

© А.В. Ужеловський<sup>1</sup>, В.О. Ужеловський<sup>1</sup>, В.С. Ткачов<sup>1</sup>, Г.В. Кравець<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро, Україна

<sup>2</sup> Фаховий коледж зварювання та електроніки імені Є.О. Патона, Дніпро, Україна

## НЕЙРОКОНТРОЛЕРНЕ РЕГУЛЮВАННЯ НАТЯГУ КОНВЕЄРНОЇ СТРІЧКИ

© A. Uzhelovsky<sup>1</sup>, V. Uzhelovsky<sup>1</sup>, V. Tkachov<sup>1</sup>, G. Kravets<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine

<sup>2</sup> Yevhen PATON applied college of welding and electronics, Dnipro, Ukraine

## NEURO-CONTROL ADJUSTMENT OF CONVEYOR BELT TENSION

**Мета.** Виявлення шляхів покращення якісних показників роботи конвеєрів на стадії їх проектування та конструювання при використанні сучасних елементів автоматики, систем автоматичного керування, застосування нейроконтролерних систем автоматичної підтримки оптимального технологічного процесу при транспортуванні матеріалу.

**Методика досліджень.** Запропонована методика супервізорного навчання нейроконтролерної системи автоматичного натягу конвеєрної стрічки з використанням прикладного пакету MATLAB.

**Результати досліджень.** Розроблена і досліджена послідовність побудови та навчання імітаційної нейроконтролерної системи регулювання (підтримки) оптимального натягу конвеєрної стрічки з використанням прикладного пакету MATLAB. Встановлено, що для систем, які містять елементи із значними постійними часу, доцільно при супервізорному навчанні нейроконтролера знаходження співвідношення кількості етапів навчання до числа сегментів здійснювати експериментальним шляхом.

**Наукова новизна.** У статті запропоновано шляхом використання прогармно-технічних можливостей, побудову імітаційної моделі системи регулювання натягу конвеєрної стрічки з застосування штучного інтелекту і з впровадженням нейконтролера, що дає можливість попереднього налагодження розробленої системи керування та використовувати її на стадії проектування подібних об'єктів.

**Практична значимість.** Послідовність побудови імітаційна моделі нейроконтролерної системи оптимального регулювання натягу конвеєрної стрічки може бути застосована при проектуванні та дослідженні подібних механізмів. Система здатна до адаптування і забезпечує підвищення надійності та дотримання бажаних параметрів його роботи. Модель може бути рекомендована для попереднього знаходження параметрів нейроконтролера, налагодження регулятора системи, отримання прогнозованого перехідного процесу і підвищення продуктивності роботи.

**Ключові слова:** конвеєр, конвеєрна стрічка, датчик, виконавчий механізм, натяжна станція конвеєрної стрічки, імітаційне моделювання, нейроконтролер, нейроконтролерна система регулювання.

**Постановка проблеми.** Науково-технічний прогрес в галузі розвитку технічних систем передбачає можливості підвищення ефективності їх функціонування за рахунок підвищення надійності, точності, здатності до адаптації при зміні зовнішніх та внутрішніх збурень. Основною цілю автоматизації є покращення різних показників, серед яких є: поліпшення ефективності праці; поліпшення різних економічних показників; поліпшення

якості створюваної продукції; поліпшення продуктивності процесу; оптимізація використання різних ресурсів виробництва та інші.

Потреба у автоматизації різних підприємств та виробництв зростає кожного року. При такому розвитку змінюється роль людини з прямого створення виробів на обслуговування різних складних систем автоматизації виробництва і призводить до різкої зміни рівня робочої кваліфікації та швидкого збільшення кількості інженерно-технічних працівників, які відповідають за технічне обслуговування та удосконалення різного устаткування.

Одним з великих кроків розвитку автоматизованих систем управління стало впровадження ЕОМ при керуванні різними технологічними об'єктами. Основним завданням автоматичного керування технологічним процесом є створення керуючих впливів у ході технологічного процесу. Завдяки ЕОМ стало можливо значно збільшити швидкість керування та також прогнозувати роботу об'єкту. Поява ЕОМ спонукала впровадження автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП).

До таких систем відносяться стрічкові конвеєри. При створенні автоматизованих систем керування технологічними процесами приділяють значну увагу транспортуванню сировини, матеріалів і готових виробів.

Роботи по транспортуванню найбільш трудомісткі та їх можливо зустріти на всіх етапах виробництва.

Стрічкові конвеєри широко використовуються в металургійній, гірничодобувній та інших видах промисловості. Їх використовують для транспортування насипних і штучних вантажів як на невеликі відстані, так і на великі відстані. Простота й надійність їх конструкції забезпечує їхню роботу протягом тривалого часу. Стрічкові конвеєри можна використовувати як у закритих, так і на відкритих ділянках, що пояснює їхнє широке використання в промисловості. Можливість завантаження й розвантаження стрічкових транспортерів у будь-якому місці становить їхнє основне достоїнство [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Особливості конструкції конвеєра залежать від типу застосовуваних стрічок. Забезпечення надійної та безпечної експлуатації стрічкових конвеєрів широко розглядається в публікаціях, патентах, авторських свідоцтвах [1]. У роботах сучасних фахівців в області управління стрічковими конвеєрами досить детально аналізуються шляхи поліпшення їх роботи. Доцільним, на наш погляд, слід приділити увагу застосування прикладних програм на стадії проектування та дослідження роботи стрічкових конвеєрів. У зв'язку з цим пропонується використання існуючих прикладних програм та методик для удосконалення функціонування стрічкових конвеєрів шляхом імітаційного моделювання.

При розгляді поставленої мети в основу побудови моделі прийняте в якості прототипу авторське свідоцтво № 950620 «Стенд для дослідження стрічкового конвеєра». Стенд передбачає наявність основних елементів системи автоматичного керування роботою стрічкового конвеєра, а саме: натяжного пристрою; пристроїв контролю й регулювання положення ведомого барабана; троса безпеки; кінцевого вимикача; датчика провисання стрічки; датчика

швидкості руху стрічки; датчика кутової швидкості обертання приводного барабана; датчика зусилля; датчиків положення стрічки на барабані.

Структурна схема, яку передбачається досліджувати приведена на рис. 1. Схема САР містить два контури: контур (верхній) регулювання кутової швидкості приводного двигуна конвеєра і контур пристрою автоматичного натягу конвеєрної стрічки (нижній). Схема складена з типових динамічних ланок і дає зрозуміти взаємодію ланок між собою.

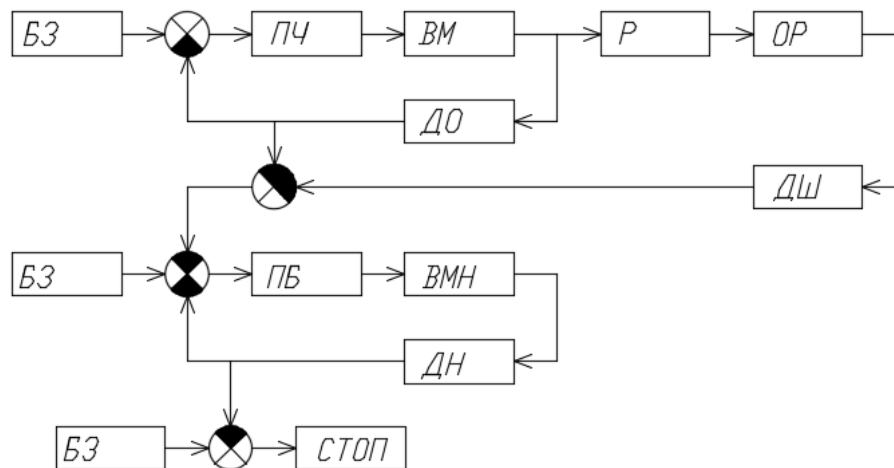


Рис. 1. Функціональна схема автоматизованої системи керування стрічковим конвеєром

На схемі умовні позначення: БЗ – блок завдання; ПЧ – перетворювач частоти; ВМ – виконавчий механізм, привідний електродвигун конвеєра; Р – редуктор; ОР – об’єкт регулювання, стрічка; ДО – датчик кількості обертів валу; ДШ – датчик швидкості; ПБ – пускач безконтактний; ВМН – виконавчий механізм натяжного пристрою; ДН – датчик натягу стрічки; блок екстремального захисту стрічки БЕ (максимально допустиме значення сили розтягування стрічки); СТОП – зупинка системи.

Оскільки метою дослідження є натяжна станція (пристрій), то нижче розглядатиметься лише нижній контур.

Вхідними сигналами цього контуру являються: блок завдання БЗ (імітує номінальне значення сили розтягування стрічки); збурюючі дії (вихідний сигнал елемента порівняння - різниця кутової швидкості приводного двигуна конвеєра ДО і швидкості стрічки конвеєра ДШ), який імітує проковзування стрічки.

Існують різні підходи до реалізації завдання управління. Один із них – це побудова алгоритму управління на базі емпіричного алгоритму, наприклад, на базі широковідомих ПІД (пропорційно-інтегро-диференціальних) - регуляторів [2].

Простота таких регуляторів, з одного боку, дозволяє досить швидко розробляти системи управління, а з іншого обмежує діапазон об’єктів, якими вони можуть задовільно управляти. Багатосторонність ПІД-керування забезпечує протягом тривалого часу значимість і популярність даного виду регулювання [3]. В зв’язку з цим, перспективним напрямом удосконалення технологічних процесів виробництва, може бути використання при розробці СЕАК штучного інтелекту.

Прикладний пакет Matlab дозволяє створити імітаційну нейроконтролерну систему керування та регулювання натягу конвеєрної стрічки.

Моделювання може бути здійснено шляхом використання набору функціональних блоків Neural Network Blockset бібліотеки Simulink пакета MATLAB версії 6.0 фірми The Math Works, Inc (блок Model Reference Control). При цьому скористаємося рекомендацією навчання нейроконтролера «з вчителем», приведеною в [4–7].

**Постановка задачі дослідження.** Виявлення шляхів покращення якісних показників роботи конвеєрів на стадії їх проектування та конструювання при використанні сучасних елементів автоматики, систем автоматичного керування, застосування нейроконтролерних систем автоматичної підтримки оптимального технологічного процесу при транспортуванні матеріалу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Побудова імітаційної нейроконтролерної системи регулювання натягу конвеєрної стрічки «з вчителем» передбачає наявність еталонної моделі бажаного контролюемого параметру. В нашому випадку таким параметром є бажаний перехідний процес при натягу стрічки, який повинен реалізовуватися за експоненціальним законом. Таке налаштування можливо здійснити в середовищі Matlab, де передбачений вбудований інструмент оптимізації налаштувань регулятора за заданою формою перехідного процесу. Для вирішення такої задачі оптимізації необхідно додати до моделі Simulink блок Check Step Response Characteristics або скористатися командою Tune, яка знаходиться в блоці ПД – контролера (бібліотека пакету SIMULINK). Таке налагодження контуру здійснимо для автоматизованої конвеєрної лінії дозування сипучих матеріалів при таких початкових параметрах: довжина конвеєра 4 м; швидкість стрічки 0,8 м/с; діаметр барабану 500мм; продуктивність 100 т/год; стрічка конвеєра БКЛН-100 (ширина – 650 мм, міцність на розрив – 1 кН/см, кількість прокладок – 3, відносне подовження при робочому навантаженні: 3,5%. Структурна імітаційна схема контуру автоматизованої системи керування стрічковим конвеєром (контур натягу стрічки) приведена на рис. 2.

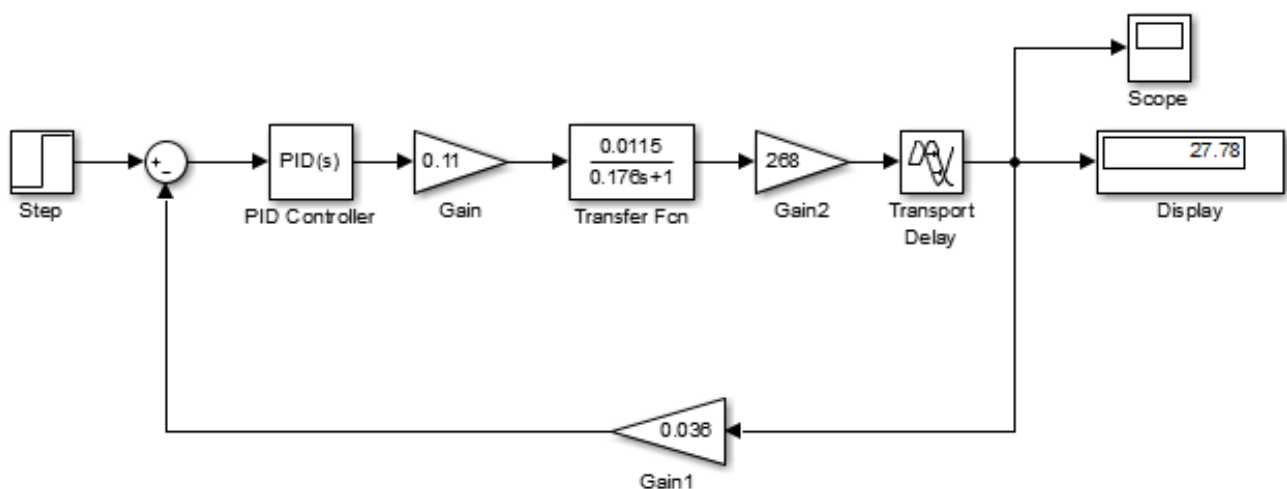


Рис. 2. Структурна схема контуру натягу стрічки автоматизованої системи керування стрічковим конвеєром

На схемі позначені; Gain – передаточна функція пускового пристрою виконавчого механізму; Transfer Fcn - передаточна функція виконавчого двигуна натягу стрічки; Gain1 – передаточна функція датчика зусилля розтягування стрічки; Gain2 – передаточна функція редуктора виконавчого механізму; Transport Delay – передаточна функція об’єкта регулювання (стрічки). Блок Step імітує сигнал розузгодження (проковзування або розтягування стрічки)

Після налаштування ПД – регулятора (шляхом використання команди Tune...) на рис. 3 приведено отриманий бажаний перехідний процес роботи натяжного пристрою конвеєра, вигляд якого носить експоненційний характер. При налаштуванні нейронної системи (навчанні нейроконтролера «з вчителем»), регулювання натягу стрічки, цей процес приймемо за «еталонний перехідний процес».

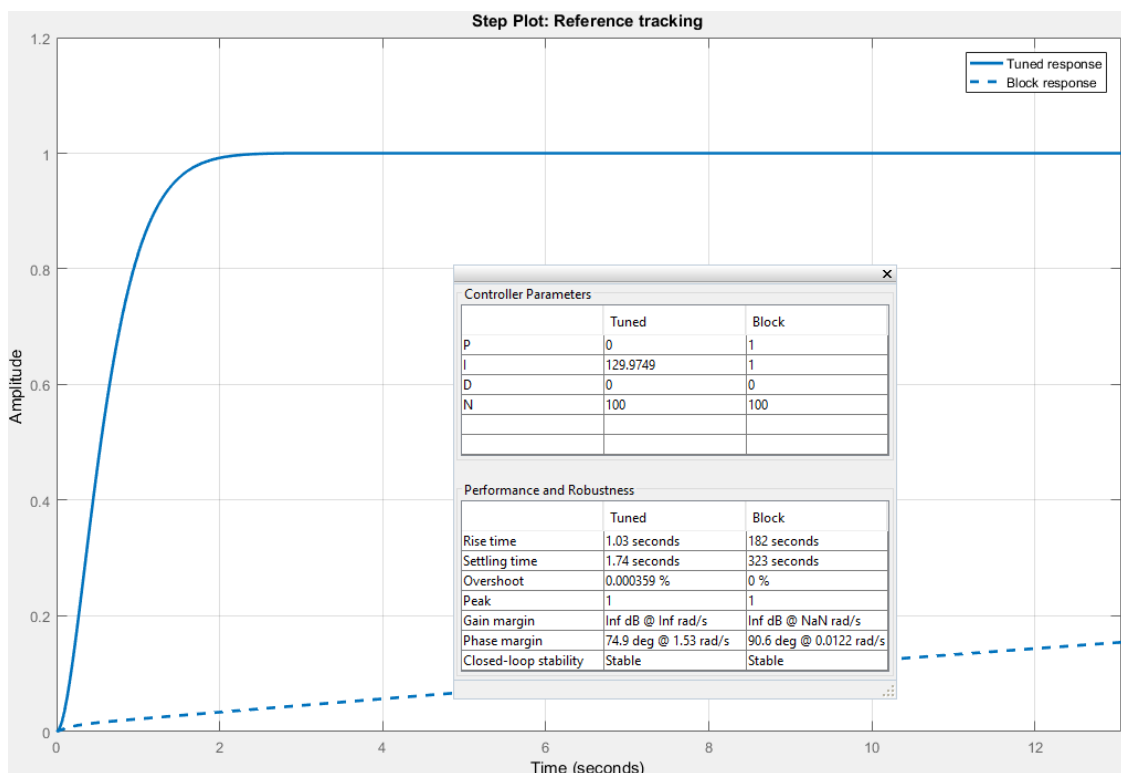


Рис. 3. Перехідний (еталонний) перехідний процес контура натягу стрічки

Для дослідження роботи конвеєра створена імітаційна структурна схема еталонної моделі пристрою натягу стрічки (рис. 4). Отримана імітаційна модель системи натягу стрічки конвеєра надалі слугуватиме еталонною моделлю при навчанні нейроконтролера «з вчителем».

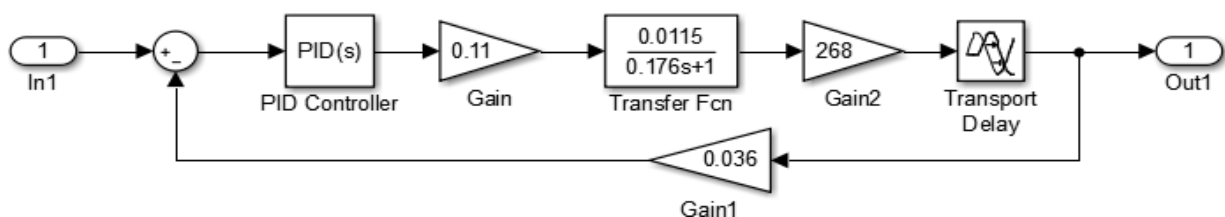


Рис. 4. Структурна схема імітаційної еталонної моделі пристрою натягу конвеєрної стрічки

Супервізорне навчання нейроконтролера здійснено за методикою приведеною в [5, 7].

Імітаційна нейронна модель системи регулювання натягу стрічки конвеєра з нейроконтролером у середовищі SIMULINK приведена на рис. 5.

При навчанні нейроконтролера в схемі передбачено застосування блоку випадкових величин Uniform Random Number, який імітує розузгоджувальний сигнал (розтягування або проковзування конвеєрної стрічки).

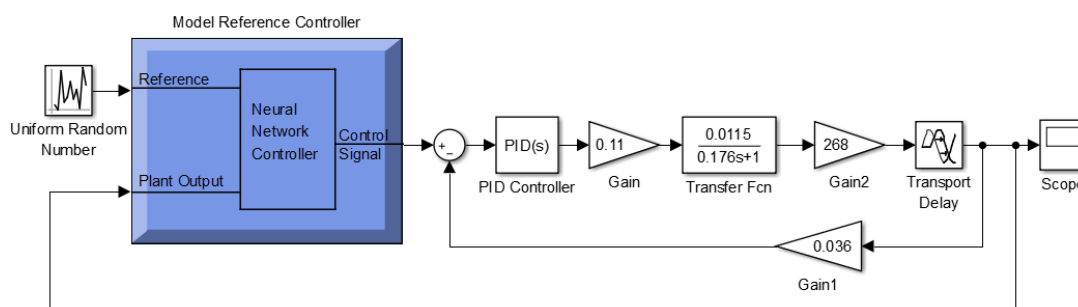


Рис. 5. Імітаційна модель САР натягу стрічки конвеєра з нейроконтролером в середовищі SIMULINK

Налаштування контролера здійснювалося по методиці, приведеній в [6, 7] двома етапами. На першому етапі проводилася ідентифікація об'єкта управління (навчання ідентифікаційної МНС), а на другому – навчання керуючої БНС за умови, щоб поведінка замкнутої системи «контролер-об'єкт управління» була б ідентичною поведінці заздалегідь обраної моделі. Таким чином, у вибраному контролері реалізована стратегія навчання «з учителем». Перше налаштування нейроконтролера здійснювалось з використанням 5 нейронів та 3000 навчальних уроків (рис. 6).

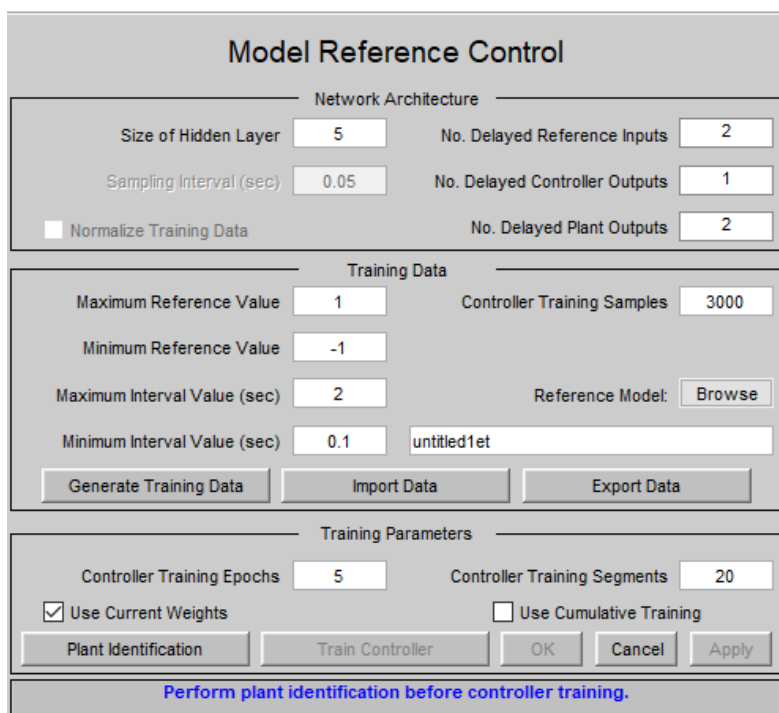


Рис.6. Вікно ідентифікатора Plant Identification

Результати першого дослідження приведені на рис. 7

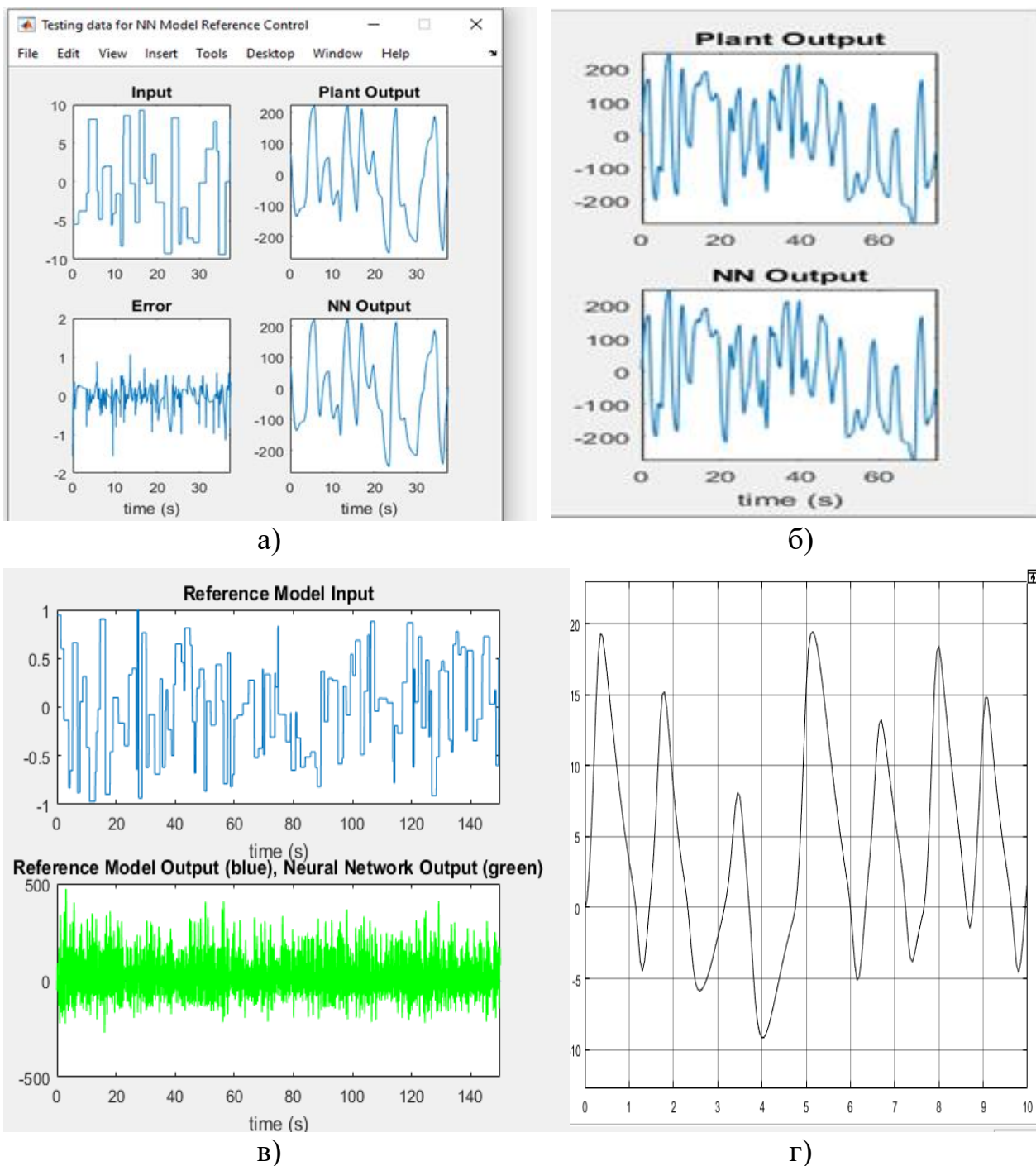


Рис. 7 Налаштування процесу ідентифікації об'єкту регулювання (графіки поведінки вхідного та вихідного сигналів: а) – початок навчання, б) – закінчення навчання, в) – помилка навчання нейроконтролера, г) – перехідний процес натягу стрічки за результатами навчання

Друге налаштування нейроконтролера здійснювалось з використанням 10 нейронів та 3000 навчальних уроків (рис. 8).

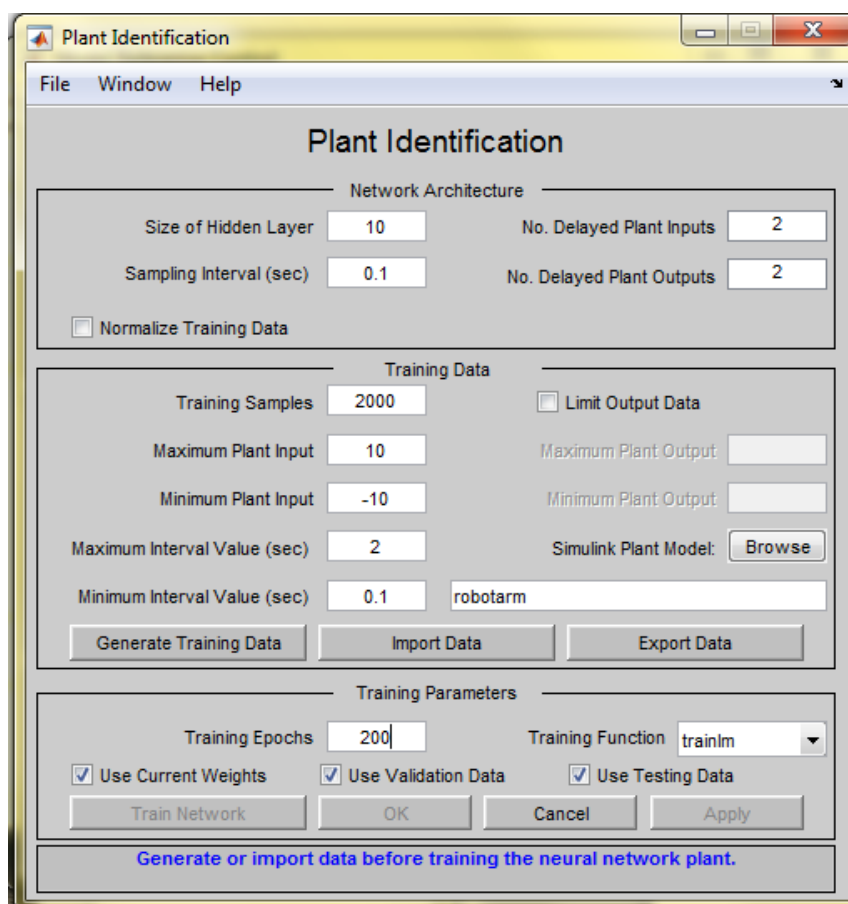


Рис. 8. Вікно ідентифікатора Plant Identification

Результати другого дослідження приведені на рис. 8.

На завершальних графіках рис. 7в, 9в спостерігається майже 100% відпрацювання вхідного сигналу нейромережевою системою. Нейроконтролер синя (верхня) кривавиконав оптимізацію вхідного сигналу згідно з еталонною моделлю та максимально точно відтворив вихідний сигнал системи зелене(нижня) крива.

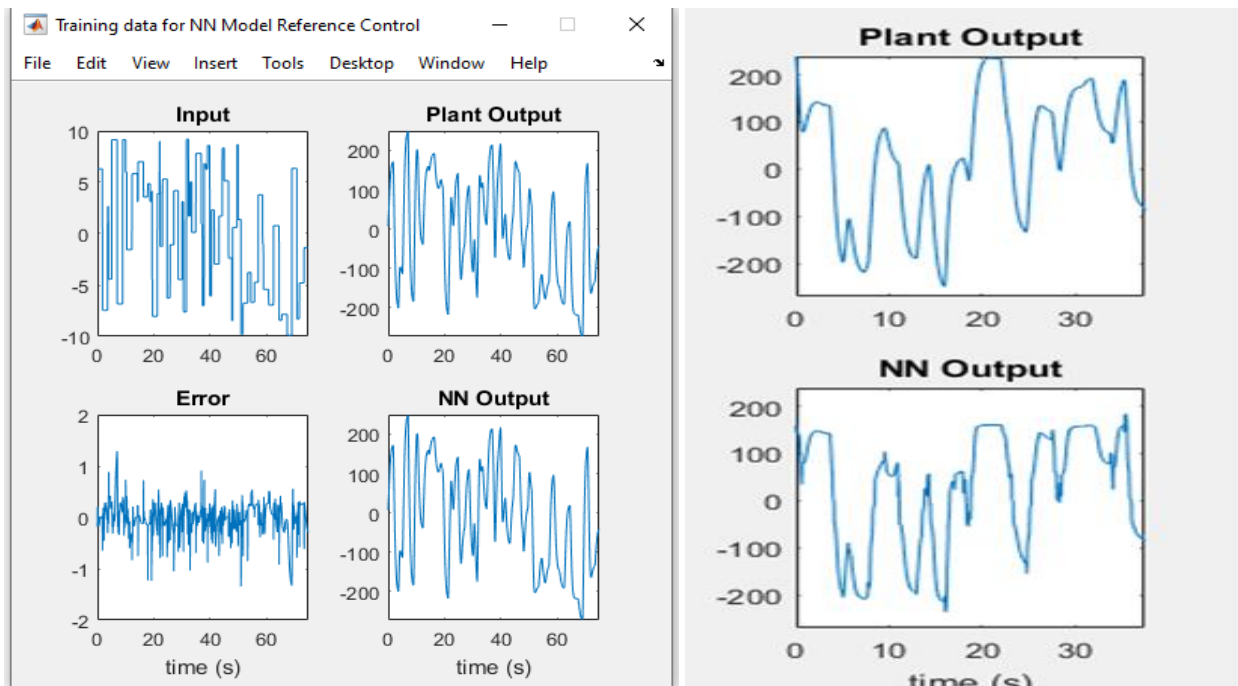
Результати моделювання, наведені на графіках (рис 7в, 9в), показали, що на такий результат суттєво впливає кількість нейронів. Однак на якість навчання, як показали проміжкові дослідження впливає й частота дискретних відліків, які подаються на вхід (система не встигає виконувати необхідне відпрацювання вхідного сигналу і на виході спостерігається неякісне навчання).

У зв'язку з цим, в залежності від складності керуючої системи необхідно здійснити дослідження процесу навчання нейроконтролера шляхом зміни тривалості вхідного сигналу і знаходження реальних значень, за яких система буде якісно обробляти вхідний сигнал.

Таким чином, за оптимальної кількості нейронів та правильного налаштування параметрів ідентифікатора можливе досягнення бажаної точності відпрацювання сигналів нейроконтролером.

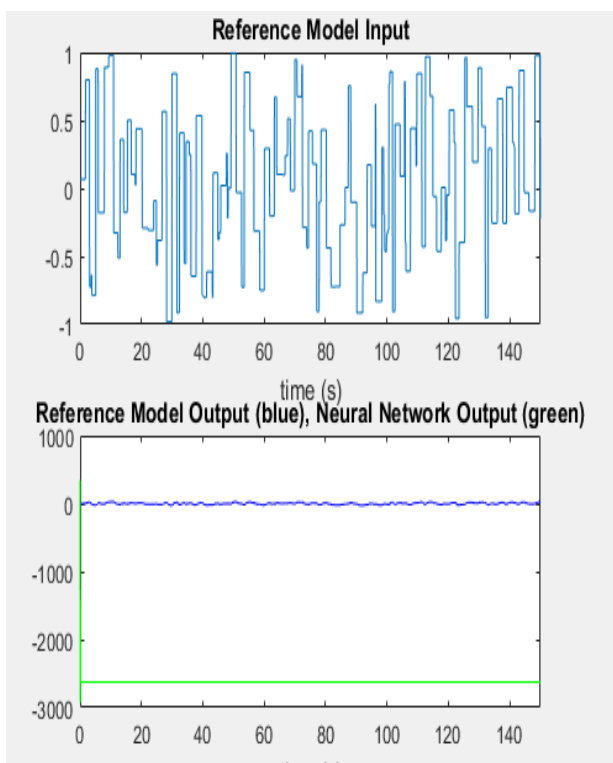
Попереднє навчання ідентифікатора нейроконтролера Plant Identification та отримання всіх графіків дало можливість здійснення навчання самого контролера на основі загальної еталонної моделі керування.



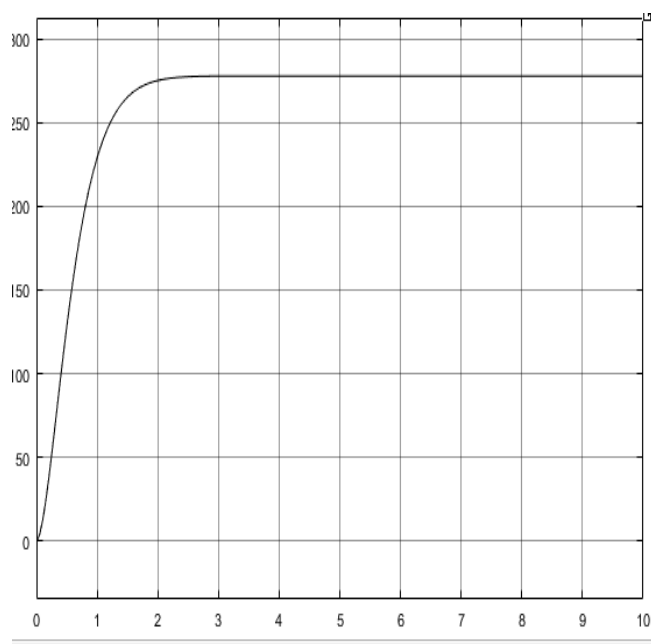


а)

б)



в)



г)

Рис. 9. Налаштування процесу ідентифікації об'єкту регулювання (графіки поведінки вхідного та вихідного сигналів: а) – початок навчання, б) – закінчення навчання, в) – помилка навчання нейроконтролера, г) – перехідний процес натягу стрічки за результатами навчання

Для контролера Model Reference Controller були введені відповідні бажані дані процесу навчання. Після вибору еталонної моделі, числа нейронів, введення

загальних параметрів був здійснений етап створення тренувальних даних для нейроконтролера шляхом проведення 3000 навчальних уроків.

Введення даних та вибору необхідних параметрів ідентифікатора і контролера дозволило здійснити генерацію даних. Оскільки, кількість етапів навчання та сегментів кожного етапу забезпечує точність відпрацювання вхідного сигналу то наступним кроком налагодження системи необхідно, експериментальним шляхом, знайти співвідношення кількості етапів навчання до числа сегментів.

**Висновки.** Розроблена і досліджена імітаційна нейроконтролерна система регулювання та підтримки оптимального контролю бажаного значення зусилля натягу конвеєрної стрічки

Для систем, що містять елементи із значними постійними часу, доцільно при супервізорному навчанні нейроконтролера знаходження експериментальним шляхом співвідношення кількості етапів навчання до числа сегментів.

Імітаційна модель нейроконтролерної системи регулювання натягу конвеєрної стрічки здатна до адаптування і забезпечує підвищення надійності та дотримання бажаних параметрів його роботи.

Модель може бути рекомендована для використання (на стадії проектування) попереднього знаходження параметрів нейроконтролера, налагодження регулятора системи, отримання прогнозованого перехідного процесу і підвищення продуктивності роботи метантенку.

#### Перелік посилань

1. *Автоматизація та керування конвеєрними системами* (2023). [http://www.vts.kiev.ua/products/konv\\_sustems/13-avtomatizaciya-iupravlenie-konveyernymi-sistemami.html](http://www.vts.kiev.ua/products/konv_sustems/13-avtomatizaciya-iupravlenie-konveyernymi-sistemami.html)
2. Gulyaiev, A. K. (2001). *MATLAB 5.3 Imitatsionnoe modelirovanie v srede Windows*. KORONA print.
3. Dyakonov, V. P., & Kruglov, V. V. (2006). *MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP2+ Simulink 5/6. Instrumenti iskusstvennogo intellekta i bioinformatiki*. SOLON-PRESS.
4. Kozhubaev, O. V., Prokofev, I. M. & Semènov, Yu. N. (2011). *Imitatsionnaya model lentochnogo konveera (3-tie vyd.)*. Nauka i obrazovanie
5. Мартиненко, І. І., & Лисенко, В. Ф. (1990). *Проектування систем автоматики*. Агропромвидав.
6. Попович, М. Г., & Ковальчук, О. В. (1997). *Теорія автоматичного керування. Підручник*, Либідь.
7. Terekhov, V. A., Yefimov, D. V., & Tyukin I. Yu. (2002). *Neirosetevie sistemi upravleniya*. IPRZhR.

#### ABSTRACT

**Goal.** Identification of ways to improve the quality indicators of conveyor operation during their design and construction using modern automation elements, automatic control systems, and the application of neural controller systems for automatic support of optimal technological processes during material transportation.

**Research methodology.** The proposed methodology involves supervisory training of a neural controller system for automatic tensioning of the conveyor belt using the MATLAB software package.

**Research results.** A sequence for building and training an imitation neural control system for regulating (supporting) the optimal tension of the conveyor belt has been developed and investigated using the MATLAB software package. It was established that for systems containing elements with significant time constants, it is advisable to experimentally determine the ratio of the number of training stages to the number of segments during supervisory training of the neural controller.

**Scientific novelty.** The article proposes the construction of an imitation model of a tension control system for a conveyor belt using artificial intelligence and the implementation of a neural controller. This approach allows for preliminary tuning of the developed control system and its utilization in the design phase of similar objects.

**Practical significance.** The sequence for constructing an imitation model of an optimal tension control neural system for a conveyor belt can be applied in the design and investigation of similar mechanisms. The system is adaptable and enhances reliability while maintaining desired performance parameters. The model can be recommended for preliminary determination of neural controller parameters, regulator system tuning, obtaining predicted transient processes, and improving work productivity.

**Keywords:** *conveyor, conveyor belt, sensor, executive mechanism, conveyor belt tensioning station, simulation modeling, neural controller, neural control regulation system.*