

І. В. ГРИГОРЕНКО, С. М. ГРИГОРЕНКО

ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ РЕЖИМІВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЇ СИСТЕМИ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

В роботі розглянуто методи вирішення науково-практичної задачі визначення робочих режимів для лазерної системи тестового контролю при урахуванні впливу зовнішніх факторів – забрудненості повітря робочої зони парами змащувально-охолоджувальної рідини та вібрації за допомогою штучної нейронної мережі. Проаналізовано фактори, що впливають на точність роботи лазерної системи та доведено можливість застосування апарату штучної нейронної мережі для визначення таких параметрів забрудненості повітря робочої зони та вібрації, які нададуть можливість мінімізувати похибку при проведенні вимірів. Проведено комп'ютерне моделювання, яке підтвердило можливість враховувати зовнішні фактори та подавляти їх вплив на результат вимірювань завдяки створенню цифрового фільтру на основі нейронної мережі.

Ключові слова: тестовий контроль, штучна нейронна мережа, лазерна система, перцептрон, похибка вимірювань.

И. В. ГРИГОРЕНКО, С. Н. ГРИГОРЕНКО

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В работе рассмотрены методы решения научно-практической задачи определения рабочих режимов для лазерной системы тестового контроля при учете влияния внешних факторов - загрязнения воздуха рабочей зоны парами смазывающе-охлаждающей жидкости и вибрации с помощью искусственной нейронной сети. Проанализированы факторы, влияющие на точность работы лазерной системы и доказана возможность применения аппарата искусственной нейронной сети для определения таких параметров загрязнения воздуха рабочей зоны и вибрации, которые предоставят возможность минимизировать погрешность при проведении измерений. Проведено компьютерное моделирование, которое подтвердило возможность учитывать внешние факторы и подавлять их влияние на результат измерений благодаря созданию цифрового фильтра на основе нейронной сети.

Ключевые слова: тестовый контроль, искусственная нейронная сеть, лазерная система, перцептрон, погрешность измерений.

I. V. HRIHORENKO, S. N. HRIHORENKO

DETERMINATION OF WORKING REGIMES FOR THE LASER SYSTEM OF TESTING CONTROL WITH THE ARTIFICIAL NEURON NETWORK

The paper considers methods for solving the scientific and practical task of determining the operating modes for the laser system of test control, taking into account the influence of external factors - the air pollution of the working zone by the vapor of the lubricating - cooling liquid and vibration with the help of an artificial neural network. The factors that influence the accuracy of the laser system are analyzed and the possibility of using the artificial neural network apparatus to determine the parameters of the air pollution of the working zone and vibration, which will provide an opportunity to minimize the error in the measurements, has been analyzed. Computer simulation has been carried out, which confirmed the possibility of taking into account external factors and suppressing their influence on the measurement result due to the creation of a digital filter based on the neural network.

Artificial Neural Networks are practiced wherever the tasks of forecasting, classification or management are to be dealt with. The task of controlling the operation of the system, taking into account the factors influencing the result of measurements, can also be solved by the artificial neural network (ANN). ANN is a convenient basis for the presentation of information models, therefore it is expedient to construct such an ATM structure that will describe the work of the control system in the most accurate way taking into account the influence of internal and external factors that affect the accuracy and reliability of the measurement results.

Keywords: test control, artificial neural network, the laser system, perceptron, measurement error.

Вступ. Штучні нейронні мережі ввійшли в практику скрізь, де потрібно вирішувати завдання прогнозування, класифікації або керування. Задачу контролю роботи системи з урахуванням факторів, що впливають на результат вимірювань, також можливо вирішити завдяки штучній нейронній мережі (ШНМ). ШНМ є зручним базисом для подання інформаційних моделей, тому доцільним є побудова такої структури ШНМ, котра як найточніше буде описувати роботу системи контролю з урахуванням впливу внутрішніх та зовнішніх факторів, що впливають на точність та достовірність результатів вимірювань.

Розвиток інформаційних технологій дозволяє істотно підвищити точність обробки даних з точки зору вирішення задач апроксимації функціональних залежностей впливу зовнішніх та внутрішніх факторів

на точність результатів вимірювань завдяки використанню ШНМ.

Завдяки комп'ютерному моделюванню процесів впливу заважаючих факторів на систему тестового контролю стає можливим встановити діапазони змін факторів, які можуть бути оброблені та скомпенсовані ШНМ, тобто визначити робочі режими для лазерної системи тестового контролю.

Аналіз літературних джерел інформації та постановка проблеми. У роботі [1] розглянуті основні методи та загальні підходи до вирішення задач проектування лазерних систем, показані фактори, що впливають на розповсюдження хвилі оптичного діапазону у навколишньому середовищі, а також вплив вибору довжини хвилі випромінювання на характеристики сигналів, що приймаються, але не

вказані заходи, що дозволяють у повній мірі врахувати їх вплив. Основні види оптичних завод природного та штучного походження розглянуті у роботі [2]. Описані способи організації штучних завод, а також механізм впливу завод на оптико-електричні прилади, залишається визначити математичний апарат, що здатен обробити та врахувати їх вплив на корисний сигнал. У роботі [3] розглянуті питання підвищення точності лазерної системи виміру геометричних розмірів та якості поверхні деталей шляхом побудови ШНМ, що описує її поведінку, і володіє властивостями прогнозування, та подальшої обробки отриманих з її допомогою результатів. Саме той факт, що технології ШНМ дозволяють знаходити складні зв'язки між взаємопов'язаними технологічними параметрами та застосовувати їх для обробки первинної інформації [4] дає підставу для використання їх у системах лазерного контролю.

У роботі [5] запропоновано комп'ютерна модель системи лазерного контролю виконана у середовищі *MatLab*. Використання такої комп'ютерної моделі дає можливість оцінити динамічну похибку вимірювання. Встановлені фактори, які впливають на роботу лазерної системи тестового контролю умовно розділені на зовнішні та внутрішні. Зміна в часі величин всіх факторів може бути основою для формування вихідних масивів даних. Зазначено, що для забезпечення потрібної якості показань лазерної системи контролю необхідно провести розрахунок та

аналіз теплових режимів роботи, але цього не достатньо. Потрібно також враховувати величину вібрації, яку утворює металообробляючий верстат (вібрації можуть призвести до збільшення похибки і навіть до неможливості проведення вимірювань) і забрудненість повітря робочої зони парами змащувально-охолоджувальної рідини, що впливає на точність фокусування лазерного променя.

Для аналізу впливу факторів на точність роботи лазерної системи потрібно мати порядку сотень спостережень; чим більше спостережень, тим з більшою імовірністю нейронна мережа зможе їх компенсувати.

Основний текст. В роботі [5] розглянуто можливість побудови тестових впливів для діагностичного приладу лазерних систем. На Рис. 1 представлено структурну схему такої системи контролю.

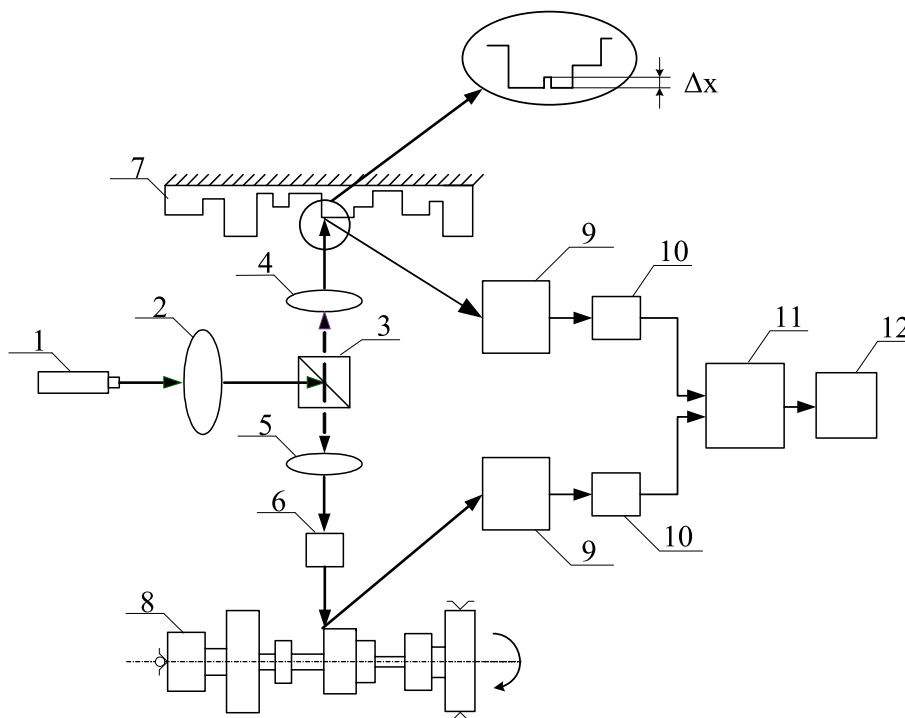


Рис. 1 – Структурна схема системи лазерного контролю

Пристрій, працює наступним чином: світловий потік від лазерного каналу 1, проходячи через фокусуєчу двоопуклу лінзу 2, потрапляє на світлоподільну призму 3, яка ділить один світловий потік на два різних за інтенсивністю світлопотока. Обидва потоки фокушуються за допомогою окремих фокусуєчих систем 4, 5. Для вирівнювання інтенсивностей на шляху робочого світлового потоку встановлено оптичний атенуатор 6. Світлові потоки потрапляють відповідно на еталонну за геометричними розмірами поверхню 7 і об'єкт вимірювання 8. На еталонну поверхню нанесено ділянку зразкового перепаду розміром ΔX . З об'єктів 7 і 8 зчитується інформація про якість їх поверхні за допомогою відбиття світлових потоків від поверхонь даних об'єктів. Відбиваючись від об'єктів 7 і 8, світловий потік потрапляє на фотоприймачі 9, які перетворюють інтенсивність світлового потоку в електричний сигнал. З виходів фотоприймачів 9 обидва електричні сигнали (напруга) підсилюються, надходячи до підсилювачів 10. Для порівняння електричних сигналів використовуємо компаратор 11. Дані передаються на блок обробки даних 12.

Кожний з компонентів системи має свої властивості й характер поведінки залежно від

власного стану й зовнішніх умов. Якщо всі можливі прояви системи зводяться до суми проявів її компонентів, то така система є простою, незважаючи на те, що число її компонентів може бути великим. Для опису простих систем традиційно використовують методи аналізу, що полягають в послідовному розчленуванні системи на окремі компоненти й побудові моделі із простіших елементів. Ці операції виконуються за допомогою методів математичного моделювання. Комп'ютерна модель системи лазерного контролю виконана у середовищі MatLab (Рис. 2).

Склад спрощеної моделі:

1 – лазерний випромінювач; реалізований джерелом ступінчастого сигналу. Випромінювач є єдиним джерелом сигналу в системі. Очевидно, що вимірювання починаються після закінчення перехідних режимів в випромінювачі, отже динамічні характеристики випромінювача не розглядаються. Також в даній моделі нехтуємо змінами інтенсивності випромінювання, пов'язаними з тривалістю роботи випромінювача, нагріванням, відхиленнями живлячої напруги.

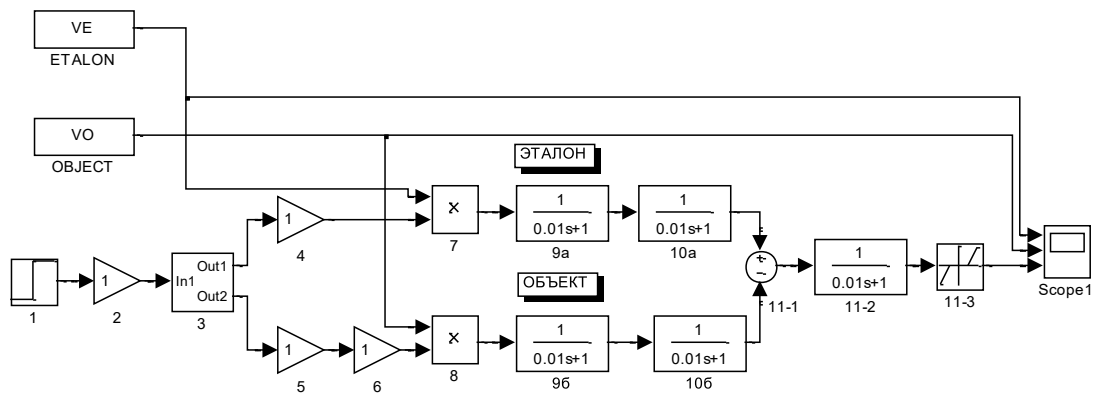


Рис. 2 – Комп'ютерна модель системи лазерного контролю

2 – двоопукла лінза, що фокусує; реалізується блоком лінійного підсилення. У даній моделі лінза розглядається як безінерційний елемент, коефіцієнт підсилення якого не перевершує 1.

3 – світлоподільна призма; реалізується блоком-підсистемою з одним входом і двома виходами; кожен з виходів обслуговується своїм лінійним підсилювачем. Підсилювачі володіють різними значеннями коефіцієнтів підсилення, що дозволяє формувати сигнали різної інтенсивності для каналу еталона і каналу об'єкта. Призма також розглядається як безінерційний елемент.

4, 5 – фокусуєчі системи,

6 – оптичний атенуатор реалізовані на блоках лінійних підсилювачів, коефіцієнти підсилення яких підбираються з урахуванням особливостей

застосовуваних лінз.

VE і VO – форма профілю еталона і контрольованої деталі відповідно. Реалізовані блоками From Workspace, вихідними даними для них виступають двовимірні структури, що містять числові значення профілю еталона (або деталі) по лінії сканування лазерного променя.

Числові значення можуть бути задані у файлі-сценарії, що дозволить здійснювати редагування і багаторазове використання даних.

7, 8 – відбиті промені від еталону і деталі формуються на блоках множення. Блоки мають два входи. На один з входів подається послідовність числових значень профілю, а на іншій – значення, що відповідає інтенсивності лазерного променя, що пройшов по оптичному каналу.

9, 10 – фотодатчики і попередні підсилювачі. Реалізовані блоками передавальних функцій. Представлені аперіодичними ланками першого порядку. Можуть бути реалізовані одним блоком без суттєвої втрати точності. Блоки з індексом «а» і «б» передбачені для каналів еталона і деталі відповідно.

11 – підсистема компаратора, яка реалізована суматором (11-1), аперіодичною ланкою (11-2) і

блоком нечутливості (11-3). Підсистема виявляє розлад, при цьому враховуються спотворення у вигляді затягування фронтів і нечутливості слабких сигналів.

Діаграми, що отримані за допомогою даної моделі при наявності тестових впливів представлено на Рис. 3.

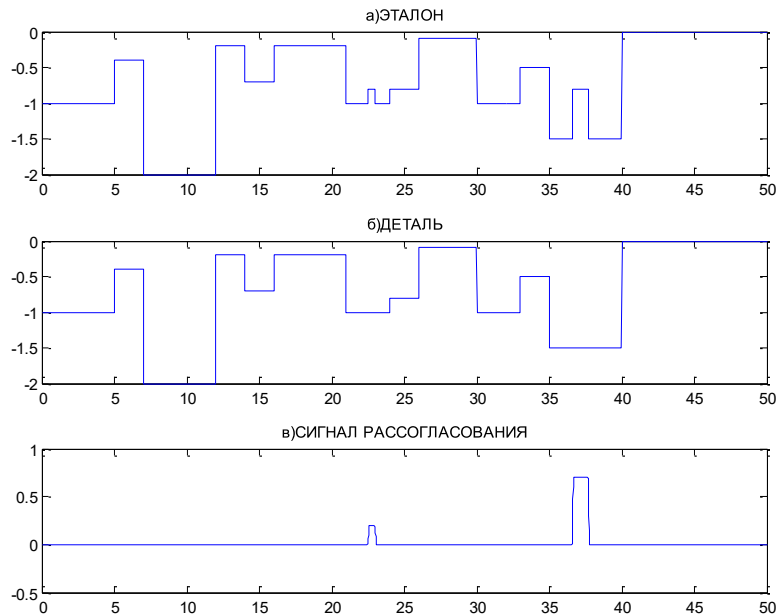


Рис. 3 – Діаграми роботи системи при наявності тестових впливів

Використання такої комп'ютерної моделі дає можливість оцінити динамічну похибку вимірювання.

До моделі (Рис. 2) будемо додавати фактори, що впливають на роботу лазерної системи (ЛС). Перший фактор це забрудненість повітря робочої зони парами рідини, що змазує та охолоджує, він викликає послаблення оптичного сигналу: як вихідного (що йде від елементів 4 і 6), так і відбитого (що йде від елементів 7 і 8). Для моделювання дії забрудненості

на блоки множення 7 і 8 подаємо третій сигнал з меншим значенням 1. Джерелом його буде блок константи. Оскільки забрудненість в каналі еталона і в каналі деталі може відрізнитися, то для каналу деталі передбачимо підсилювач, коефіцієнт якого може флюктувати навколо 1 [6]. Схема приймає вигляд Рис. 4.

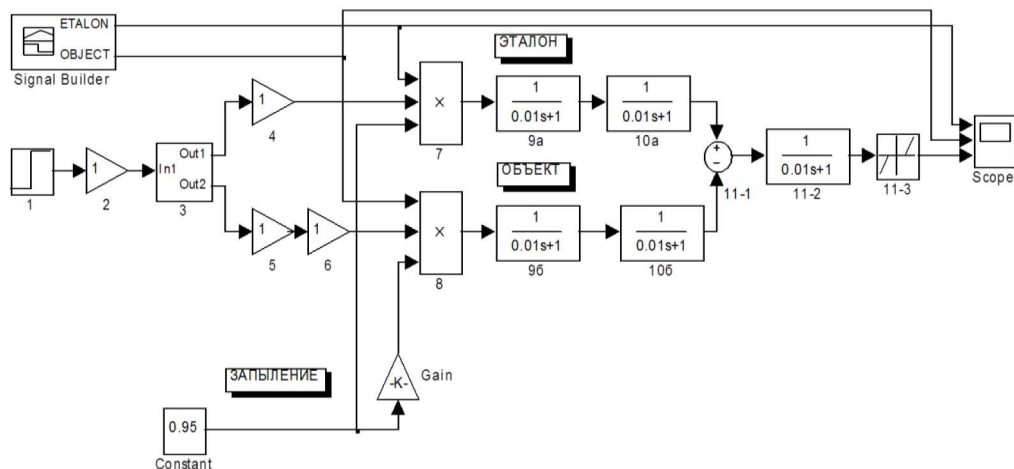


Рис. 4 – Комп'ютерна модель системи лазерного контролю з урахуванням забрудненості повітря робочої зони

При зменшенні константи до 0,95 та при істотні спотворення на різницевому сигналі (Рис. 5). коефіцієнті ослаблення 1,01 на підсилювачі помітні

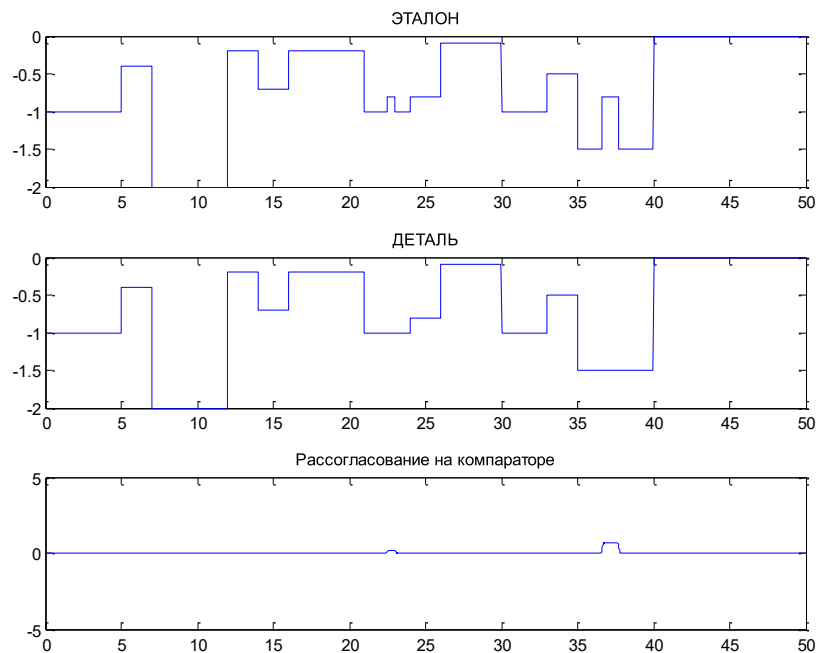


Рис. 5 – Діаграми роботи системи при наявності забрудненості повітря робочої зони

Розглянемо вплив другого заважаючого фактору – вібрації. Вібрації можуть призводити до короточасних відхилень деталі і еталона від лінії сканування лазера. Це викликає спотворення в сприйнятті контуру. В якості джерела вібрацій

застосуємо два генератора синусоїди. Їх сигнали будуть додаватися до сигналів від Signal Builder роздільно для деталі і еталона. Схема приймає вигляд Рис. 6.

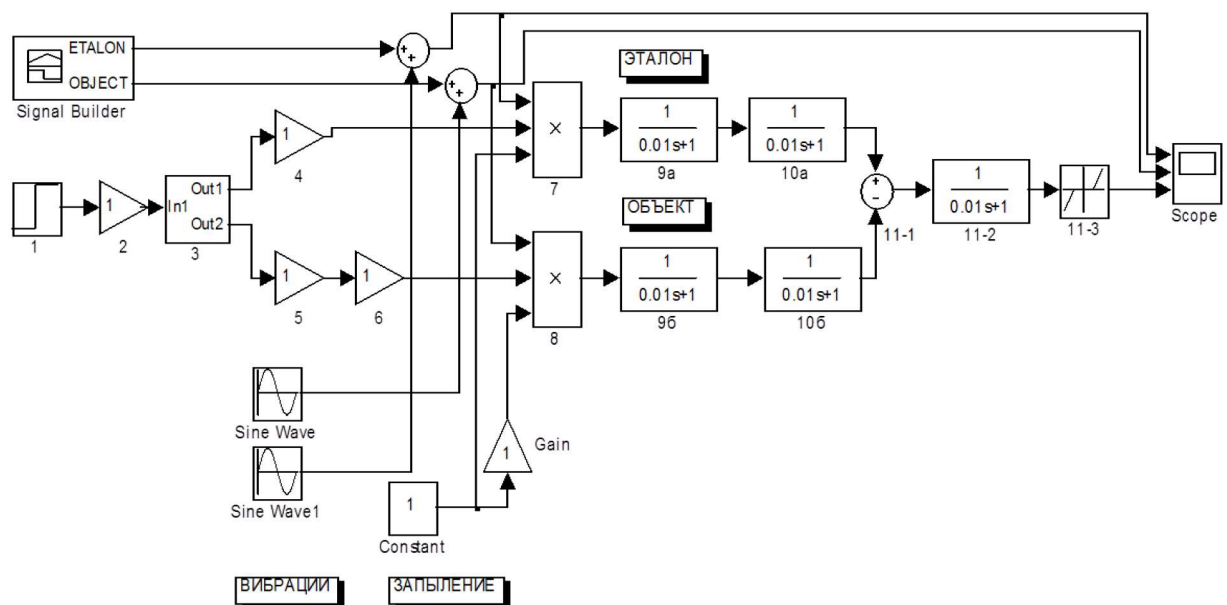


Рис. 6 – Комп'ютерна модель системи лазерного контролю з урахуванням вібрації

Відмінності між деталлю і еталонем мають вигляд представлений на діаграмі (Рис. 7)

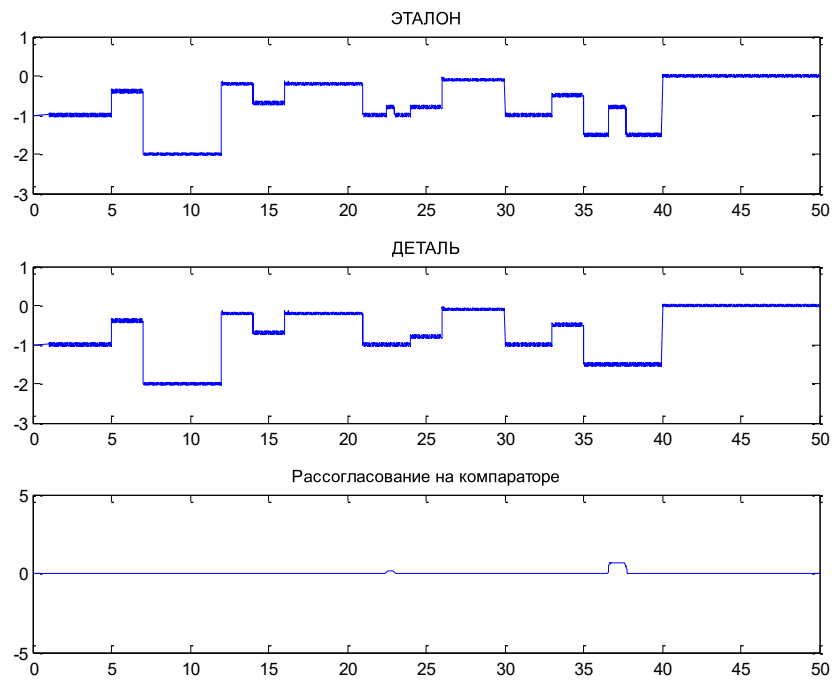


Рис. 7 – Діаграми роботи системи при наявності вібрації

Система повинна мати інтегруючі властивості, щоб задавити адитивний шум, оскільки коли шум синусоїдальний то він вносить істотну перешкоду, тому при зсуві фази на $\pi/4$ спостерігаємо «брижі» по контуру сигналу (Рис. 8). Вплив вібрації зростає при збільшенні фазового зсуву. Очевидно, що

вплив вібрації більш помітний при збільшенні амплітуди коливань, тому доцільним є використовувати перцептрон, який буде запрограмований на коригування коефіцієнтів перетворення окремих ланок системи.

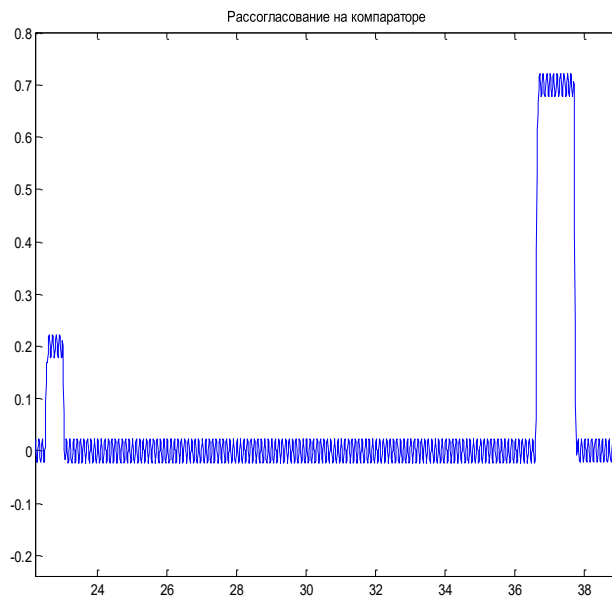


Рис. 8 – Неузгодженість між деталлю і еталонем при фазі $\pi/4$

На цей час розроблено багато різних типів ШНМ. В даній роботі досліджено мережу типу «багатошаровий перцептрон» (Multy Layer Perceptron).

Досліджувана мережа:

- статична (її структура не змінюється в часі);
- навчається з вчителем;
- має прямі зв'язки (Feed Forward Network);
- повнозв'язна (Fully Connected Network),

тобто всі нейрони наступного шару мають зв'язки з усіма нейронами попереднього.

Вибір такої мережі обумовлений наступними факторами:

- розроблено математичний апарат, що доводить здатність подібних мереж апроксимувати будь-яку функцію N змінних, зіставивши N вхідних значень M вихідних [7];

- при вирішенні задач класифікації така мережа навчання «з вчителем» виробляє внутрішнє подання вихідних даних, автоматичне виділення ознак є великою перевагою, наприклад, перед мережами з радіально-базисною функцією активації (RBF, Radial Basis Function Network), які тільки можуть симулювати схему класифікації «найближчий сусід».

Розглянута мережа складається з шарів наступних типів: вхідний; приховані; вихідний.

Вхідний шар один і він є першим шаром мережі. Вхідні дані у вигляді ознак подаються саме на цей шар. Нейрони вхідного шару мають особливу функцію активації, розглянуту в розділі «Кодування даних» (далі під функцією активації буде матися на увазі активаційна функція для нейронів прихованих і вихідного шарів). Цей шар не навчається. Кількість нейронів у вхідному шарі дорівнює кількості вхідних змінних, тобто кількості ознак.

Кількість прихованих шарів та нейронів у них визначають ємність мережі, тобто її здатність до узагальнення. Вихідний шар один і є останнім шаром мережі. При навчанні на нього подаються вхідні дані у вигляді закодованих типів дефектів або їх параметрів, а при використанні з нього знімаються вихідні дані. Цей шар навчається нарівні з прихованими шарами. При вирішенні задачі класифікації нейрони вихідного шару мають сигмаїдальну функцію активації, при визначенні параметрів для прихованого шару необхідно використовувати лінійну функцію активації [7]. Надалі, будуть використовуватися наступні позначення: m – номер шару ($0..Nm-1$), де $Nm > 2$ – число шарів у мережі, включаючи вхідний; n – номер нейрона в шарі ($0..Nnm-1$), де Nnm – число нейронів у шарі m (Рис.9).

Кожен нейрон розглянутої мережі представляється набором наступних параметрів:

w – вектор вхідних ваг нейрона, таким чином; w_{m,n,n_i} – вага, що зв'язує вхід нейрона n в шарі m з виходом нейрона n_i в шарі $m-1$; поріг нейрона (threshold), що представляє вага зв'язку з поляризаційним нейроном (самі поляризаційні нейрони в структуру мережі не включені); y – вихід нейрона, значення якого визначається як

$$y_{m,n} = F(S_{m,n})$$

де F – функція активації нейрона,

$S_{m,n}$ – зважена сума для нейрона n в шарі m і визначається як

$$S_{m,n} = \sum n_i (y_{m-1, n_i} * w_{m,n, n_i}) - T_{m,n}.$$

Для того, щоб виділити дані для навчання перцептрона, який буде володіти властивостями цифрового фільтру, потрібно провести комп'ютерне моделювання, побудувати фазочастотні характеристики та визначені границі роботи лазерної системи при впливі процесів засміченості повітря робочої зони та вібрації на корисний сигнал.

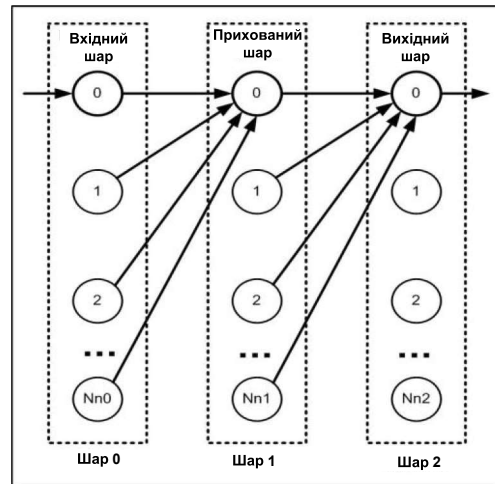
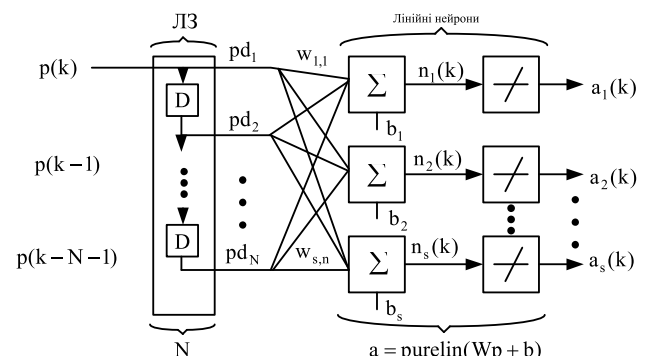


Рис. 9 – Структура нейронної мережі

Цифровий фільтр повинен подавляти шумовий ефект від дії засміченості повітря робочої зони та вібрації. Задача полягає в тому, щоб за допомогою адаптивного фільтру сформувати таку модель шуму, яка при відніманні зашумленого сигналу дозволила б виділити корисний сигнал. Така адаптивна фільтрація краща за класичну. При побудові такого фільтру потрібно використовувати більше одного нейрону. Структурна схема такого багатомірного цифрового фільтру представлена на Рис.10.



ЛЗ – лінія затримки; W – матриця ваг; b – вектор зміщення

Рис. 10 – Структурна схема цифрового фільтру

Вібрація, як зовнішній фактор, впливає на кінцевий результат, оскільки чим більше частота, тим менш границя роботи лазерної системи. Слід також зазначити, що на низьких частотах частково теж подавляється сигнал через зсув фази.

Запиленість, як зовнішній фактор, вносить значний вплив на роботу лазерної системи. При цьому границі робочого діапазону ще більше звужуються, тому що коли відбувається зсув по фазі від $\pi/4$ до $\pi/2$, то починається посилення шуму. У такому випадку нейронна мережа внесе корекцію у результат вимірювань, що надасть можливість нейтралізувати

дію зовнішнього фактору на рівні математичної моделі.

На Рис. 11 показана абсолютна частота, по мірі зростання якої область, в якій розпізнається достовірний сигнал спочатку розширюється, а потім звужується. Екстремум приходиться на 100 Гц, а з 500 Гц – сигнал не проходить. Для роботи обмежуємо деяку область де можна буде працювати, це буде діапазон частот від 10 Гц до 100 Гц. За границею цієї області будемо вважати дані недоступні.

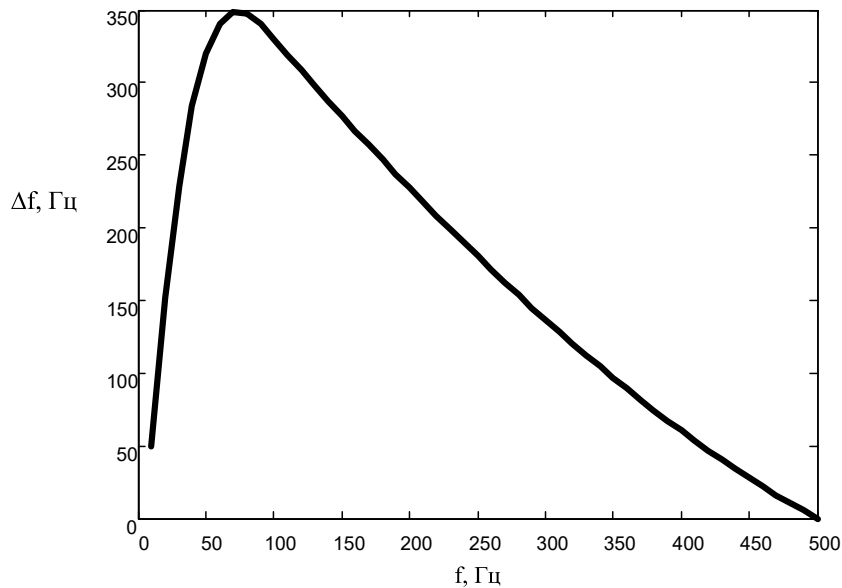


Рис. 11 – Границі абсолютної частоти

Для того, щоб побачити загальну картину границь роботи лазерної системи побудуємо загальну фазочастотну характеристику (Рис. 12). Однак для

500 Гц и 1000 Гц це можна не робити, бо усі результати зводяться до нуля.

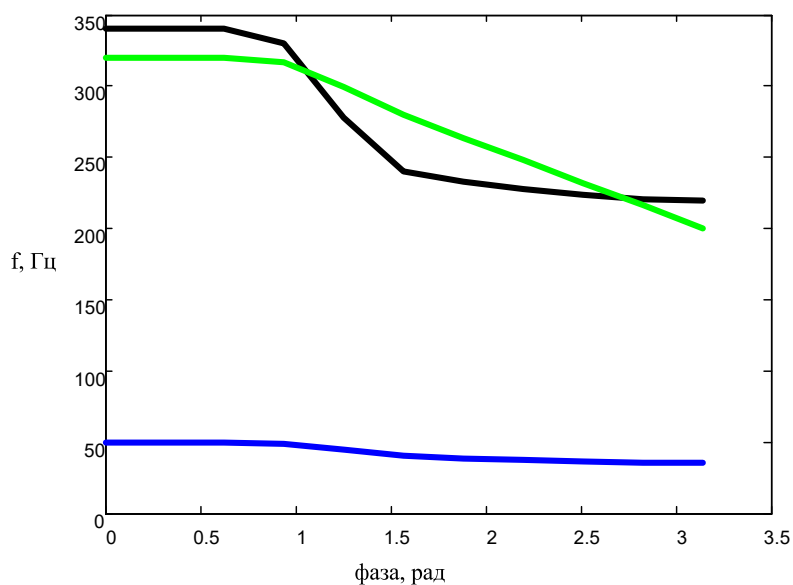


Рис. 12 – Загальна фазочастотна характеристика

Моделювання проводились для того, щоб виділити дані необхідні для навчання перцептрона, який буде володіти властивостями цифрового фільтру.

Висновок. У даній роботі були обрані зовнішні фактори впливу, такі як вібрація та запиленість повітря робочої зони. Задача врахування їх впливу не є простою, бо фактори багатогранні за результатом дії. Для аналізу факторів потрібно мати порядку сотень спостережень - чим більше спостережень, тим краще буде зробити висновок про працездатність лазерної системи.

Розглянувши результати моделювання, можна визначити що зовнішні фактори можливо подавляти цифровим фільтром на основі нейронної мережі.

Якщо фільтр працює близько до границі дозволених даних, то коефіцієнти фільтру повинні перенастроюватися, для підвищення точності отриманих результатів.

Якщо відомо, як проявляють себе впливаючі фактори, то стає можливим створити навчаючі шаблони за якими навчається перцептрон.

Список літератури

1. Мишура Т. П. Проектирование лазерных систем: учебное пособие / Т. П. Мишура, О. Ю. Платонов // – СПб. ГУАП, 2006. – 98с.
2. Якушенко Ю. Г. Методы борьбы в оптико-электронных приборах / Ю. Г. Якушенко, Н. В. Луканцев, М. П. Колосов. – М.: Радио и связь, 1981. – 180 с.
3. Григоренко І. В. Пат. 85637 У Україна, МПК G01B 11/30(2006.01). Пристрій для контролю лазерної системи виміру геометричних розмірів та якості поверхні виробів / І. В. Григоренко, С. І. Кондрашов, О. П. Давиденко, А. С. Белевцова; Власник НТУ «ХПІ», № u2013 06975; заявлено 03.06.2013, опубл. 25.11.2013, бюл. № 22. – 2 с.
4. Клепач М. М. Використання штучних нейронних мереж для визначення октанового числа автомобільного бензину / М. М. Клепач // Методи та прилади контролю якості, 2014. – № 2(33) – С. 32–38.
5. Григоренко І. В. Аналіз можливості використання нейронної мережі для підвищення точності лазерних систем тестового

контролю / І. В. Григоренко // Національний науковий центр «Інститут метрології» Український метрологічний журнал – № 1, Харків – 2016.– С. 43–47.

6. Григоренко І. В. Аналіз можливості використання нейронної мережі для контролю працездатності лазерної системи / І. В. Григоренко, К. В. Буличова // III Всеукраїнська науково-технічна конференція: Актуальні проблеми автоматичної та приладобудування України. – Харків, 2016. – С. 144–145.
7. Бодянский Е. В. Искусственные нейронные сети: архитектура, обучение, применения / Е. В. Бодянский, О. Г. Руденко. – Харьков: ТЕЛТЕХ, 2004. – 369 с.

References (transliterated)

1. Mishura T. P. Proektirovanie lazernih sistem: uchebnoe posobie / T. P. Mishura, O. YU. Platonov // – Sankt Peterburg. GUAP, 2006., – 98 p.
2. YAkushenkov YU. G. Metody bor'by v optiko-ehlektronnyh priborah / YU. G. YAkushenkov, N. V. Lukancev, M. P. Kolosov. – Moscow: Radio i svyaz', 1981., 180 p.
3. Hrihorenko I. V. Pat. 85637 U Ukraine, MPK G01B 11/30(2006.01). Pristrij dlya kontrolyu lazernoї sistemi vimiru geometrichnih rozmiriv ta yakosti poverhni virobiv / I. V. Hrihorenko, S. I. Kondrashov, O. P. Davidenko, A. S. Belevcova; Vlasnik NTU «HPI», № u2013 06975; zayavleno 03.06.2013, opubl. 25.11.2013, byul. № 22., 2 p.
4. Klepach M. M. Viktoristannya shtuchnih nejronnih merezh dlya viznachennya oktanovogo chisla avtomobil'nogo benzinu / M. M. Klepach // Metodi ta priladi kontrolyu yakosti, 2014. –No. 2(33), 32–38 pp.
5. Hrihorenko I. V. Analiz mozhlivosti vikoristannya nejronnoї merezhi dlya pidvishchennya tochnosti lazernih sistem testovogo kontrolyu / I. V. Hrihorenko // Nacional'nij naukovij centr «Institut metrologii» Ukrain'skij metrologichnij zhurnal –No. 1, Kharkiv – 2016., 43 – 47pp.
6. Hrihorenko I. V. Analiz mozhlivosti vikoristannya nejronnoї merezhi dlya kontrolyu pracezdatnosti lazernoї sistemi / I. V. Hrihorenko, K. V. Bulichova // III Vseukraїns'ka naukovo-tekhnichna konferenciya: Aktual'ni problemi avtomatiki ta priladobuduvannya, Ukraine. – Kharkiv, 2016., 144 – 145 pp.
7. Bodyanskij E. V. Iskusstvennye nejronnye seti: arhitektura, obuchenie, primeneniya / E. V. Bodyanskij, O. G. Rudenko. – Kharkiv: TELETEKH, 2004., 369 p.

Надійшла (received) 12.04.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Григоренко Ігор Володимирович (Григоренко Игорь Владимирович, Hrihorenko Igor Vladimirovich) – кандидат технічних наук, доцент; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем; м. Харків, Україна; e-mail: grigmaestro@gmail.com.

Григоренко Світлана Миколаївна (Григоренко Светлана Николаевна, Hrihorenko Svetlana Nikolaevna) – кандидат технічних наук, доцент; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; доцент кафедри комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики; м. Харків, Україна; e-mail: sngloba@gmail.com.