОРА ЗА СХЕМОЮ ПРЯМОГО ІНВЕРСНОГО УПРАВЛІННЯ

Пряме інверсне управління (*direct inverse control, DIC*) являє собою послідовне з'єднання нейромережного контролера (нейроконтролера), який є інверсною моделлю об'єкта, і власне об'єкта управління (див. рис. 1).

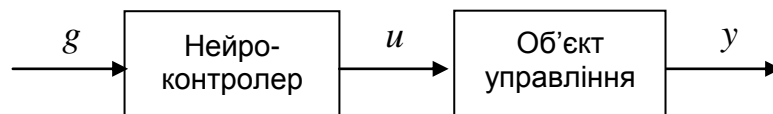


Рис. 1. Схема прямого інверсного нейромережного управління: g – сигнал завдання; u – керуючий сигнал; y – вихідний сигнал

За допомогою схеми прямого інверсного управління, у якій нейроконтролер реалізує точну зворотну (інверсну) модель об'єкта управління, теоретично можна досягти ідеального управління, при якому вихід об'єкта завжди дорівнює завданню.

З рис. 1 випливає, що схема прямого інверсного управління є розімкненою. Отже, вона прийнятна тільки для управління стійкими стаціонарними об'єктами при відсутності збурювань.

Її головним достоїнством є простота реалізації й відсутність проблем зі стійкістю. Однак, щоб забезпечити високу якість управління нейроконтролер повинен досить точно описувати інверсну (зворотну) динаміку об'єкта.

Для одержання нейромережної інверсної моделі об'єкта управління необхідно навчити нейронну мережу його зворотній динаміці. З цією метою на вхід нейронної мережі подається вихідний сигнал об'єкта, потім її вихід порівнюється із вхідним сигналом об'єкта, а сигнал помилки використовується для навчання мережі (рис. 2).

Для прикладу розглянемо побудову дискретної нейромережної інверсної моделі об'єкта управління (1), що має такт дискретності $1c$.

За допомогою схеми з лабораторної роботи № 3 [1] сформуємо навчальні послідовності з кроком дискретизації 1с.

Параметри блоку *Uniform Random Number* задамо у такий спосіб: *minimum* = 0; *maximum* = 1; *initial seed* = 0; *sample time* = 200. Тривалість моделювання встановимо – 599 с.

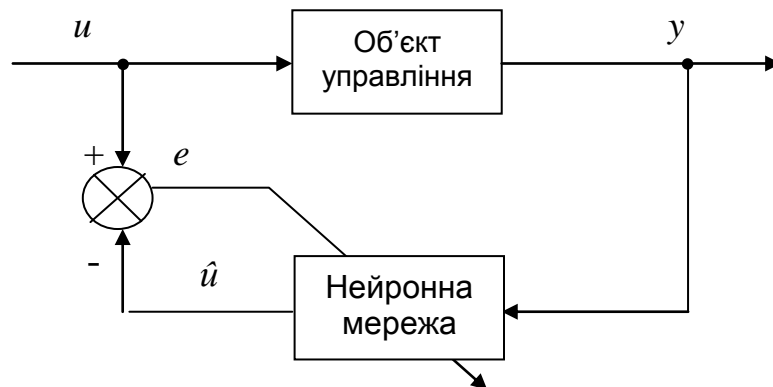


Рис. 2 Схема навчання нейронної мережі інверсній динаміці об'єкта: u – керуючий сигнал; y – вихідний сигнал об'єкта; e – сигнал помилки; \hat{u} – оцінка керуючого сигналу (вихідний сигнал нейронної мережі)

В результаті моделювання в робочій області MATLAB будуть створені масиви даних P і T , які для подальшого використання транспонуємо й представимо у вигляді послідовності комірок:

```
>> T = con2seq (T'); P = con2seq (P');
```

Після цього в ППП Neural Network Toolbox створимо рекурентну одношарову лінійну нейронну мережу з лінією затримки вхідного сигналу на один такт і навчаємо її інверсній динаміці об'єкта (1) за допомогою сформованих навчальних послідовностей.

Нагадаємо, що при навчанні нейронної мережі як вхідну послідовність необхідно вказати послідовність значень вихідного сигналу об'єкта T , а як цільову послідовність – послідовність значень вхідного сигналу об'єкта P .

Після навчання нейронної мережі сформуємо її S-модель, яку надалі будемо використовувати в якості нейроконтролера при побудові нейромережних систем управління.

Для проведення дослідження необхідно зібрати в системі структурного моделювання Simulink схему, що дозволяє порівняти пряме інверсне

нейромережне управління із класичним ПІД-управлінням. На рис. 3 наведена така схема для випадку, коли об'єкт управління описується функцією передачі

$$W_o(p) = \frac{3,5 \cdot e^{-10 \cdot p}}{30 \cdot p + 1}.$$

В цій схемі параметри ПІД-регулятора необхідно підібрати за відомою з ТАУ методикою [2] так, щоб перехідний процес був аперіодичним з мінімальним часом регулювання. Для наведеної схеми (рис. 3) ці параметри мають наступні значення: $k_{II} = 0.34$; $k_I = 0.01$; $k_D = 1$.

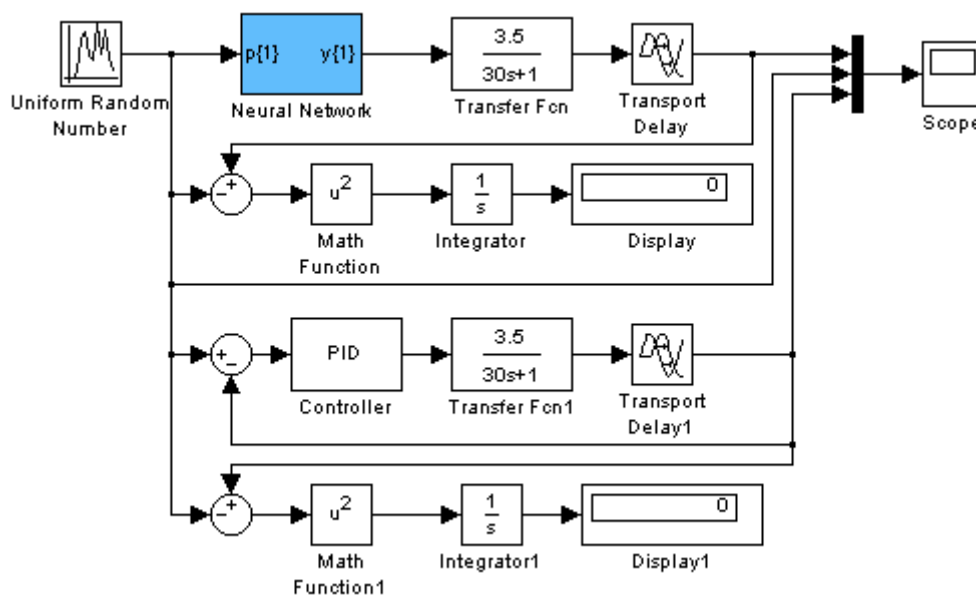


Рис. 3. Схема порівняння прямого інверсного нейромережного управління з ПІД-управлінням

Для тестування схеми (рис. 3), пропонується використати тестовий сигнал завдання, що представляє собою послідовність прямокутних імпульсів тривалістю 250 с із випадковою амплітудою, яка рівномірно розподілена в інтервалі від 0 до 1. Для формування такого сигналу можна скористатись блоком *Uniform Random Number*, параметри якого треба задати у такий спосіб: $minimum=0$; $maximum = 1$; $initial\ seed = 2122$; $sample\ time = 250$.

Тривалість моделювання схеми встановити 1000с.

На рис. 4 як приклад наведені результати моделювання схеми з рис. 3.

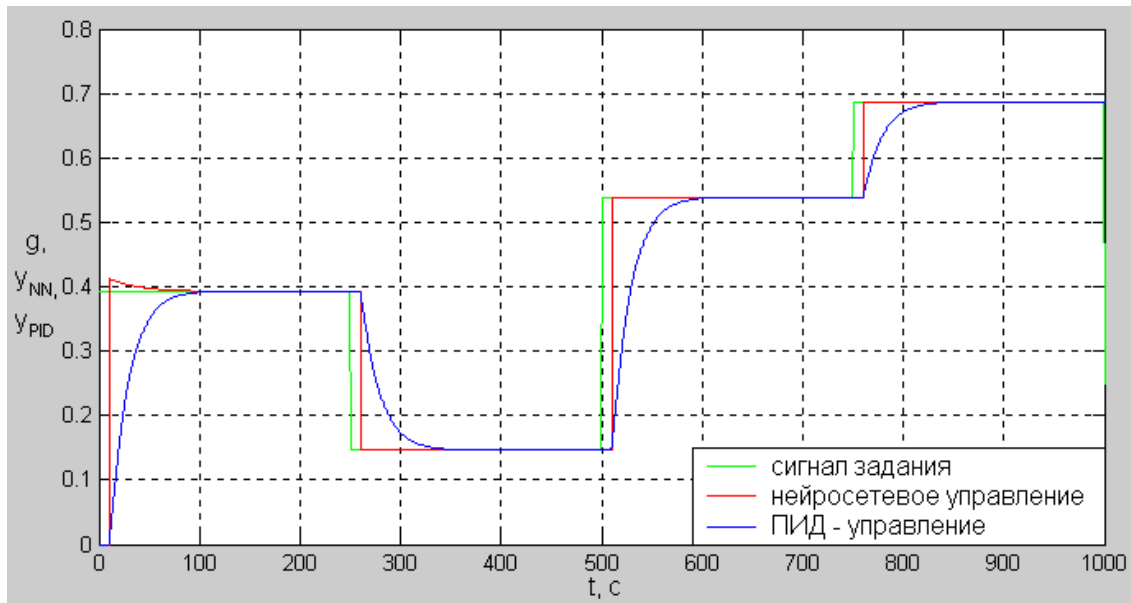


Рис. 4. Результати порівняння прямого інверсного нейромережного управління з ПІД-управлінням

В результаті тестування схеми (рис. 3) необхідно одержати значення критерію якості управління й, ґрунтуючись на ньому, порівняти пряме інверсне управління із традиційним ПІД-управлінням.

Зауваження. Варто звернути увагу на те, що дослідження проводилось за відсутності неконтрольованих збурювань, що впливають на об'єкт управління.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО РЕГУЛЯТОРА ЗА СХЕМОЮ ПРЯМОГО АДИТИВНОГО УПРАВЛІННЯ

Ідея *прямого адитивного управління* (*additive feed-forward control*, AFFC) полягає в паралельному підключенні до незадовільно працюючого контролера додаткового нейроконтролера, інверсного щодо об'єкту (рис. 5).

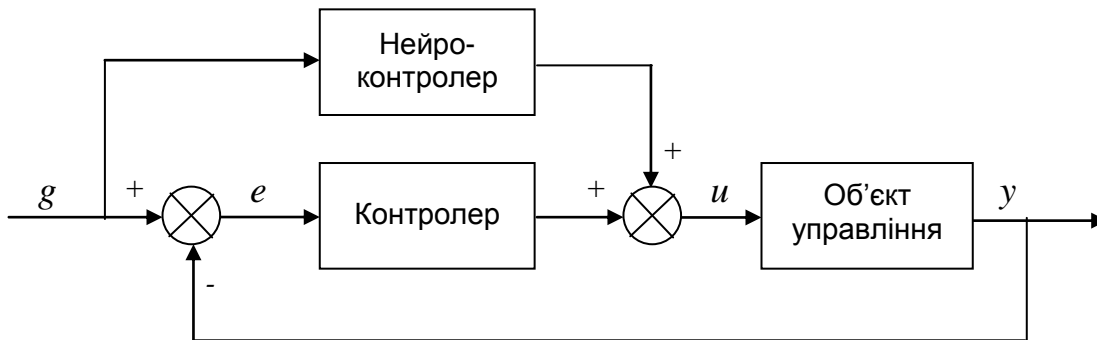


Рис. 5. Схема прямого адитивного управління:

g – сигнал завдання; e – сигнал помилки; u – керуючий сигнал; y – вихідний сигнал

У даній схемі використовується ідея так званого комбінованого управління: поряд з регулюванням за відхиленням, яке реалізує незадовільно працюючий контролер, здійснюється регулювання за завданням за допомогою нейроконтролера.

Покажемо, що в системі (рис. 5) за умови точного опису нейроконтролером інверсної динаміки об'єкта вихід об'єкта управління відповідає завданню й помилка регулювання дорівнює нулю.

Нехай об'єкт управління та нейроконтролер, як і раніше, описуються функціями передачі $W_o(p)$ та $W_{НК}(p)$ відповідно, а функцію передачі контролера позначимо через $W_k(p)$.

Запишемо функцію передачі системи управління:

$$W_c(p) = \frac{W_{НК}(p) \cdot W_o(p) + W_k(p) \cdot W_o(p)}{1 + W_k(p) \cdot W_o(p)}. \quad (2)$$

Як відомо, вихід об'єкта управління точно відтворює сигнал завдання (тобто $y = g$), якщо функція передачі замкненої системи за завданням дорівнює 1.

Очевидно, що функція передачі (2) дорівнює 1, якщо виконується умова $W_{НК}(p) \cdot W_o(p) = 1$ або $W_{НК}(p) = 1 / W_o(p)$. Отже, нейроконтролер повинен

являти собою інверсну модель об'єкта управління, що й було потрібно показати.

Достоїнством схеми прямого адитивного управління є те, що дані для навчання нейроконтролера можуть бути отримані без розмикання існуючого зворотного зв'язка. Крім того, наявність у схемі (рис. 5) замкненого контуру регулювання за відхиленням уможливорює управління нестійким об'єктом.

Для простоти й наочності в ролі незадовільно працюючого контролера використаємо П-регулятор, що має єдиний параметр настроювання – коефіцієнт пропорційності k_P . Його значення для отримання аперіодичного перехідного процесу з мінімальним часом регулювання визначаємо за формулою

$$k_P = \frac{0.3}{k_0 \cdot \tau_0 / T_0},$$

де k_0 - коефіцієнт передачі об'єкта; T_0 - постійна часу об'єкта; τ_0 - час чистого запізнювання. (Для нашого прикладу $k_P = \frac{0.3}{3.5 \cdot 10 / 30} = 0.257$.)

Для порівняння прямого адитивного нейромережного управління з ПІД-управлінням за відсутності неконтрольованих збурювань, які впливають на об'єкт управління, необхідно зібрати схему, наведену на рис. 6.

Щоб мати можливість порівнювати розглянуті в даному проєкті нейромережні стратегії між собою, для їхнього тестування будемо використовувати ті ж тестові сигнали завдання, що й для схеми порівняння прямого інверсного нейромережного управління з ПІД-управлінням (див. розд. 3). Як приклад на рис. 7 наведені результати моделювання схеми (рис. 6) з наступними параметрами ПІД-регулятора: $k_I = 0.6$; $k_D = 0.025$; $k_D = 1$.

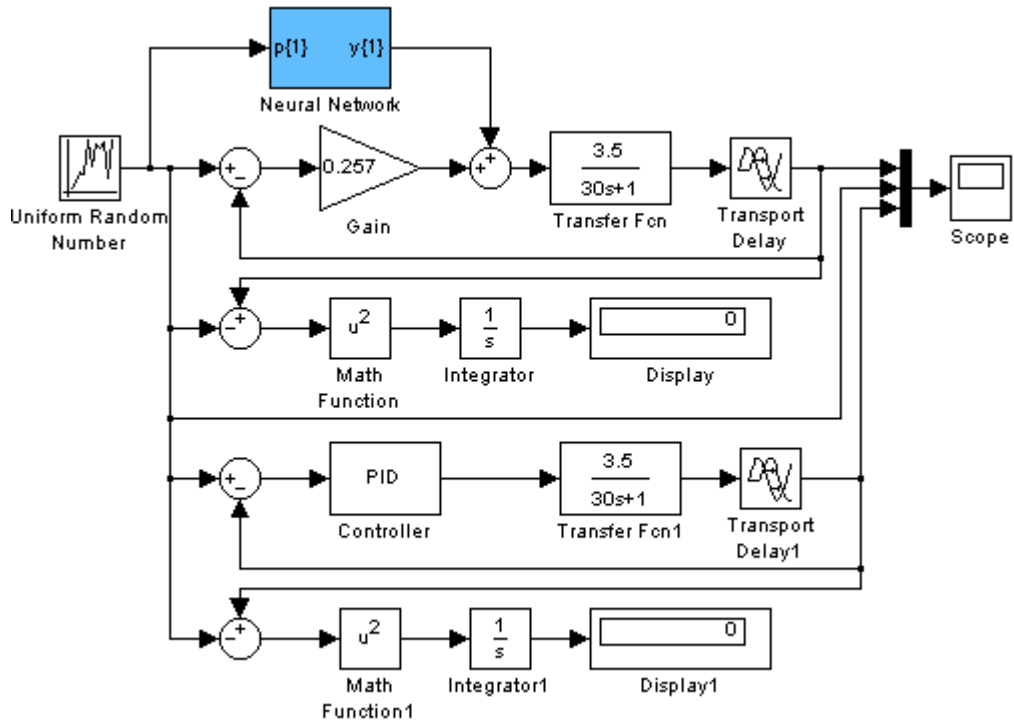


Рис. 6. Схема порівняння прямого адитивного нейромережного управління з ПІД-управлінням за відсутності неконтрольованих збурювань (перехідний процес коливальний)

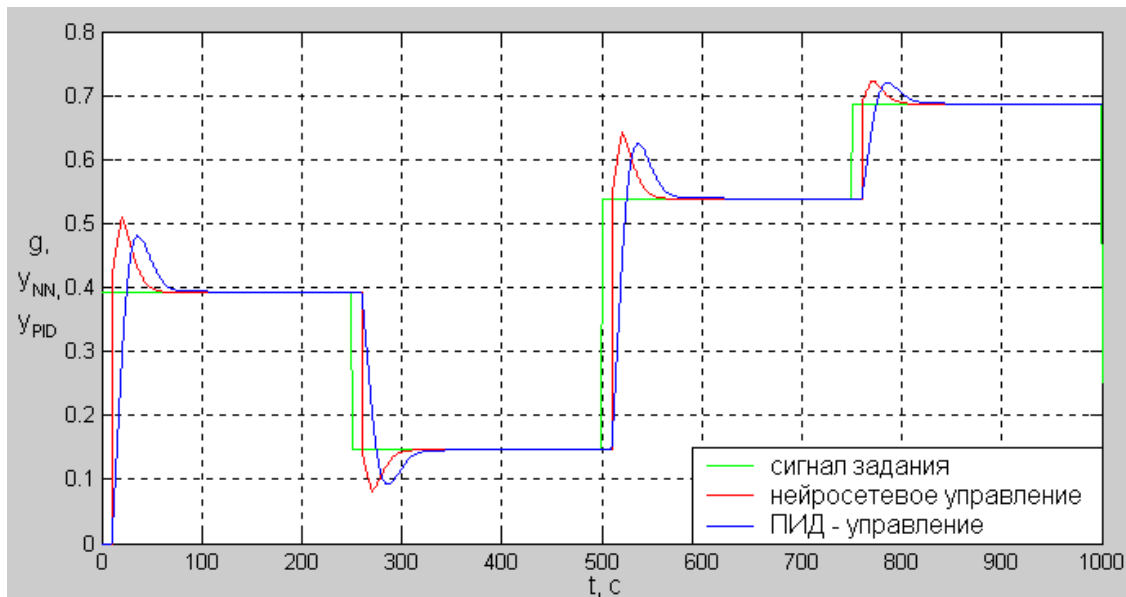


Рис. 7. Результати порівняння прямого адитивного нейромережного управління з ПІД-управлінням

В результаті тестування схеми (рис. 6) необхідно отримати значення критерію якості управління й, ґрунтуючись на ньому, порівняти пряме адитивне управління із традиційним ПІД- управлінням

Схема, що наведена на рис. 6, дозволяє оцінити якість управління тільки за відсутності неконтрольованих збурювань, що впливають на об'єкт управління. Для того ж, щоб зрівняти пряме адитивне нейромережне управління з ПІД-управлінням при наявності неконтрольованих збурювань, необхідно цю схему «доопрацювати» (рис. 8).

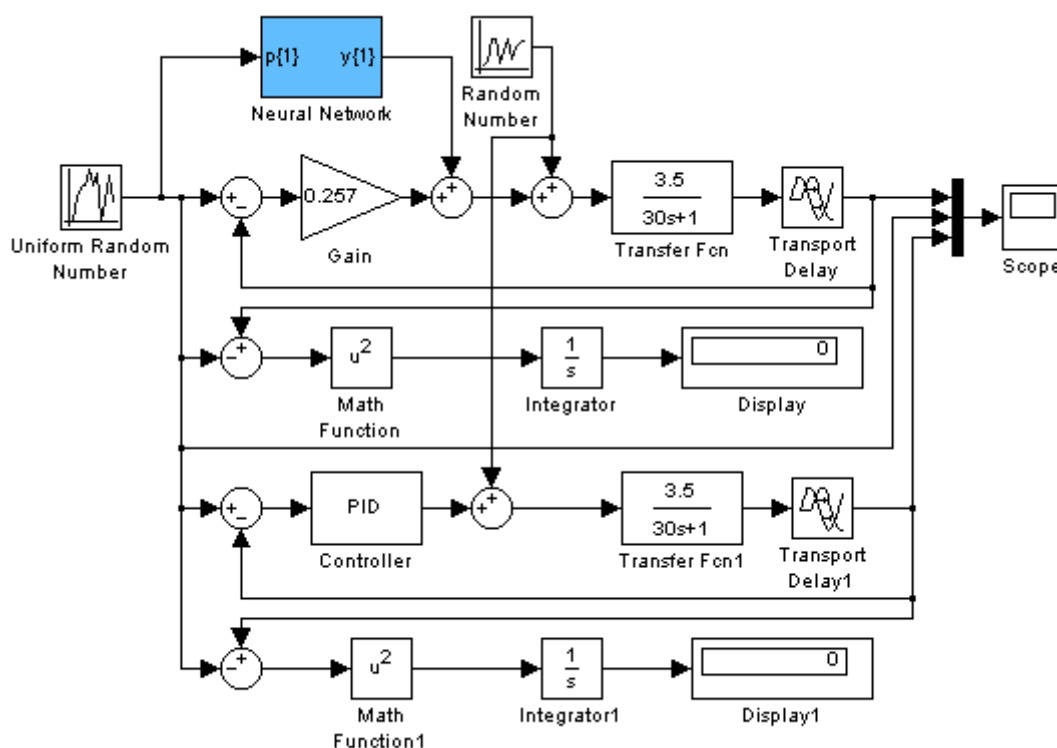


Рис. 8. Схема порівняння прямого адитивного нейромережного управління з ПІД-управлінням за наявності неконтрольованих збурювань, що впливають на об'єкт управління

Для моделювання впливу, що збурює (рис. 8) використаємо блок *Random Number*, що формує на своєму виході нормально розподілений випадковий сигнал і має наступні параметри: *mean* (середнє значення): 0; *variance* (дисперсія): 0.025; *initial seed* (початковий стан): 0; *sample time* (крок дискретизації): 0.

Приблизний вигляд осцилограм, які можуть бути отримані в результаті тестування схеми за рис. 8, наведено на рис. 9.

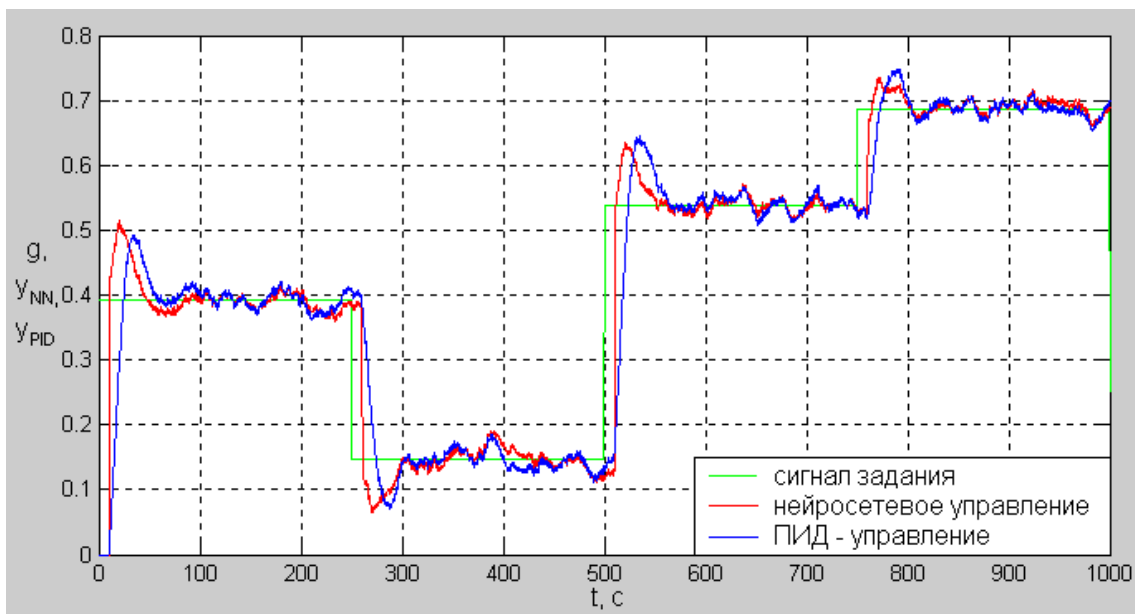


Рис. 9. Результати порівняння прямого адитивного нейромережного управління з ПІД-управлінням за наявності неконтрольованих збурювань, що впливають на об'єкт управління

На підставі отриманих значень інтегрального квадратичного критерію якості управління необхідно порівняти роботу класичного ПІД-регулятора з роботою нейромережного адитивного регулятора як за відсутності, так і за наявності неконтрольованих збурювань.

Як додаткове самостійне дослідження пропонується порівняти стратегії прямого інверсного й прямого адитивного нейромережного управління. Для цього варто зробити спільне тестування схем за рис. 3 та рис. 8. При цьому в контур адитивного нейроуправління необхідно послідовно з нейрорегулятором включити фільтр у вигляді аперіодичної ланки першого порядку (це забезпечить аперіодичний вигляд перехідного процесу й дозволить здійснити порівняння коректно).

4. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО РЕГУЛЯТОРА ЗА СХЕМОЮ УПРАВЛІННЯ ІЗ ВНУТРІШНЬОЮ МОДЕЛЛЮ

Пряме адитивне нейромережне управління так саме, як і пряме інверсне управління, на відміну від ПІД-управління, не дозволяє управляти нестационарними об'єктами. Для подібних об'єктів використовують управління *із внутрішньою моделлю* (*internal model control, ІМС*). Схема управління із внутрішньою моделлю містить нейроконтролер, нейромережну моделі об'єкта та робастного фільтра (див. рис. 10).

Нейроконтролер, як правило, являє собою інверсну модель об'єкта управління й включається із ним послідовно. Нейромережна модель об'єкта включається паралельно реальному об'єкту й використовується для оцінювання збурювань на його виході. В якості робастного фільтра зазвичай застосовують ланку першого порядку, постійну часу якої вибирають таким чином, щоб забезпечити стійкість замкненої схеми щодо неконтрольованих збурювань та невідповідності моделі об'єктові.

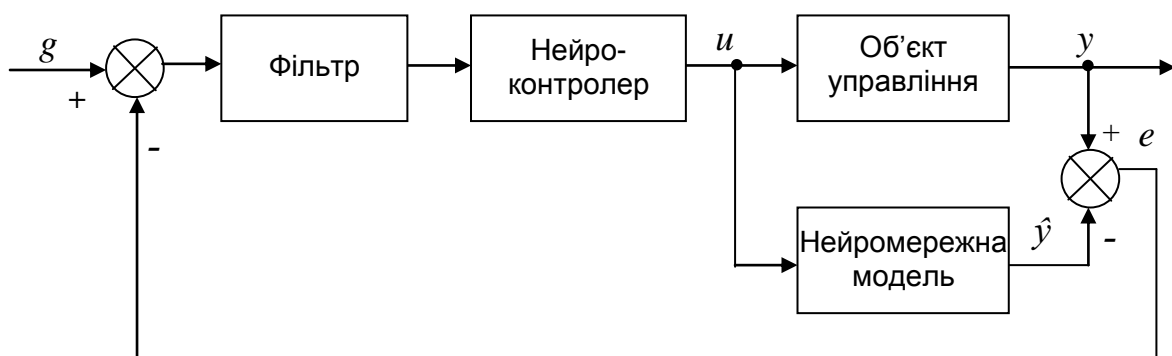


Рис. 10. Схема управління із внутрішньою моделлю:

x – сигнал завдання; u – керуючий сигнал; y – вихідний сигнал об'єкта; \hat{y} – оцінка виходу об'єкта; e – сигнал помилки між виходом об'єкта й моделі

Розглянемо роботу схеми нейромережного управління із внутрішньою моделлю. Керуючий сигнал u , що сформований нейроконтролером, надходить на вхід об'єкта управління й на вхід його нейромережної моделі. Вихід об'єкта y порівнюється із виходом моделі \hat{y} , а сигнал помилки e подається на вхід суматора, де він віднімається від сигналу завдання g . Скоректований й відфільтрований сигнал завдання подається назад на вхід нейроконтролера, що формує керуючий сигнал u .

Якщо на об'єкт управління не діють неконтрольовані збурювання, помилка e є мірою невідповідності моделі об'єктові.

У випадку ж, якщо нейромережна модель є точною моделлю об'єкта управління, помилка e дорівнює невідомому (неконтрольованому) збурюванню, що діє на об'єкт управління.

Таким чином, сигнал помилки між виходом об'єкта управління й виходом його моделі може розцінюватись як інформація, що відсутня у моделі, і, отже, використовуватись для поліпшення якості управління. Теоретично, використовуючи схему управління із внутрішньою моделлю, можна досягти ідеального управління.

Уведемо наступні позначення: $W_{HK}(p)$ – функція передачі нейроконтролера; $W_{OY}(p)$ – функція передачі об'єкта управління; $W_{HM}(p)$ – функція передачі нейромережної моделі об'єкта.

Тоді функція передачі системи управління із внутрішньою моделлю, що наведена на рис. ЛР4.10, без урахування фільтра може бути записана в такий спосіб:

$$W_C(p) = \frac{W_{OY}(p) \cdot W_{HK}(p)}{1 - W_{HK}(p) \cdot W_{HM}(p) + W_{OY}(p) \cdot W_{HK}(p)}. \quad (3)$$

Для того, щоб вихідний сигнал об'єкта точно відтворював сигнал завдання, функція передачі (3) повинна дорівнювати 1. Це можливо за умови

$$W_{HK}(p) \cdot W_{HM}(p) = 1 \quad \text{або} \quad W_{HK}(p) = 1 / W_{HM}(p),$$

тобто коли нейроконтролер є точною інверсією прямої нейромережної моделі об'єкта управління. У цьому випадку буде мати місце ідеальне відстеження сигналу завдання ($y = g$) й усунення впливу збурювання.

Очевидно, що для одержання високої якості управління достатньо, щоб нейроконтролер точно описував інверсну динаміку прямої нейромережної моделі об'єкта управління, а не власне об'єкта управління.

Розглянемо два варіанти побудови схеми нейромережного управління із внутрішньою моделлю, що відрізняються способом побудови нейромережної моделі об'єкта управління.

Перший спосіб полягає у використанні для побудови моделі динамічного об'єкта динамічної нейронної мережі. Для надання нейронній

мережі динамічних властивостей можуть додатково вводитися лінії затримки вхідних сигналів (нейронна мережа з лінією затримки вхідних сигналів) і/або зворотні зв'язки (рекурентна нейронна мережа).

Структурна схема ідентифікації об'єкта управління в цьому випадку має вигляд, як на рисунку 2. (Її застосування для побудови нейромережної моделі об'єкта було розглянуте в лабораторній роботі №3.)

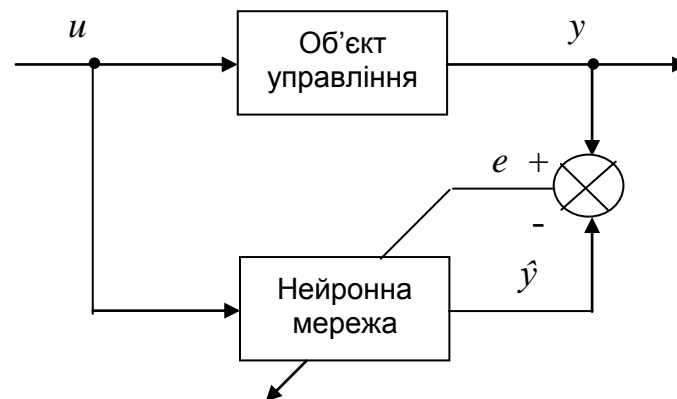


Рис. 11. Схема навчання динамічної нейронної мережі прямій динаміці об'єкта управління: u – керуючий сигнал; y – вихідний сигнал об'єкта; \hat{y} – оцінка виходу об'єкта; e – сигнал помилки

У даній лабораторній роботі використаємо одну з динамічних нейромережних моделей: $n3_3$, $n3_4$, або $net3_2$, $net3_3$, що створювались у лабораторній роботі №3.

Для прикладу побудуємо систему управління із внутрішньою моделлю, у якій нейромережну модель об'єкта представлено рекурентною одношаровою лінійною нейронною мережею $net3_2$ із глибиною лінії затримки вхідного сигналу на 11 тактів.

Для порівняння якості нейромережного управління із внутрішньою моделлю й ПІД-управління за відсутності й при наявності неконтрольованих збурювань, що впливають на об'єкт управління, у ППП Simulink необхідно зібрати схеми, наведені на рис. 12 та рис. 13 відповідно.

При моделюванні схем, що наведені на рис. 12 та 13, будемо використовувати ті ж тестові сигнали завдання, що й для інших аналогічних схем порівняння.

Параметри збурювання в схемі (рис. 13) задаємо такі ж, як і в схемі (рис. 8), щоб мати можливість порівнювати отримані результати.

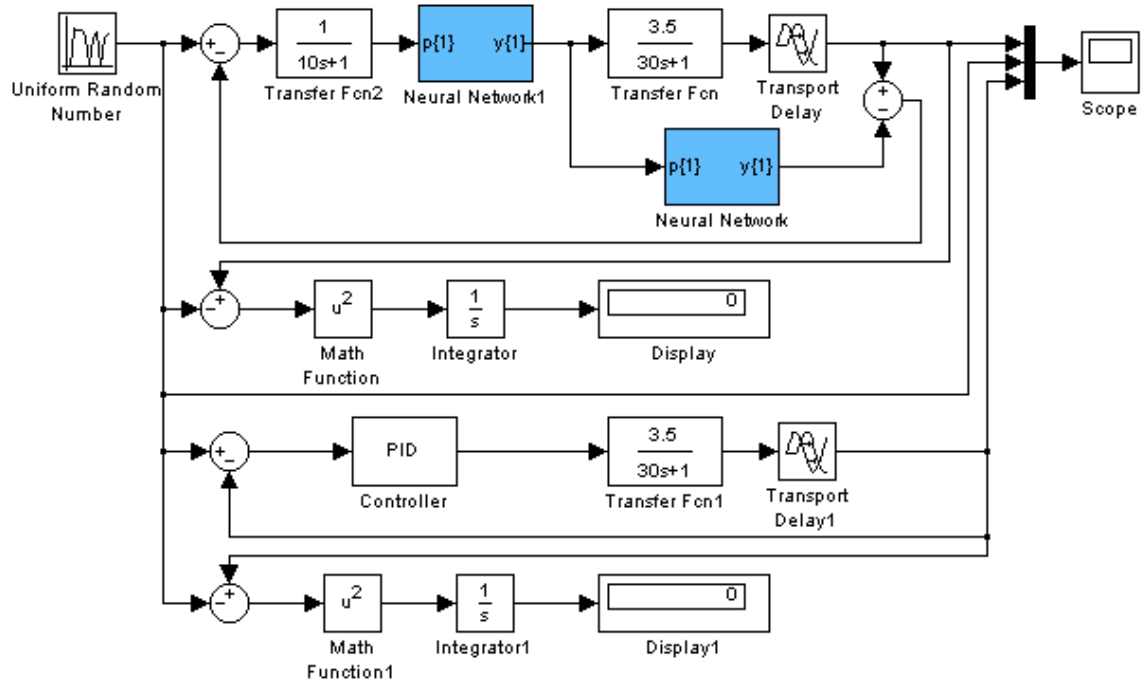


Рис. 12. Схема порівняння неймережного управління із внутрішньою моделлю й ПІД-управління за відсутності неконтрольованих збурювань (пряма неймережна модель реалізована динамічною нейронною мережею)

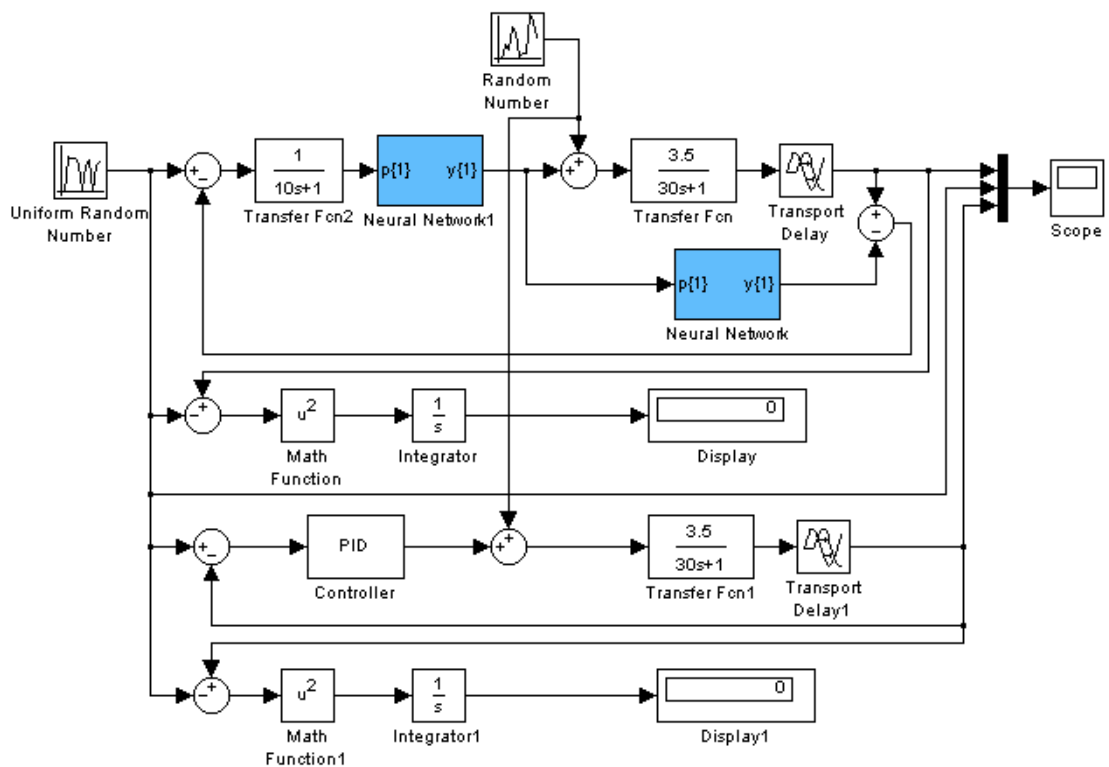


Рис. 13 - Схема порівняння неймережного управління із внутрішньою моделлю й ПІД-управління за наявності неконтрольованих збурювань (пряма неймережна модель реалізована динамічною нейронною мережею)

Відзначимо, що при тестуванні усіх схем порівняння управління із внутрішньою моделлю й ПІД-управління будемо використовувати ПІД-регулятор з тими ж параметрами, що на рис. 3, рис. 6 та рис. 8, який забезпечуватиме аперіодичний перехідний процес із мінімальним часом регулювання.

Зразковий вигляд осцилограм, які можуть бути отримані в результаті тестування схеми за рис. 13, представлені на рис. 14

На підставі отриманих значень інтегрального квадратичного критерію якості управління необхідно порівняти роботу класичного ПІД-регулятора з роботою системи нейромережного управління із внутрішньою моделлю як за відсутності, так і за наявності неконтрольованих збурювань.

Занести значення критерію якості управління, що отримані в результаті тестування схем, що наведені на рис. 12 та рис. 13, до табл. 2.

Таблиця 2

Порівняння нейроуправління із внутрішньою моделлю та ПІД- управління за відсутності та за наявності збурювань

Значення критерію якості управління		
Управління із внутрішньою моделлю		ПІД - управління
I спосіб	II спосіб	
За відсутності збурювань		
За наявності збурювань		

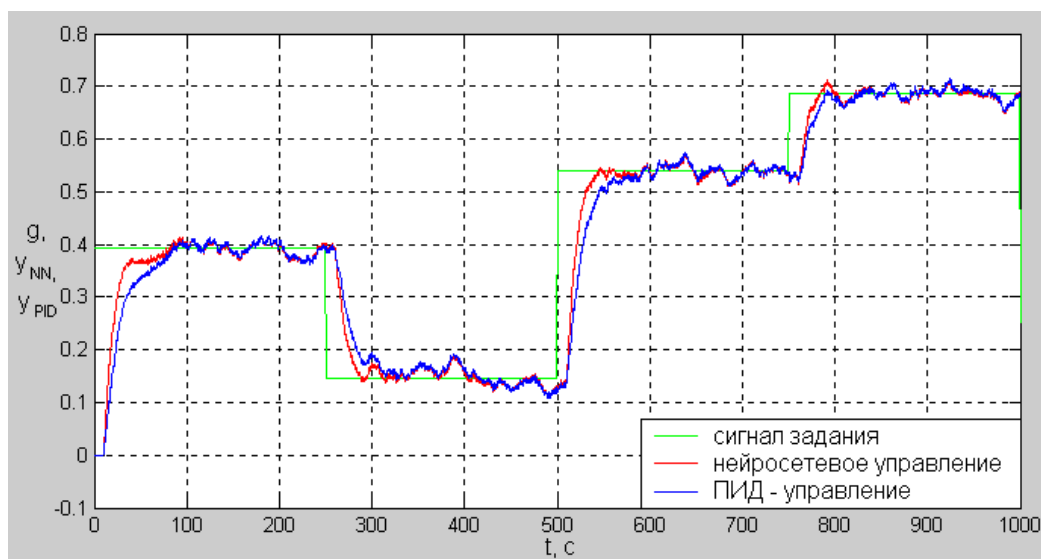


Рис. 14. Результати порівняння нейромережного управління із внутрішньою моделлю (I спосіб) й ПІД-управління за наявності неконтрольованих збурювань, що впливають на об'єкт управління

Другий спосіб побудови системи управління із внутрішньою моделлю полягає у використанні для побудови динамічної моделі об'єкта статичної нейронної мережі із зовнішньою лінією затримки сигналів. Схема ідентифікації об'єкта управління в цьому випадку буде мати вигляд як на рис. 15.

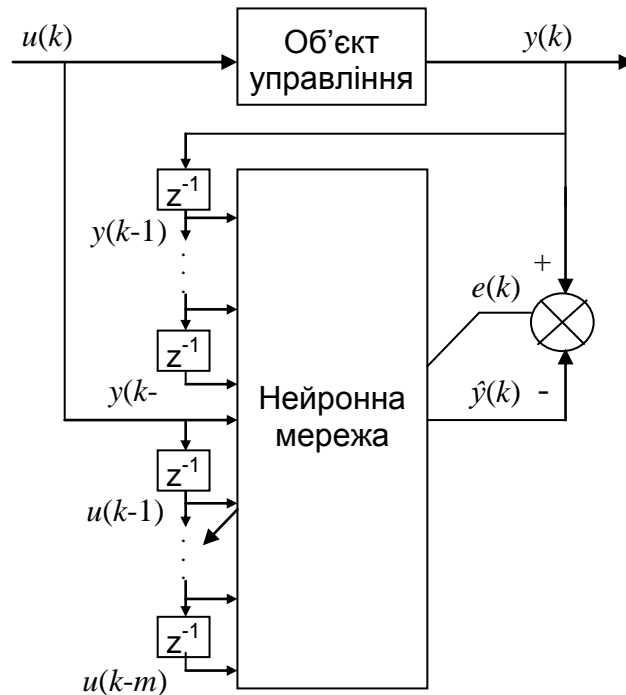


Рис. 15. Схема навчання статичної нейронної мережі прямій динаміці об'єкта управління: $u(k)$ – керуючий сигнал; y – вихідний сигнал; $\hat{y}(k)$ – оцінка виходу об'єкта; $e(k)$ – сигнал помилки; m – глибина лінії затримки вхідного сигналу; n – глибина затримки зворотного зв'язку за виходом

Для формування навчальних даних у ППП Simulink збираємо схему, яку наведено на рис. 16. Тривалість моделювання встановлюємо 2200 с.

Перед моделюванням задаємо наступні значення параметрів блоків: *Uniform Random Number*: minimum = 0; maximum = 1; initial seed = 0; sample time = 200; *To Workspace* і *To Workspace1*: limit data points to last: 2000; decimation: 1; sample time: 1; save format: *array* (масив).

Параметри усіх блоків затримки *Unit Delay* (рис. 17) задаємо в такий спосіб: initial conditions (початкові умови): 0; sample time (крок дискретизації): 1.

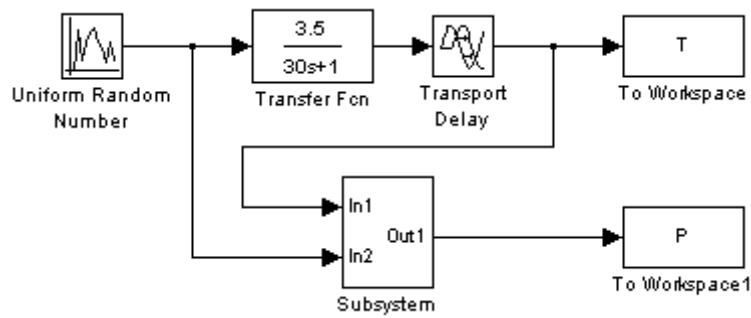


Рис. 16. Схема формування даних для навчання статичної нейронної мережі прямій динаміці об'єкта управління

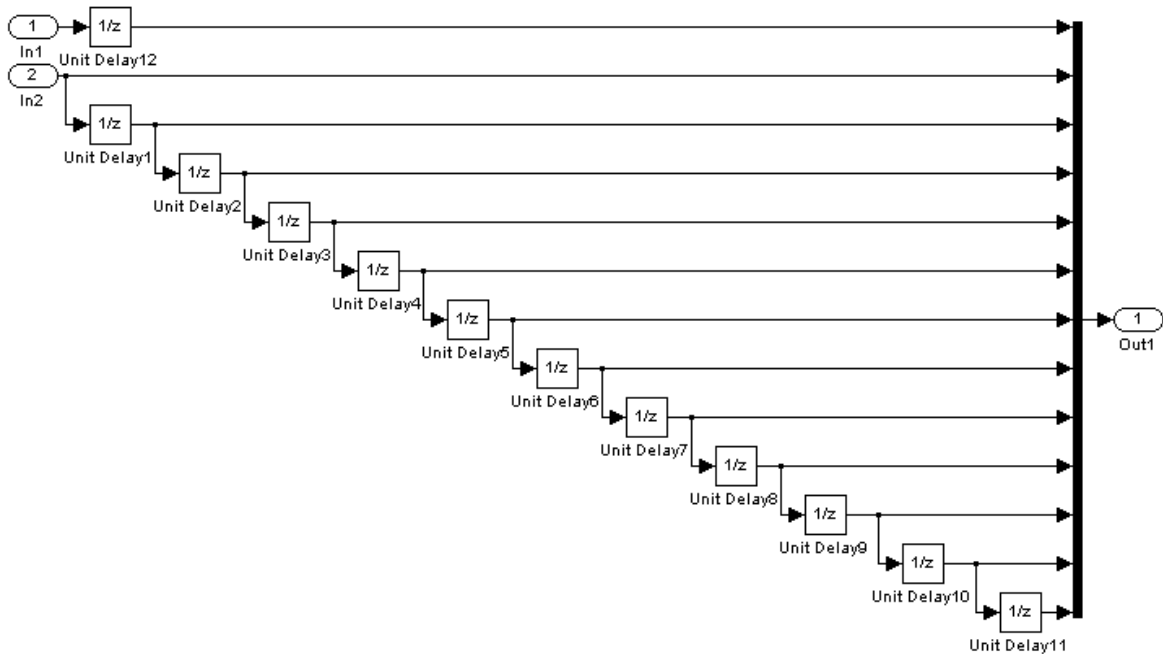


Рис. 17. Внутрішня структура блоку *Subsystem* (див. рис. 16)

У результаті моделювання схеми (рис. 16) у робочій області MATLAB будуть створені масиви P і T , які для подальшого використання перетворюємо, застосувавши операцію транспонування:

```
>> P=P'; T=T';
```

Потім за допомогою GUI-інтерфейсу NNTool створимо лінійну одношарову статичну нейронну мережу, що складається з одного нейрона, і навчимо її на сформованих навчальних даних. При цьому значення параметра *learning rate* призначимо рівним 0.0001, а кількість епох (*epochs*) задамо рівною 550000.

Після цього варто сформуванати S-модель навченої нейронної мережі, зібрати схеми, які наведено на рис. 18 та рис. 19, і провести тестування на тих самих сигналах, що використовувались для тестування схем за рис. 12 та 13. Графіки, що отримані в результаті тестування, повинні бути подібні отриманим в ході тестування схем за рис. 12 та 13. Результати тестування схем, що наведені на рис. 18 та рис. 19, слід занести до табл. 2, порівняти їх із результатами тестування систем за рис. 12 та рис. 13 і зробити відповідні висновки.

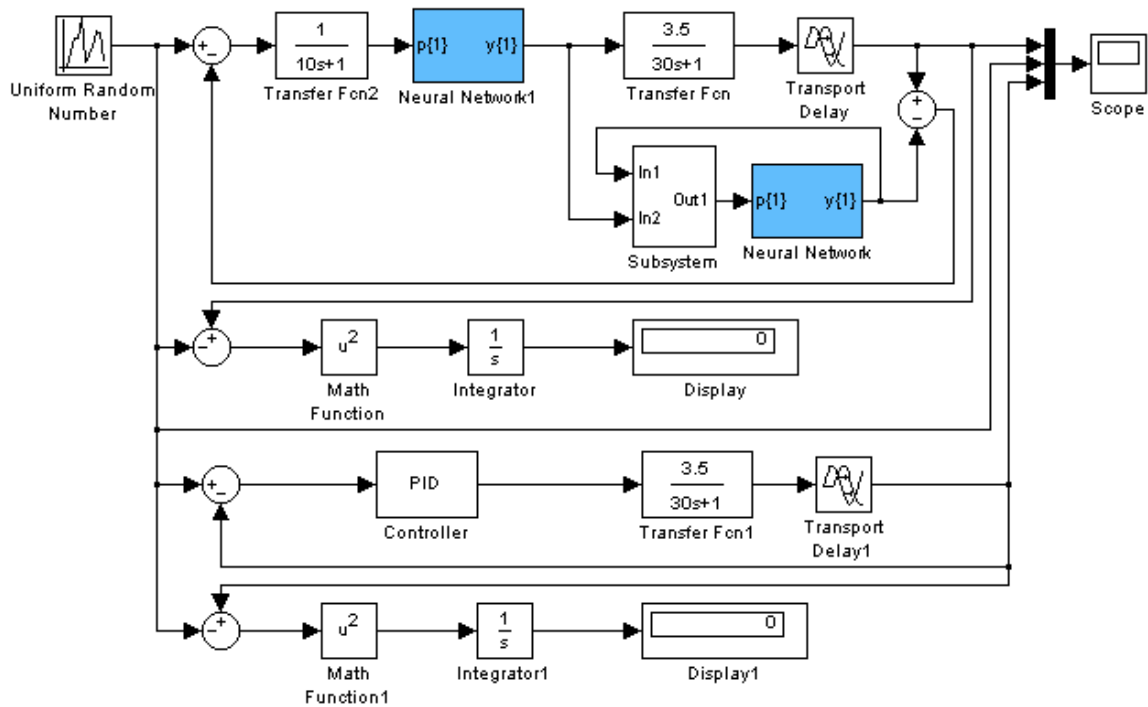


Рис. 18. Схема порівняння нейромережного управління із внутрішньою моделлю і ПІД-управління за відсутності неконтрольованих збурювань

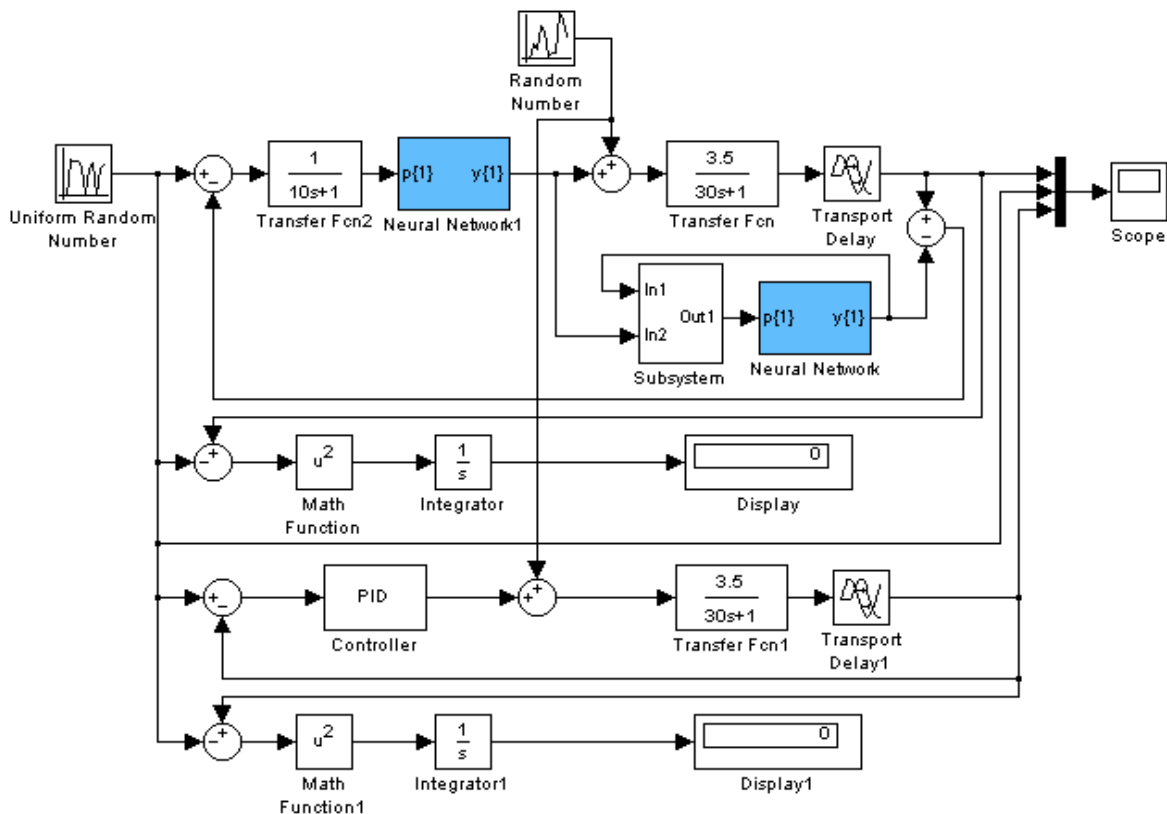


Рис. 19. Схема порівняння нейромережного управління із внутрішньою моделлю і ПІД- управління за наявності неконтрольованих збурювань

Зауваження. На практиці найбільше поширення одержав другий спосіб побудови прямої нейромережної моделі об'єкта управління, реалізація якого не викликає принципових утруднень. Це обумовлено тим, що для навчання статичної нейронної мережі успішно можуть застосовуватись широко розповсюджені алгоритми навчання, які реалізують метод зворотного розповсюдження помилки.

Необхідно також відзначити, що схема управління із внутрішньою моделлю цілком підходить й для управління нестационарними об'єктами, зокрема об'єктами, у яких значення коефіцієнта передачі k_0 згодом стає відмінним від того значення, яке мало місце при одержанні їхніх нейромережних прямих та інверсних моделей.

Інакше кажучи, схему нейромережного управління із внутрішньою моделлю, на відміну від інших розглянутих схем нейромережного управління, цілком можна використовувати для управління не тільки стаціонарними, але й нестационарними об'єктами, причому як за відсутності неконтрольованих збурювань, що впливають на об'єкт управління, так і за їхньої наявності.

Бажаючі можуть переконатися в цьому, для чого пропонується на додаток до вже отриманих даних (див. табл. ЛР4.1) здійснити моделювання роботи схем, що наведені на рис. 18 та рис. 19, для значень коефіцієнта передачі об'єкта $k_0 = 2,5$ та $k_0 = 4,5$, занести результати до табл. 3 та порівняти їх.

Таблиця 3

Порівняння нейроуправління із внутрішньою моделлю та ПІД-управління за відсутності та за наявності збурювань в умовах зміни параметрів об'єкта

Значення критерію якості управління					
Управління з внутрішньою моделлю			ПІД - управління		
$k_0 = 2,5$	$k_0 = 3,5$	$k_0 = 4,5$	$k_0 = 2,5$	$k_0 = 3,5$	$k_0 = 4,5$
За відсутності збурювань					
За наявності збурювань					

5. СТРУКТУРА ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Пояснювальна записка до курсового проекту має містити:

- 1) титульний аркуш (див. додаток 1);
- 2) вихідні дані згідно з визначеним варіантом;
- 3) розділ 1. Дослідження роботи нейромережного регулятора за схемою прямого інверсного управління;
- 4) розділ 2. Дослідження роботи нейромережного регулятора за схемою прямого адитивного управління;
- 5) розділ 3. Дослідження роботи нейромережного регулятора за схемою управління із внутрішньою моделлю.

Кожний розділ пояснювальної записки має містити:

- схеми відповідних моделей у пакеті Simulink, що досліджувались;
- результати моделювання у вигляді текстового опису або відповідних таблиць;

- висновки щодо порівняння якості досліджуваної схеми нейромережного управління з іншими схемами нейромережного управління та з класичним ПІД-регулюванням.

У першому розділі пояснювальної записки (1. Дослідження роботи нейромережного регулятора за схемою прямого інверсного управління) необхідно навести визначені за відомою методикою [2] параметри класичного ПІД-регулятора, що використовується для порівняння з нейромережними регуляторами.

6. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Оцінювання курсового проєкту з дослідження систем управління на базі штучних нейронних мереж здійснюється за 12-бальною шкалою.

Оцінювання відбувається шляхом накопичення балів за результатами виконання окремих етапів створення, навчання та тестування АСР з нейрорегуляторами згідно з наведеною табл. 4.

Оцінка курсового проєкту визначається як проста сума нарахованих балів.

Таблиця 4

Критерії оцінювання курсового проєкту

Результат виконання відповідного етапу розробки та дослідження АСР	Бал
1. Отримання якісної нейронної моделі об'єкта управління	1
2. Отримання якісної інверсної нейронної моделі об'єкта управління	1
3. Коректне визначення параметрів класичного ПІД-регулятора для проведення порівняльного аналізу з АСР на базі нейронних регуляторів	1
4. Коректна розробка та дослідження нейромережної АСР прямого інверсного управління	1
5. Коректна розробка та дослідження нейромережної АСР прямого адитивного управління	2
6. Проведення дослідження нейромережної АСР прямого адитивного управління за наявності збурюючих впливів	1
7. Коректна розробка та дослідження нейромережної АСР із внутрішньою моделлю	2

Результат виконання відповідного етапу розробки та дослідження АСР	Бал
8. Проведення дослідження нейромережної АСР із внутрішньою моделлю за наявності збурюючих впливів	1
9. Проведення дослідження нейромережної АСР із внутрішньою моделлю при змінненні параметрів об'єкту управління	2

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Потап О. Ю., Маслікова С. С., Кисляков В. Г. Системи управління зі штучним інтелектом. Нейромережні системи управління : навч. посіб. Дніпро : УДУНТ, 2024. 106 с.
2. Єгоров О. П., Рибальченко М. О., Маначин І. О. Цифрові методи дослідження та розрахунку регуляторів в системах автоматичного керування : навч. посіб. Дніпро : УДУНТ, 2022. 124 с.

Форма титульного аркуша пояснювальної записки

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

Спеціальність 174 - Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка

КУРСОВИЙ ПРОЄКТ

з дисципліни: **“Системи управління зі штучним інтелектом”**

Варіант № _____

Виконав: студент групи _____
(Шифр групи) (Прізвище, Ініціали)

Керівник: _____
(Підпис) (Посада, Прізвище, Ініціали)

Проект захищено
з оцінкою _____

“ _____ ” _____ 20 ____ р.

Дніпро 202__

Навчально-методичне видання

**Потап Олег Юхимович,
Рибальченко Марія Олександрівна**

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ

Навчально-методичні рекомендації до виконання курсового проєкту

Електронне видання

Експертний висновок склав канд. техн. наук, доц. Михайло Зінченко

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 11 від 10.01.2025)

В авторській редакції
Комп'ютерна верстка О. Ю. Потап

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 1,62. Обл.-вид. арк. 1,64.

Зам. № 6

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, м. Дніпро, 49010.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, 49010