



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **106103** (13) **C2**
(51) МПК (2014.01)
C30B 15/20 (2006.01)
C30B 35/00
G05D 27/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2012 08957</p> <p>(22) Дата подання заявки: 20.07.2012</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.07.2014</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 27.01.2014, Бюл.№ 2</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.07.2014, Бюл.№ 14</p>	<p>(72) Винахідник(и): Довбиш Анатолій Степанович (UA), Суздаль Віктор Семенович (UA), Проценко Сергій Іванович (UA), Шелехов Ігор Володимирович (UA), Москаленко В'ячеслав Васильович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 86105 C2, 25.03.2009 UA 97932 C2, 26.03.2012 UA 93940 C2, 25.03.2011 RU 2203351 C2, 27.04.2003 JP 2008105873 A, 08.05.2008 US 3621213 A, 16.11.1977 US 6176924 B1, 23.01.2001 UA 30878 A, 15.12.2000</p>
--	---

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ВИРОЩУВАННЯМ МОНОКРИСТАЛІВ ІЗ РОЗПЛАВУ

(57) Реферат:

Винахід належить до галузі вирощування великогабаритних лужногалоїдних скінтіляційних монокристалів із розплаву. Пристрій для керування вирощуванням монокристалів із розплаву, який забезпечує підвищення точності стабілізації діаметра монокристалу, що вирощується, шляхом надання пристрою властивості адаптивності на основі машинного навчання та розпізнавання образів.

UA 106103 C2

Винахід належить до області вирощування монокристалів із розплаву і може бути застосований для виробництва великогабаритних лужно-галоїдних сцинтиляційних монокристалів.

5 Є відомим пристрій для регулювання росту монокристалів (ав. св. СРСР № 1122014, С03В15/00, 1993), вміщуючий електропривод кристалотримача, датчик рівня розплаву, зв'язаний з корегуючим регулятором температури розплаву та блоком керування підживленням, який з'єднано з підживлювачем та блоком задання часових інтервалів через блок порівняння зазначених інтервалів, датчик дискретного переміщення кристалотримача, підключений до коригуючого регулятора, обчислювальний блок, входи якого зв'язані з датчиком переміщення кристалотримача, датчиком рівня розплаву та блоком задання часових інтервалів, а виходи підключені до електроприводу кристалотримача, блока порівняння часових інтервалів, до блока керування підживленням та коригуючому регулятору, вихід якого підключено до даного нагрівача.

15 Недоліком відомого пристрою є незадовільна якість вирощування монокристалів, обумовлена тим, що частота коригуючих впливів по температурі недостатня для зменшення відносних відхилень діаметра монокристалу.

20 Є відомим пристрій для регулювання росту монокристалів (пат. України № 30878, С03В15/20, 2000), вміщуючий електропривод кристалотримача, датчик рівня розплаву, зв'язаний з коригуючим регулятором та блоком керування підживленням, який з'єднано з підчитувачем та блоком задання часових інтервалів через блок їх порівняння, датчик дискретного переміщення кристалотримача, підключений до коригуючого регулятора, обчислювальний блок, входи якого зв'язані з датчиком рівня розплаву та блоком задання часових інтервалів, а виходи підключено до блока порівняння часових інтервалів, до блока керування підживленням та корегуючого регулятора, вихід якого підключено до донного нагрівача, блок задання швидкості зміни рівня розплаву та блок визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву, виходами підключено до схеми порівняння зазначених величин, а їх входи з'єднано з третім виходом блока задання часових інтервалів, вихід якого з'єднано з входом схеми порівняння заданої та фактичної швидкості зміни рівня розплаву, вихід якої через блок корекції температури бічного нагрівача зв'язано з останнім, а вихід датчика рівня розплаву підключено до входу блока визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву, блок контролю величини дискретного переміщення кристалотримача, входи якого підключені до датчика дискретного переміщення кристалотримача, обчислювального блока та до електроприводу кристалотримача, а його входи з'єднані з датчиком дискретного переміщення кристалотримача та обчислювальним блоком.

35 При цьому відносне відхилення діаметра монокристалу на кожному із часових інтервалів його вирощування корегується шляхом компенсації помилок керованих величин за відповідними законами (передатними функціями) контурів керування переміщенням кристалотримача і температурами бічного та донного нагрівачів.

40 Основний недолік керування за таким принципом полягає у накопиченні помилок керованих величин через нестаціонарність процесу вирощування монокристалів, довільні для кожного часового інтервалу початкові умови та вплив інших неконтрольованих факторів, що призводить до відхилень від заданого значення діаметра монокристалу, який є непрямим показником якості монокристалу. Таким чином, розглянутий пристрій є неадаптивним.

Даний пристрій вибрано як найближчий аналог.

45 В основу винаходу поставлено задачу розробки пристрою для керування вирощуванням монокристалів, який забезпечуватиме підвищення точності стабілізації діаметра монокристалу, що вирощується, шляхом надання пристрою властивості адаптивності на основі машинного навчання та розпізнавання образів.

50 Розв'язок задачі забезпечується тим, що в пристрій для керування вирощуванням монокристалів із розплаву, що містить електропривод кристалотримача, підключений до блока корекції переміщення кристалотримача, який з'єднаний з датчиком дискретного переміщення кристалотримача, датчик рівня розплаву, підключений до блока корекції підживлення і з'єднаний з підживлювачем, блоки контролю і корекції температури донного і бічного нагрівачів, контролю і корекції тиску і температури води для охолодження установки для вирощування монокристалів, контролю та корекції параметрів газового середовища, який відрізняється тим, що в нього додатково введено блоки: формування векторів розпізнавання, навчання, бази знань, оцінки функціонального стану технологічного процесу, прийняття рішень, індикації, причому перший, 55 другий, третій, четвертий, п'ятий і шостий входи блока формування векторів розпізнавання відповідно з'єднано з датчиком дискретного переміщення кристалотримача, датчиком рівня розплаву, блоком контролю і корекції температури бічного нагрівача, блоком контролю і корекції 60

температури донного нагрівача, блоком контролю і корекції параметрів газового середовища, блоком контролю і корекції тиску та температури води для охолодження установки вирощування монокристалів, а перший вихід блока формування векторів розпізнавання підключений до блока навчання, зв'язаного через блок бази знань з блоком оцінки функціонального стану технологічного процесу та блоком прийняття рішень, шість виходів якого з'єднані відповідно з блоком корекції переміщення кристалотримача, блоком корекції підживлення, блоком контролю і корекції температури бічного нагрівача, блока контролю і корекції температури донного нагрівача, блоком контролю і корекції тиску та температури води для охолодження установки для вирощування монокристалів, блоком контролю і корекції параметрів газового середовища, другий вихід блока формування векторів розпізнавання зв'язаний з блоком індикації через блок оцінки функціонального стану технологічного процесу, вхід якого під'єднаний до виходу блока навчання.

Уведення нових блоків згідно з винаходом дозволяє надати пристрою властивість адаптивності, що забезпечує зменшення відхилень діаметру вирощуваного монокристалу шляхом оцінки за побудованими в режимі навчання вирішальними правилами поточного функціонального стану технологічного процесу вирощування монокристалів і формування за результатами оцінки корегуючих впливів на параметри керування з метою стабілізації діаметра монокристалу, що є основною умовою одержання високоякісних великогабаритних монокристалів.

На фіг. 1 показано структурну схему пристрою для адаптивного керування вирощуванням монокристалів, а на фіг. 2 тренди зміни діаметрів монокристалу при його вирощуванні із застосуванням неадаптивної та адаптивної систем керування.

Пристрій для адаптивного керування вирощуванням монокристалів вміщує ростову піч 1, донний 2 і боковинний 3 нагрівачі, тигель 4, кристал 5, кристалотримач 6, електропривід 7 кристалотримача, датчик 8 дискретного переміщення кристалотримача, блок 9 корекції переміщення кристалотримача, датчик 10 рівня розплаву, блок 11 корекції підживлення, підживлювач 12, підживлююча трубка 13, блок 14 формування векторів розпізнавання, блок 15 контролю і корекції температури боковинного нагрівача, блок 16 контролю і корекції температури донного нагрівача, блок 17 контролю і корекції тиску та температури води для охолодження установки вирощування монокристалів, блок 18 контролю і корекції параметрів газового середовища, блок 19 навчання, блок 20 бази знань, блок 21 оцінки функціонального стану технологічного процесу, блок 22 формування командних сигналів і блок 23 індикації.

Датчик 8 дискретного переміщення кристалотримача 6 підключено до перших входів блока 9 корекції переміщення кристалотримача, зв'язаного з електроприводом 7 кристалотримача і блока 14 формування векторів розпізнавання. Вихід датчика 10 рівня розплаву підключено до першого входу блока 11 корекції підживлення, зв'язаного з підживлювачем 12, і до другого входу блока 14 формування векторів розпізнавання. Третій і четвертий входи блока 14 формування векторів розпізнавання з'єднано відповідно з першим виходом блока 15 контролю і корекції температури боковинного нагрівача, зв'язаного другим виходом з боковинним нагрівачем 3, і першим виходом блока 16 контролю і корекції температури, зв'язаного другим виходом з донним нагрівачем 2. Шостий і п'ятий входи блоку 14 формування векторів розпізнавання підключено до першого виходу блока 17 контролю і корекції тиску та температури води для охолодження установки вирощування монокристалів, зв'язаного другим виходом з виконавчими пристроями водопостачальної системи, до першого виходу блоку 18 контролю і корекції параметрів газового середовища, зв'язаного другим виходом з виконавчими пристроями газотранспортної системи. Перший вихід блока 14 формування векторів розпізнавання підключено до блока 19 навчання, з'єднаного через блок 20 бази знань з першим входом блока 21 оцінки функціонального стану технологічного процесу, другий вхід якого підключено до другого виходу блока 14 формування векторів розпізнавання, а перший вихід з'єднано з блоком 22 прийняття рішень, перший, другий, третій, четвертий, п'ятий і шостий виходи якого з'єднано відповідно з другим входом блоку 9 корекції переміщення кристалотримача, з другим входом блока 11 корекції підживлення розплаву, з блоком 15 контролю і корекції температури бічного нагрівача, з блоком 16 контролю і корекції температури донного нагрівача, з блоком 17 контролю і корекції тиску та температури води для охолодження установки для вирощування монокристалів, із блоком 18 контролю і корекції параметрів газового середовища. Другий вихід блока 21 оцінки функціонального стану технологічного процесу з'єднано з блоком 23 індикації, вхід якого під'єднаний з другим виходом блока 19 навчання.

У конкретному прикладі реалізації пристрою датчик 8 дискретного переміщення кристалотримача являє собою перетворювач „кут-код“, контроль величини фактичного

переміщення кристалотримача 6 за числом імпульсів, які надходять із датчика 8, визначення похибки між заданим і фактичним переміщенням кристалотримача 6 і відпрацювання її до нульової.

5 Функціями блока 11 корекції підживлення розплаву, побудованою на мікропроцесорі PIC 14000, є вмикання та вимикання підживлювача 12 розплаву, контроль величини фактичного рівня розплаву за сигналом, що знімається з потенціометру датчика 10 рівня розплаву і відпрацювання до нульової помилки між фактичним і заданим рівнями розплаву.

10 Блок 14 формування векторів розпізнавання реалізовано на двох паралельно ввімкнених 32-розрядних сигнальних мікропроцесорах ARM, вихід одного з них з'єднано з блоком 19 навчання, а вихід іншого з'єднано з блоком 21 оцінки функціонального стану технологічного процесу.

15 Блок 15 контролю і корекції температури бічного нагрівача вміщує датчик температури і блок корекції, виконаний на мікропроцесорі PIC 14000, функціями якого є зміна температури бічного нагрівача згідно із заданою блоком 22 прийняття рішень і відпрацювання до нульової похибки між фактичною температурою бічного нагрівача, що вимірюється датчиком температури, і заданою.

Аналогічні функції і структуру має блок 16 контролю і корекції температури донного нагрівача.

20 Блок 17 контролю і корекції тиску та температури води для охолодження установки вирощування монокристалів вміщує стандартні для установки „Рост” датчики тиску і температури води і два відповідні блоки корекції виконані на мікропроцесорах PIC 14, функціями яких є зміна відповідних керуючих величин згідно із заданими блоком 22 прийняття рішень величинами і відпрацювання до нульових помилок між відповідними фактичними і заданими їх значеннями.

25 Блок 18 контролю і корекції параметрів газового середовища вміщує стандартні для установки „Рост” датчики тиску і температури газу і два відповідні блоки корекції виконані на мікропроцесорах PIC 14.

30 Блок 19 навчання виконано на 32-розрядному мікропроцесорі ARM7 та енергонезалежній пам'яті з електричним перезаписом типу DataFlash для зберігання навчальних матриць і дозволяє, у випадку необхідності, їх розширювати чи змінювати. Пам'ять обсягом 32 Мб має протокол доступу до даних SPI.

Блок 20 бази знань реалізований у вигляді енергонезалежної пам'яті з електричним перезаписом типу EEPROM обсягом 1 Мб і має протокол доступу до даних I²C.

35 Блок 21 оцінки функціонального стану технологічного процесу, який функціонує в режимі екзамену, тобто безпосередньо в робочому режимі, виконано на 32-розрядному мікропроцесорі ARM7, що визначає функціональний стан системи керування за максимальним значенням функції належності реалізацій, що розпізнаються до одного із класів із заданого алфавіту.

40 Блок 22 прийняття рішень, призначений для вироблення корегуючих сигналів на відповідні регулятори технологічних параметрів, який сканує мережу RS-485 і запам'ятовує послідовність керуючих сигналів, що переводять поточний функціональний стан технологічного процесу в необхідний технологічний режим.

Блок 23 індикації виконано на рідкокристалічному індикаторі LCD на базі мікросхеми HD 44780.

45 Пристрій, що пропонується, реалізовано при вирощуванні скінтіляційних монокристалів у НТК "Інститут монокристалів" (м. Харків).

50 Розглянемо функціонування пристрою на прикладі керування технологічним процесом вирощування великогабаритних лужногалоїдних скінтіляційних монокристалів на установці "РОСТ" за методом Чохральського, який полягає у витягуванні монокристалу з розплаву, що знаходиться в тиглі при температурі вище точки плавлення сировини, на затравочний кристал, прикріплений до охолоджуючого стрижня - кристалотримача. Форма отриманого зразка в основній частині є циліндричною, а його якість (ступінь бездефектності і однорідність розподілу домішок) в значній мірі залежить від стабільності діаметра монокристалу в процесі його вирощування.

55 Інформація з датчика 10 рівня розплаву, блока 15 контролю і корекції температури бічного нагрівача, блока 16 контролю і корекції температури донного нагрівача, блока 17 контролю і корекції тиску та температури води для охолодження установки вирощування монокристалів, блоку 18 контролю та корекції параметрів газового середовища і датчика 8 дискретного переміщення кристалотримача надходить на відповідні входи блока 14 формування векторів розпізнавання. У режимі навчання системи керування вектори розпізнавання, які характеризують можливі допустимі функціональні стани технологічного процесу поступають з

60

виходу 1 блоку 14 в блок 19 навчання, де формується навчальна матриця і будуються вирішальні правила шляхом оптимізації геометричних параметрів контейнерів класів розпізнавання, що відновлюються в процесі навчання у радіальному базисі простору ознак розпізнавання. При цьому оптимізація параметрів навчання здійснюється за інформаційно-екстремальним алгоритмом (див. Довбиш А.С. Основи проектування інтелектуальних систем / А.С. Довбиш. - Суми: Видавництво СумДУ. - 2009. - 171 с), який реалізує процедури пошуку глобального максимуму інформаційного критерію функціональної ефективності навчання системи керування і його ітераційного наближення до максимального граничного значення з метою побудови безпомилкових за навчальною матрицею вирішальних правил. Як критерій оптимізації параметрів навчання було застосовано модифіковану інформаційну міру Кульбака у вигляді

$$E_m^k = 0,5 \left[(D_{1,m}^{(k)} + D_{2,m}^{(k)}) - (\alpha_m^{(k)} + \beta_m^{(k)}) \right] \log_2 \left(\frac{D_{1,m}^{(k)} + D_{2,m}^{(k)}}{\alpha_m^{(k)} + \beta_m^{(k)}} \right),$$

де $D_{1,m}^{(k)}$ - перша достовірність, обчислена на k -му кроці навчання розпізнавати реалізації класу X_m^o ; $D_{2,m}^{(k)}$ - Друга достовірність; $\alpha_m^{(k)}$ - помилка першого роду; $\beta_m^{(k)}$ - помилка другого роду.

Побудовані в процесі навчання вирішальні правила і оптимальні параметри навчання зберігаються в блоці 20 бази знань і відповідно відображаються у блоці 23 індикації для візуального спостереження.

У режимі екзамену, тобто безпосередньо у робочому режимі функціонування системи керування вирощуванням монокристалів, з виходу 2 блока 14 формування векторів розпізнавання в блок 21 оцінки функціонального стану технологічного процесу подається вектор ознак розпізнавання, що характеризують поточний стан технологічного процесу. Оцінка належності вектора, що розпізнається, до одного із класів розпізнавання із заданого алфавіту здійснюється за вирішальними правилами, які надходять у блок 21 оцінки функціонального стану технологічного процесу із блоку 20 бази знань, за умови, що функція належності до цього класу є максимальною. При цьому функція належності вектора, що розпізнається, наприклад, до класу X_m^o має вигляд

$$\mu_m = 1 - \frac{d(x_m^* \oplus x^{(j)})}{d_m^*},$$

де $d(x_m^* \oplus x^{(j)})$ - кодова відстань еталонного вектора розпізнавання x_m^* , вершина якого визначає центр відновленого в процесі навчання контейнера класу X_m^o , від вектора $x^{(j)}$, що розпізнається; d_m^* - радіус відновленого в процесі навчання контейнера класу X_m^o .

Результати екзамену відображаються блоком 23 індикації і одночасно надходять у блок 22 прийняття рішень для вироблення згідно з результатами екзамену корегуючих сигналів на відповідні регулятори технологічних параметрів для здійснення у разі необхідності стабілізації технологічного режиму вирощування монокристалів.

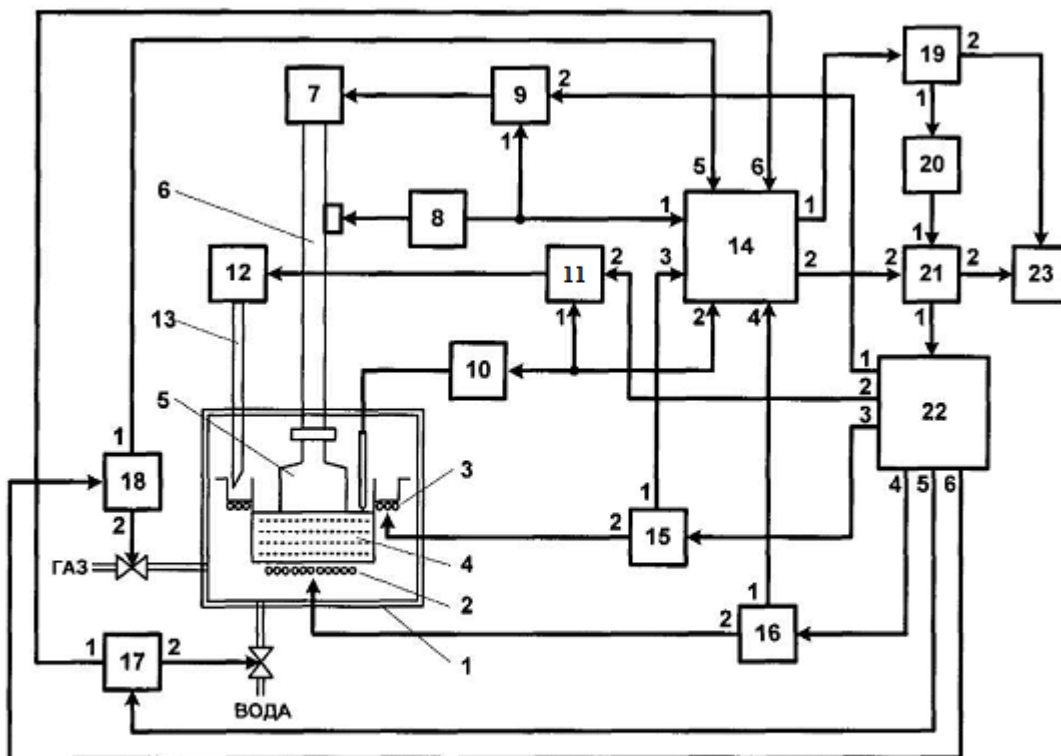
Оскільки стабільність діаметра є непрямим показником якості монокристалу, то на фіг. 2 показано тренди діаметра монокристалу, що контролювався на однаковому відрізку часу після початку вирощування монокристалу за допомогою традиційної мікропроцесорної системи керування (фіг. 2а) і при застосуванні системи керування з інтелектуальним регулятором (фіг. 2б).

Аналіз фіг. 2 показує, що внаслідок своєчасної корекції технологічних параметрів за допомогою запропонованої інтелектуальної системи керування середнє відхилення діаметра монокристалу зменшилося вдвічі. Оскільки якість великогабаритного монокристалу обернено-пропорційно залежить від величин відхилень його діаметра в процесі вирощування, то це дозволило підвищити відсоток товарного виходу буль, придатних для виготовлення виробів.

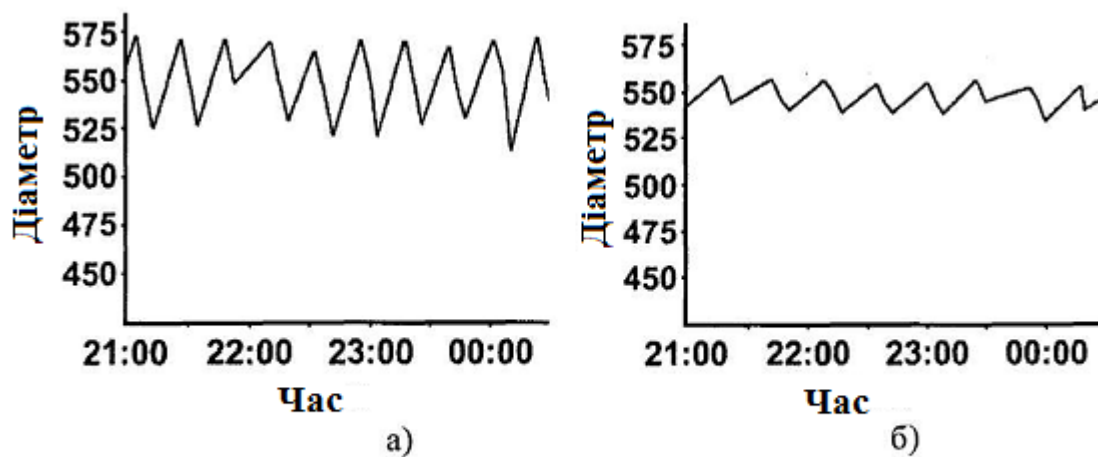
Таким чином, винахід, що заявляється, дозволяє надати адаптивність системі керувати вирощуванням монокристалів із розплаву шляхом оцінки за побудованими в режимі навчання вирішальними правилами поточного функціонального стану технологічного процесу вирощування монокристалів і формування за результатами оцінки корегуючих впливів на параметри керування, що дозволило стабілізувати відхилення діаметра вирощуваного монокристалу і цим підвищити якість великогабаритних скінтіляційних лужно-галогідних монокристалів.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Пристрій для адаптивного керування вирощуванням монокристалів із розплаву, що містить електропривод кристалотримача, підключений до блока корекції переміщення кристалотримача, який з'єднаний з датчиком дискретного переміщення кристалотримача, датчик рівня розплаву, підключений до блока корекції підживлення і з'єднаний з підживлювачем, блоки контролю і корекції температури донного і бічного нагрівачів, контролю і корекції тиску і температури води для охолодження установки для вирощування монокристалів, контролю та корекції параметрів газового середовища, який **відрізняється** тим, що в нього додатково введено блоки: формування векторів розпізнавання, навчання, бази знань, оцінки функціонального стану технологічного процесу, прийняття рішень, індикації, причому перший, другий, третій, четвертий, п'ятий і шостий входи блока формування векторів розпізнавання відповідно з'єднано з датчиком дискретного переміщення кристалотримача, датчиком рівня розплаву, блоком контролю і корекції температури бічного нагрівача, блоком контролю і корекції температури донного нагрівача, блоком контролю і корекції параметрів газового середовища, блоком контролю і корекції тиску та температури води для охолодження установки вирощування монокристалів, а перший вихід блока формування векторів розпізнавання підключений до блока навчання, зв'язаного через блок бази знань з блоком оцінки функціонального стану технологічного процесу та блоком прийняття рішень, шість виходів якого з'єднані відповідно з блоком корекції переміщення кристалотримача, блоком корекції підживлення, блока контролю і корекції температури бічного нагрівача, блока контролю і корекції температури донного нагрівача, блока контролю і корекції тиску та температури води для охолодження установки для вирощування монокристалів, блока контролю і корекції параметрів газового середовища, другий вихід блока формування векторів розпізнавання зв'язаний з блоком індикації через блок оцінки функціонального стану технологічного процесу, вхід якого під'єднаний до виходу блока навчання.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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