



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **140624** (13) **U**  
(51) МПК (2020.01)  
**G01D 21/00**

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2019 07656</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>08.07.2019</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.03.2020</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.03.2020, Бюл.№ 5</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Гжещак Кондрат (PL), Кочан Володимир Володимирович (UA), Саченко Анатолій Олексійович (UA), Осолінський Олександр Романович (UA), Кочан Орест Володимирович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>Кочан Володимир Володимирович, вул. Львівська, 7, кв. 3, м. Тернопіль, 46020 (UA), Саченко Анатолій Олексійович, вул. Загребельна, 42а, м. Тернопіль, 46004 (UA), Осолінський Олександр Романович, с. Стриївка, Збаразький р-н, Тернопільська обл., 47371 (UA), Кочан Орест Володимирович, вул. Наукова, 57/133, м. Львів, 79071 (UA)</b></p>
---	---

## (54) СПОСІБ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВИГОТОВЛЕННЯ ФОЛЬГОВИХ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

### (57) Реферат:

Спосіб нейромережевого керування процесом виготовлення фольгових сонячних батарей включає напilenня на пластикову фольгу кількох шарів напівпровідникового матеріалу та пропалюванні лазерами ізоляційних стежок у кожному із цих шарів. Пропалювання стежок виконується підсистемами, кожна з яких складається з лазера пропалювання стежки, нейромережевого регулятора та виконавчого механізму керування лазером, поточний контроль параметрів процесу пропалювання виконується шляхом опрацювання поточного зображення пропалених стежок за допомогою телекамер, а результати контролю подаються на входи нейромережевих регуляторів, які на їх основі формують керуючі дії для виконавчих механізмів керування лазерами.

UA 140624 U



Корисна модель належить до сонячної енергетики та визначає спосіб пропалювання ізоляційних стежок у фольгових сонячних батареях при їх виготовленні.

Відомі фольгові сонячні батареї [1] виготовляються шляхом напилення на полімерну основу напівпровідникових шарів, розділених полімерними ізоляційними шарами, та прорізуванні (пропалюванні за допомогою лазера) ізоляційних стежок, які чергуються відповідним чином. При цьому напилення та пропалювання ізоляційних стежок є основними технологічними процесами виготовлення фольгових сонячних батарей. Основний брак при виготовленні таких сонячних батарей виникає саме при пропалюванні за допомогою лазера ізоляційних стежок. При пропалюванні можлива поява коротких замикань між стежками та розриви стежок.

Забезпечення високої якості пропалювання ізоляційних стежок (зокрема, відсутності коротких замикань між стежками та розривів стежок) за допомогою лазера за рахунок точності налаштування його механічного кріплення неможливе. Навіть при відсутності механічних деформацій (температурних та від вібрацій) такого кріплення виникають деформації самої полімерної основи при її протягуванні, а також зміни температури внаслідок тертя. Тому такі механічні способи забезпечення високої якості пропалювання ізоляційних стежок навіть не описані у фаховій літературі.

Відомі позиційний, пропорційний, інтегральний, пропорційно-інтегральний, пропорційно-диференціальний та пропорційно-інтегрально-диференціальний закони керування, що широко використовуються у різноманітних системах керування [2, 3]. Всі ці закони добре працюють у системах, які мають чітко визначені статичні та динамічні характеристики. Однак у даному випадку ці закони регулювання надто жорсткі. Вони погано адаптуються до технологічного процесу. Їх оптимальні налаштування (коефіцієнти, що формують пропорційну, інтегральну та диференціальну складові формованої цими законами керуючої дії) відповідають одному варіанту статичних та динамічних характеристик об'єкта керування. При зміні цих характеристик об'єкта керування їх налаштування перестають бути оптимальними, тому параметри процесу керування можуть значно погіршуватися.

Відомі також адаптивні системи керування [4], які налаштовуються у процесі роботи. Однак такі системи вимагають чіткого критерію, відповідно до якого проводиться адаптація параметрів процесу керування до статичних та динамічних характеристик об'єкта керування. При керуванні багатьма лазерами під час пропалювання великої кількості стежок виникає небезпека, що такі адаптивні регулятори оптимізують кожен свою роботу. А це може привести до втрати стійкості системи у цілості, що веде до різкого зростання імовірності появи коротких замикань між стежками та розривів стежок.

Для такої спільної роботи кращими є регулятори, закон регулювання яких передбачає саме взаємодію між виконавчими механізмами різних каналів. Наприклад, спосіб керування профілем температурного поля [5] передбачає формування керуючих дій для багатьох нагрівачів шляхом рішення системи рівнянь. Хоча система рівнянь, використана у [5], лінійна та суперечить основам термодинаміки, при малих відхиленнях профілю температурного поля, як це показали експериментальні дослідження [6], вона забезпечує кращу стійкість процесу керування, ніж незалежно налаштовані пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори. Але спосіб [5] також різко погіршує якість керування або втрачає стійкість навіть при невеликих змінах статичних та динамічних характеристик об'єкта керування.

За даними літератури, найкращі адаптивні властивості мають нейромережеві системи керування (нейромережеві регулятори) [7]. У таких регуляторах керуючу дію формує нейронна мережа [8, 9], яка відповідно навчена. У [7] розглянуто два основні способи навчання нейронних мереж у складі нейромережевих регуляторів - на основі математичної моделі об'єкта керування та ідеального регулятора (тобто регулятора, який забезпечує якість керування завідомо значно вищу, ніж потрібна для даного об'єкта керування). При цьому якість навчання нейронної мережі (адекватність, точність формованих навченою нейронною мережею керуючих впливів) не може перевищувати якості використаних при навчанні математичної моделі об'єкта керування або ідеального регулятора. Однак ідентифікація параметрів математичної моделі складного об'єкта керування, особливо об'єкта керування, що міняє свої статичні та динамічні характеристики, дуже складна та трудомістка задача [10]. Зокрема, вона вимагає значного обсягу експериментальних досліджень об'єкта керування у всіх умовах роботи та різних комбінацій збурень. Аналогічно, побудова регулятора, який забезпечує адекватність і точність формованих керуючих впливів завідомо вищу, ніж потрібну для навчання нейронної мережі, також дуже складна та трудомістка задача [2-4]. Таким чином, якість навчання нейронної мережі визначає якість процесу керування, але висока якість навчання нейронної мережі вимагає великої трудомісткості підготовки до його проведення.

Найближчим аналогом запропонованого способу нейромережевого керування процесом виготовлення фольгових сонячних батарей є нейромережевий спосіб керування для термоелектричного перетворювача з керованим профілем температурного поля [11]. Основною перевагою цього способу є те, що він забезпечує навчання нейронної мережі, яка формує керуючі впливи, безпосередньо на об'єкті керування. Таким чином, якість навчання нейронної мережі цілком не залежить від точності та адекватності математичної моделі об'єкта керування або ідеального регулятора - вони просто не потрібні. Тому спосіб навчання нейронної мережі для нейромережевого керування профілем температурного поля відповідно до [11] потенційно забезпечує кращу якість керування. Але безпосередньо спосіб [11] для керування процесом виготовлення фольгових сонячних батарей не може бути використаний через особливості об'єктів керування.

Задачею даної корисної моделі є забезпечення високої якості пропалювання ізоляційних стежок за допомогою лазерів при неперервному процесі виготовлення фольгових сонячних батарей. Це означає забезпечення малої імовірності появи коротких замикань між стежками та розривів стежок.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб нейромережевого керування процесом виготовлення фольгових сонячних батарей, що передбачає напилення на пластикову фольгу кількох шарів напівпровідникового матеріалу та пропалювання лазерами ізоляційних стежок у кожному із цих шарів, згідно з корисною моделлю, пропалювання потрібної кількості стежок підсистемами, кожна з яких складається з лазера пропалювання даної стежки, нейромережевого регулятора, який повинен формувати керуючі впливи для лазера та виконавчого механізму керування лазером, що реалізує ці впливи. При цьому поточний контроль параметрів процесу пропалювання виконується шляхом опрацювання поточного зображення пропалених стежок за допомогою телекамер. При опрацюванні поточного зображення пропалених стежок виявляють тенденції відхилення процесу пропалювання від оптимального. Зокрема, виявляються тенденції, які ведуть до появи коротких замикань між стежками та розривів стежок. Виявлені тенденції перетворюються у керуючі впливи підсистем керування лазерами, які встановлюють їх у положення, що забезпечує входження процесу пропалювання стежок у допустимі межі. Формування керуючих впливів підсистем керування лазерами відбувається нейромережевим регулятором, в основі якого є навчена нейронна мережа. Якість роботи нейромережевого регулятора визначається в основному якістю навчання нейронної мережі. Тому, для забезпечення високої точності навчання нейронної мережі, для усунення впливу похибки математичної моделі, що, як було вказано вище, найчастіше використовується для навчання нейронної мережі, пропонується навчати нейронну мережу кожного регулятора безпосередньо на об'єкті навчання. Для цього у процесі навчання нейронної мережі, що формує керуючу дію кожного лазера, виконують наступні операції:

- 1) фіксування лазерів у довільному стані, який будемо вважати початковим положенням;
- 2) відключення виконавчих механізмів керування лазерами від виходів нейромережевих регуляторів;
- 3) подання на входи цих виконавчих механізмів випадкових керуючих дій;
- 4) отримання результатів опрацювання зображення пропалених стежок за допомогою телекамер;
- 5) формування нейронною мережею керуючої дії, що мають повернути лазери в початковий стан;
- 6) порівняння отриманої від нейронної мережі керуючої дії з випадковими керуючими діями, поданими на вхід виконавчих механізмів;
- 7) зміна вагових коефіцієнтів та зміщень нейронної мережі таким чином, щоби формовані нею керуючі дії повертали лазер у початкове положення (див. п. 1). Це означає, що формовані нейронною мережею керуючі дії повинні бути рівні за амплітудою та протилежні за знаком до поданих на входи виконавчих механізмів випадкових керуючих дій (див. п. 3);
- 8) операції пп. 1...7 повторюють до того часу, поки умова, сформульована у п. 7 не буде виконуватися з достатньою точністю.

Такий порядок виконання операцій запропонованого способу дає змогу виключити з процесу навчання нейронної мережі математичну модель об'єкта керування тим самим виключити вплив її похибок (неадекватності) на процес керування лазерами пропалювання стежок.

Можливість реалізації запропонованого способу ілюструють Фіг. 1 і Фіг. 2. На Фіг. 1 подана узагальнена структура системи виготовлення фольгових сонячних батарей. Система складається із барабанів Б1 і Б2, блоків напилення 1...n, які підключені до блоків керування напиленням БКН 1...n, нейромережевих регуляторів НМР 1...n, Веб-камер 1...n, блоків опрацювання зображення БОЗ 1...n, блоків формування параметрів стежок БФПС 1...n та

підсистеми видалення дефектів, у склад якої входить блок Виділення дефектів, що за допомогою виконавчого механізму ВМ керує лазером Д позначення дефектних областей. У нейромережеві регулятори НМР 1...n входять нейронні мережі НМ 1...n, виконавчі механізми ВМ 1...n та лазери 1...n пропалювання стежок.

5 Система працює наступним чином. Основа фольгової сонячної батареї перемотується із подавального барабана Б1 на приймальний барабан Б2. У процесі перемотування на цю основу Блоки напилення 1...n, під дією блоків керування напилення БКН 1...n, послідовно напилюють шари напівпровідникового матеріалу та шару ізоляції. У цих шарах лазери 1...n пропалюють стежки, які забезпечують потрібне послідовне ввімкнення окремих смуг напівпровідникового матеріалу. Процес пропалення кожної стежки контролюють Веб-камери 1...n. При цьому зображення кожної стежки опрацьовують блоки опрацювання зображення БОЗ 1...n. Блоки формування параметрів стежок БФПС 1...n порівнюють опрацьовані зображення стежок з потрібними. Особливу увагу ці блоки звертають на тенденції до створення коротких замикань (об'єднання стежок, зникнення розмежування між стежками) та розривів стежок (зникнення стежки або зменшення контрастності її зображення нижче допустимого рівня), а також виявляють короткі замикання та розриви стежок, що уже виникли. Блоки формування параметрів стежок БФПС 1...n видають у Мережу керування параметри відхилення кожної із пропалюваних стежок від заданих. Ці параметри відхилення поступають на відповідні нейромережеві регулятори НМР 1...n. У кожному із них нейронна мережа НМ 1...n обчислює необхідну керуючу дію, яка дасть змогу повернути пропалювані стежки (точніше їх зображення) до потрібного стану. Ці керуючі дії поступають на відповідні виконавчі механізми ВМ 1...n, які відповідним чином змінюють положення лазерів 1...n пропалювання стежок.

Якщо коротке замикання або розривів стежки вже виник, то Блоки формування параметрів стежок БФПС 1...n видають у Мережу керування відповідне повідомлення, що поступає на блок Виділення дефектів. Останній за допомогою виконавчого механізму ВМ керує лазером Д та позначає дефектну область. Лазер Д випалює всі напилені шари аж до основи. Таким чином, дефектна область зникає і не впливає на решту фольгової сонячної батареї. У подальшому виготовлену фольгову сонячну батарею розрізають як на стандартні відрізки, так і нестандартні фрагменти відповідно до позначених дефектних областей.

30 Слід відзначити, що якість пропалених стежок визначається, по-перше, якістю опрацювання зображення блоками БОЗ 1...n та розпізнавання тенденцій до створення коротких замикань, а також розривів стежок блоками формування параметрів стежок БФПС 1...n, по-друге, якістю (наближенням до оптимального) формування керуючої дії нейронними мережами НМ 1...n. Дане технічне рішення стосується другого аспекту забезпечення високої якості пропалених стежок - оптимізації формування керуючої дії нейронними мережами НМ 1...n. Наближення процесу керування до оптимального при використанні нейронних мереж зводиться до їх відповідного навчання. Як було вказано, для цього слід виключити з процесу навчання математичну модель об'єкта керування шляхом реалізації навчання на самому об'єкті.

40 Для реалізації такого навчання структуру системи змінюють так, як це показано на Фіг. 2. У схемі, подану на Фіг. 2, введено два вузли - Формувач випадкових керуючих дій та Блок навчання нейронних мереж НМ 1...n, що входять у нейромережеві регулятори НМР 1...n. При цьому виходи нейронних мереж НМ 1...n відключають від входів виконавчих механізмів ВМ 1...n, а підключають до входів Блока навчання нейронних мереж. А входи виконавчих механізмів ВМ 1...n підключають до виходів Формувача випадкових керуючих дій. На Фіг. 2 всі ці перемикання об'єднані у мережу навчання.

45 Безпосередньо перед навчанням нейронної мережі фіксують положення лазерів 1...n. Далі проводять формування навчальної вибірки для нейронних мереж НМ 1...n шляхом виконання перелічених вище операцій 1...6. За результатами їх проведення проводять навчання нейронних мереж НМ 1...n, тобто змінюють вагові коефіцієнти та зміщення окремих нейронів нейронної мережі таким чином, щоби формовані нею керуючі дії повертали лазери 1...n у їх початкові положення (операція за п. 7 із приведеного вище переліку). Це означає, що формовані нейронними мережами НМ 1...n керуючі дії повинні бути рівні за амплітудою та протилежні за знаком до поданих на входи виконавчих механізмів ВМ 1...n сформованих Формувачем випадкових керуючих дій. Для цього всі сформовані випадкові керуючі дії подаються на Блок навчання нейронних мереж. Останній реалізує одну з відомих модифікацій способу зворотного поширення помилки.

50 Слід відзначити, що пропонується послідовність дій, вказана у пп. 1...8, використовує для навчання нейронної мережі сам об'єкт керування. Тому пропонується спосіб не вимагає:

60 1) математичної моделі об'єкта керування, тобто похибки (неадекватності) математичної моделі не впливають на похибку навчання нейронної мережі;

2) ідеального або близького до ідеального регулятора, тобто похибки (неадекватність) такого регулятора не впливають на похибку навчання нейронної мережі.

Відповідно до сказаного, похибка формування керуючої дії навченою за пропонованим методом нейронною мережею визначається:

5 1) випадковими похибками самого об'єкт керування. При керуванні лазерами такі похибки виникають за рахунок неідеальності (зокрема, люфтів) механічних елементів виконавчого механізму. Така похибка не може бути усунена також іншими методами навчання нейронних мереж [8, 9];

10 2) обмеженням кількості циклів повторення операцій за пп. 1...7 пропонованого способу. Це обмеження визначає не точність пропонованого методу, а його трудомісткість. Тобто за рахунок збільшення трудомісткості можна підвищити точність навчання (тобто формування керуючої дії) нейронної мережі кожного нейромережевого регулятора;

15 3) похибками способу навчання нейронної мережі (зміни її вагових коефіцієнтів та зміщень). Сучасні ітераційні способи навчання нейронних мереж забезпечують точність навчання обмежену практично лише випадковими (хаотичними) неточностями навчальної та тестової вибірок, що використовуються при навчанні [8, 9]. У нашому випадку це випадкові похибки, вказані у п. 1.

Таким чином, точність навчання нейронної мережі пропонованим способом обмежена практично лише випадковими похибками самого об'єкт керування.

20 Пропонований спосіб нейромережевого керування процесом виготовлення фольгових сонячних батарей дає можливість суттєвого підвищення точності керування процесом пропалювання лазерами ізоляційних стежок, який є одним із найважливіших при їх виготовленні, зокрема, найбільше впливає на процент браку.

Джерела інформації:

25 1. Thin-film solar cell [https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film\\_solar\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_solar_cell).

2. Дорф Р. Современные системы управления/ Дорф Р., Бишоп Р.// Пер. с англ. Копылова Б.И. -М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. - 832 С.

3. Гоголюк П.Ф. Теорія автоматичного керування: навч. посібник/ П.Ф. Гоголюк, Т.М. Гречин. - 2-ге вид., перероб. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. - 280 с.

30 4. Astolfi, A. (2006). Nonlinear and adaptive control: tools and algorithms for the user. Imperial College Press.

5. Кочан, О. & Кочан, Р. (2008). Мікроконтролерний метод керування профілем температурного поля. Вісник Національного університету "Львівська Політехніка". Комп'ютерні системи та мережі, 630, 67-76.

35 6. Vasylykiv, N., Kochan, O., Kochan, R., & Chyrka, M. (2009, September). The control system of the profile of temperature field. In Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 2009. IDAACS2009. IEEE International Workshop on (pp. 201-206). IEEE.

40 7. В.І. Архангельський, І.М. Богаєнко, Г.Г. Грабовський, М.О. Рюмшин. Нейронні мережі в системах автоматизації. -К.: "Техніка", 1999. - 364 С.

8. Kroese B. An Introduction to Neural Networks/ Kroese B. - Amsterdam: University of Amsterdam, 1996. - 120 P.

45 9. Головка В.А. Нейроинтеллект: теория и применение. Книга 1: Организация и обучение нейронных сетей с прямыми и обратными связями/ Головка В.А. - Брест: Изд. БПИ, 1999. - 264 С.

10. Наконечний, М. (2013). Ідентифікація об'єктів керування та синтез контролерів з використанням штучних нейронних мереж. (Докторська дисертація). Львів.

11. Кочан, О., Кочан, Р. & Кочан В. Спосіб керування профілем температурного поля багатозонного об'єкта та пристрій для його реалізації. Пат. Україна 105541. G01K 13/00.

50

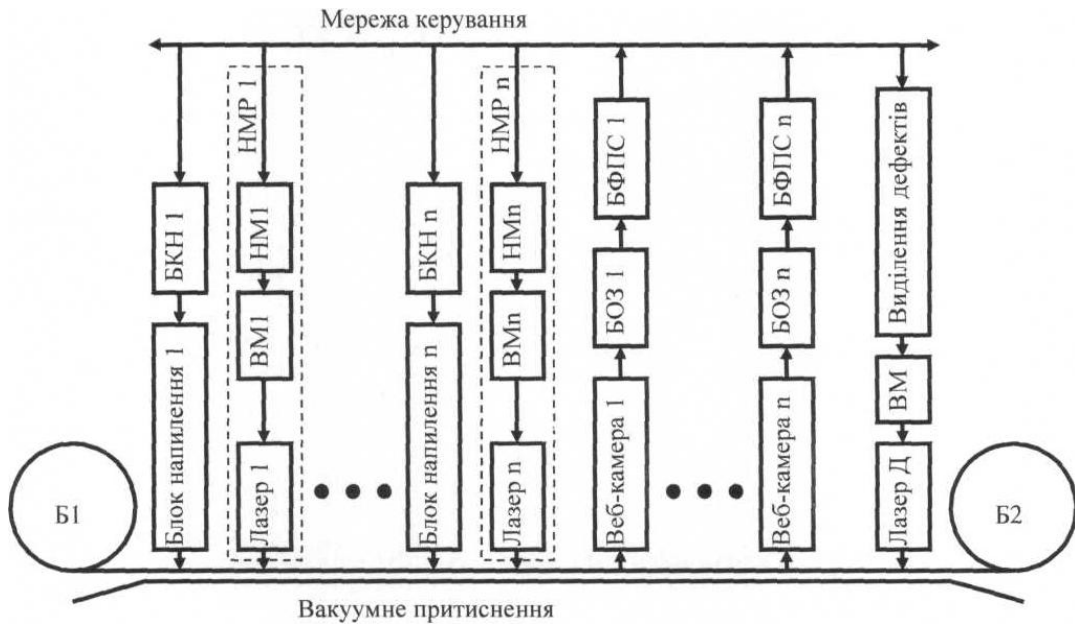
#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Спосіб нейромережевого керування процесом виготовлення фольгових сонячних батарей, що передбачає напilenня на пластикову фольгу кількох шарів напівпровідникового матеріалу та пропалювання лазерами ізоляційних стежок у кожному із цих шарів, який **відрізняється** тим, що пропалювання стежок виконується підсистемами, кожна з яких складається з лазера пропалювання стежки, нейромережевого регулятора та виконавчого механізму керування лазером, поточний контроль параметрів процесу пропалювання виконується шляхом опрацювання поточного зображення пропалених стежок за допомогою телекамер, а результати

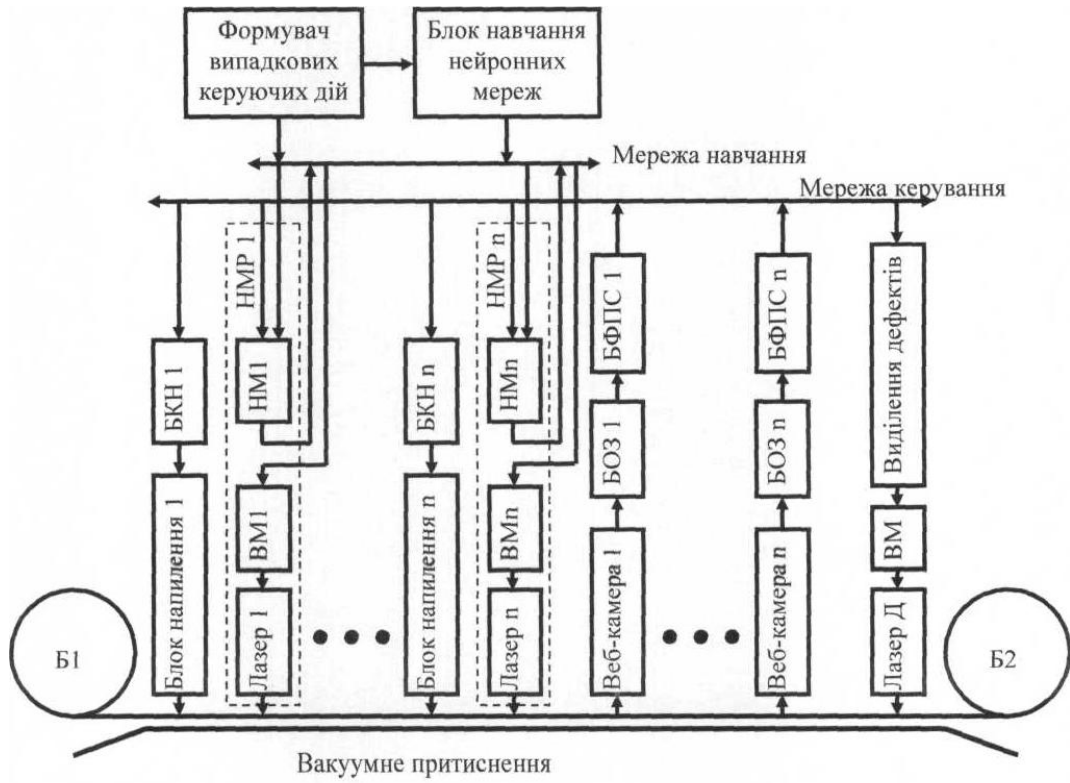
55

контролю подаються на входи нейромережових регуляторів, які на їх основі формують керуючі дії для виконавчих механізмів керування лазерами.

2. Спосіб нейромережового керування процесом виготовлення фольгових сонячних батарей за п. 1, який **відрізняється** тим, що процес навчання нейромережових регуляторів лазерів пропалювання стежок відбувається шляхом фіксування лазерів у довільному стані, який надалі вважають початковим, відключення виконавчих механізмів керування лазерами від виходів нейромережових регуляторів, подавання на входи цих виконавчих механізмів випадкових керуючих дій, отримання результатів опрацювання зображення пропалених стежок за допомогою телекамер, формування нейромережовими регуляторами керуючих дій, що мають повернути лазери в початковий стан, порівняння отриманих від нейромережових регуляторів керуючих дій з випадковими керуючими діями, поданими на вхід виконавчих механізмів та такої зміни вагових коефіцієнтів та зміщень нейронів нейронних мереж нейромережових регуляторів, щоби формовані цими нейромережовими регуляторами керуючі дії були рівні за амплітудою та протилежні за знаком до поданих на входи виконавчих механізмів випадкових керуючих дій.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601