

УДК 621.3

МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РОБОТИ МЕТАЛООБРОБНОГО CNC-ОБЛАДНАННЯ*Луцина І. Б., Клочко Т. Р., Скицюк В. І.**Національний технічний університет України**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна**E-mail: t.klochko@kpi.ua*

Наразі досить застосовуваними у промислових обробних системах є засоби виміру та перетворення інформаційних сигналів від обладнання. Здебільшого сучасні системи механічної обробки матеріалів використовують в основному одноканальні системи, що працюють на інформаційних сигналах, які ідентифікують фізичні параметри технологічного процесу. Подібна вузька спеціалізація моніторингу за одним з параметрів зазвичай знижує надійність одержуваних результатів і, як наслідок, надійність всієї системи контролю.

Задачею роботи є визначення можливостей створення засад функціонування автоматизованої системи на основі багатоканальних пристроїв реєстрації інформації від обробного обладнання та можливих підходів до вибору критеріїв аналізу плинної інформації.

В результатіведеного аналізу стану галузі та її сучасних перетворень, до розробки пропонується модуль системи для збору даних про процес (з набору датчиків), з можливістю подальшого їх перетворення за визначеною залежністю, зберігання, передачі, та можливістю сигналізування про певні події, наприклад, несправності, для використання в системах автоматизації виробництва, а також і для обладнання, що не включене в системи. Водночас, багатоканальний устрій сенсорної системи надає можливості визначення повного інформаційного обсягу даних про протікання технологічного процесу. Досліджено основні сучасні засоби контролю роботи технологічного обробного CNC-обладнання застосовувані в промисловості. Визначено найбільш перспективні напрями розвитку багатокритеріальних методів і автоматизованих систем контролю технологічного обладнання в частині створення комплексних датчиків. Ці сенсорні комплекси реєструють різні за фізичними явищами сигнали. Визначені основні підходи до створення систем контролю надають можливості побудови теоретичних засад з огляду на логіку роботи системи отримання конкретних інформаційних даних в умовах автоматизації технологічних процесів.

Перспективні дослідження можуть бути спрямовані на створення алгоритмів роботи таких комплексних систем контролю та діагностики якості технологічних процесів.

Ключові слова: система; керування; контроль; багатоканальний модуль; критерії; сенсорний комплекс; торкання; різальний інструмент.

Вступ. Постановка проблеми

Важливими чинниками якості при побудові систем контролю металообробки є ієрархічність і структура, заснована на суворій пріоритетності одного джерела інформації над іншим у системі, яка контролюється.

Здебільшого сучасні системи механічної обробки матеріалів використовують в основному одноканальні системи, що працюють на інформаційних сигналах, які ідентифікують фізичні параметри технологічного процесу. Подібна вузька спеціалізація моніторингу за одним з параметрів зазвичай знижує надійність одержуваних результатів і, як наслідок, надійність всієї системи контролю. Розвиток подібних систем моніторингу спрямований на підвищення якості відчутників [1, 2] і вдосконалення електронних вузлів, що оброблюють отриману інформацію. Водночас, ускладнення схемотехніки вузлів обробки не завжди призводить до підвищення надійності визначення порушень регламенту роботи автоматизованого технологічного обладнання, своєчасної реакції на погіршення режимів обробки та відхилення пара-

метрів формотворення деталі від заданих, а, таким чином, не може повністю задовольнити вимоги металообробки до точності виготовлення прецизійної продукції. Проте це надає можливості реєстрації та аналізу фізичних процесів на основі різних критеріїв, тобто з врахуванням особливостей конкретного технологічного процесу [3].

На виробничі процеси впливає багато різних факторів, наприклад, режими роботи, наявність вібрацій, температура обладнання тощо. Наявність випадкових факторів знижує прогнозованість і сталість отримання якісної продукції. Одним із методів зменшення впливу випадкових факторів є вимірювання параметрів, зміна режиму роботи обладнання (або його зупин) на основі отриманих даних.

Для створення більш повної моделі часто використовують декілька параметрів, що відносяться до одного процесу. За таких умов важливим є об'єднання та синхронізація даних. Тому постає нагальна проблема, яка поєднує в собі необхідність створення автоматизованої техніки та ство-

рення методів багатокритеріального аналізу особливостей технологічного процесу.

Отже, задачею роботи є визначення можливостей створення засад функціонування автоматизованої системи на основі багатоканальних пристроїв реєстрації інформації від обробного обладнання та можливих підходів до вибору критеріїв аналізу плинної інформації.

Сучасні застосовувані засоби контролю роботи промислового обладнання

Наразі досить застосовуваними у промислових обробних системах є засоби виміру та перетворення інформаційних сигналів від обладнання. Так, засоби фірми Renishaw [4] забезпечують передачу даних вимірів своїх датчиків для калібрування інструментів та післяопераційного контролю. Проте за використання таких методів вимірювання можна скорегувати обробку наступних, але не поточних операцій.

Для промислових роботів за необхідності проєктують захватні пристрої із необхідними встановленими сенсорними системами, а додатково встановлюваними є лише системи для підвищення точності позиціонування на основі IMU (Inertial Measurement Unit) [5]. Для того, щоб знайти відповідну модель та алгоритм керування для блоку стабілізації, було створене гнучке багатокорпусне моделювання модулю UR10. Імітований робот складається з твердих тіл - така ж геометрія і щільність, як у модулю UR10, і гнучкі суглоби. Жорсткість суглобів налаштована так, що перші три власні частоти та модальне демпфування змодельованого робота приблизно відповідають реальному. Це перевіряється за допомогою вимірювання точки руху в центральній точці інструменту (TCP) робота. Подібні системи мають перспективи розвитку для забезпечення зручності підходів системи датчиків, що відповідає точності доступу до зони дослідження.

Покращення позиціонування робота калібруванням кутів за допомогою IMU і програми компенсації похибок позиціонування застосовано у [6]. Це необхідний засіб для здійснення точного контролю руху маніпулятора, який використовує метод корекції пози кінцевого ефектора та метод компенсації. Для забезпечення надійності роботизованої техніки, яку застосовують в різних сферах, потрібно визначити методи та апаратуру тестування для забезпечення точності роботи промислового робота [7].

Метод експрес-оцінки працездатності промислового робота (на основі попереднього дослідження) і основні засади роботи сенсорних систем досліджено у [8]. У розробленому методі використовуються виміри часу, відстані за трьома осями, нахилу, подачі та відхилення від курсу.

У сучасних виробничих системах вимірювальні пристрої об'єднують у системи керування типу SCADA, що призначені для збору повної інформації про процеси з подальшим використан-

ням для функцій контролю та керування обладнанням і процесами [9]. Запропонована система SCADA містить датчики струму і напруги для збору даних, мікроконтролер ESP32 для прийому та обробки даних датчиків та сервера ThingsBoard IoT для зберігання даних та взаємодії оператора і системи. Водночас, подібні системи дозволяють можливість виконання досліджень на основі зібраних і зареєстрованих даних.

Використання сучасних поширених стандартів передачі інформації дозволяє використовувати пристрій не тільки в складі різних SCADA-систем (передача даних з визначеною періодичністю), але й для збору та обробки інформації без їх використання (передача даних за запитом, сигналізування про несправності тощо), а також підвищити швидкість передачі і безпеку даних.

Метод [10] вдосконалення точності позиціонування робота-маніпулятора за допомогою комбінованої вимірювальної системи з декількома датчиками (MCMS). Водночас, система містить датчик візуалізації, який використовується для вимірювання положення маніпулятора в реальному часі, датчик кута, жорстко прикріплений до маніпулятора для отримання його орієнтації, та серійний робот.

В результаті приведення аналізу стану галузі та її сучасних перетворень, до розробки пропонується модуль системи для збору даних про процес (з набору датчиків), з можливістю подальшого їх перетворення за визначеною залежністю, зберігання, передачі, та сигналізування про певні події, наприклад, несправності, для використання в системах автоматизації виробництва і для обладнання, що не включене в системи. Водночас, багатоканальний устрій сенсорної системи надає можливості визначення повного інформаційного обсягу даних про протікання технологічного процесу.

Основні підходи до створення системи контролю

Загальну систему керування процесами за допомогою вимірювального обладнання наведено на рис. 1, яка містить сенсорний комплекс, БД (базу даних). За умови застосування мікроконтролерів, взаємодія з даними після вимірювання виконується в дискретному вигляді. Для аналогових датчиків обов'язковим є перетворення в дискретний вигляд, тому найзручнішим є використання датчиків з цифровим виходом.

Внаслідок потужного розвитку мікроелектромеханічних систем (англ. MEMS), вибір датчиків з цифровим виходом, використовуваних в вимірювальних системах, є досить широким.

Таким чином, сукупність датчиків забезпечує реєстрацію та збір даних щодо протікання технологічного процесу.

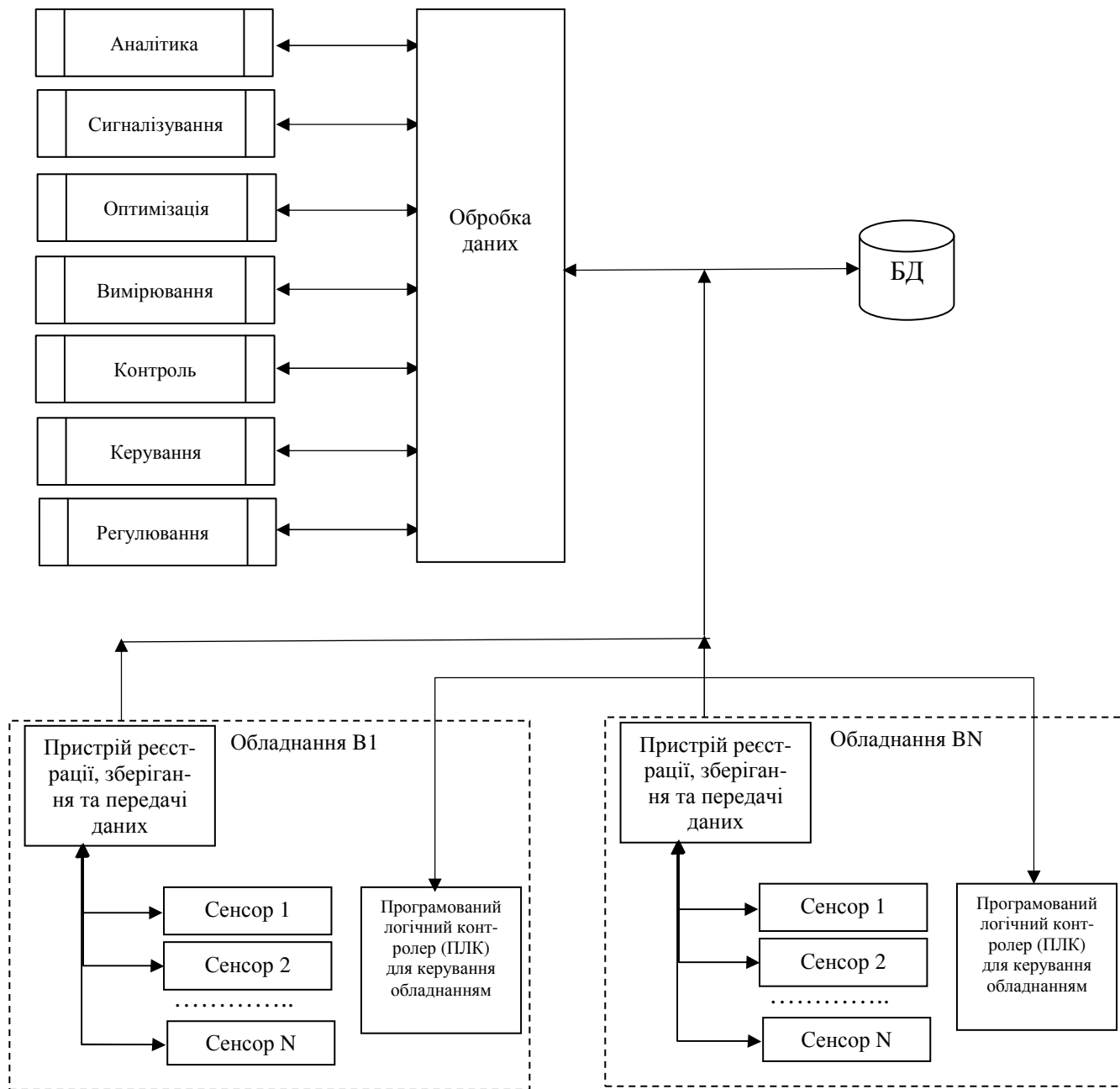


Рис. 1. Система збору і обробки даних

Використання єдиного мікроконтролера для збору даних з декількох датчиків вирішує питання синхронізації даних вимірювання, об'єднання даних з декількох датчиків за належністю до обладнання та процесу, дозволяє локально виконувати обробку даних і швидко сигналізувати про несправності.

Система передбачає застосування багатокритеріального підходу до аналізу конкретної ситуації з роботи технологічного обладнання. Таким чином, збір даних відбувається від сукупності сенсорів різних фізичних параметрів, водночас, така сукупність встановлюється на кожному одиницю обладнання. Отже, за необхідності визначення стану технологічного процесу контроль йде за усім

обладнанням структурної одиниці виробництва та забезпечує якість виготовлення прецизійної продукції.

Для кожного технологічного процесу обираються критерії, за якими визначають необхідну якість, збереження усталеності режимів роботи, а тим самим виконання регламенту роботи обладнання.

На рис. 2 і 3 зображено структурну та функціональну схеми запропонованого устрою системи контролю роботи автоматизованого технологічного обладнання, яка враховує певну сукупність отриманих даних.

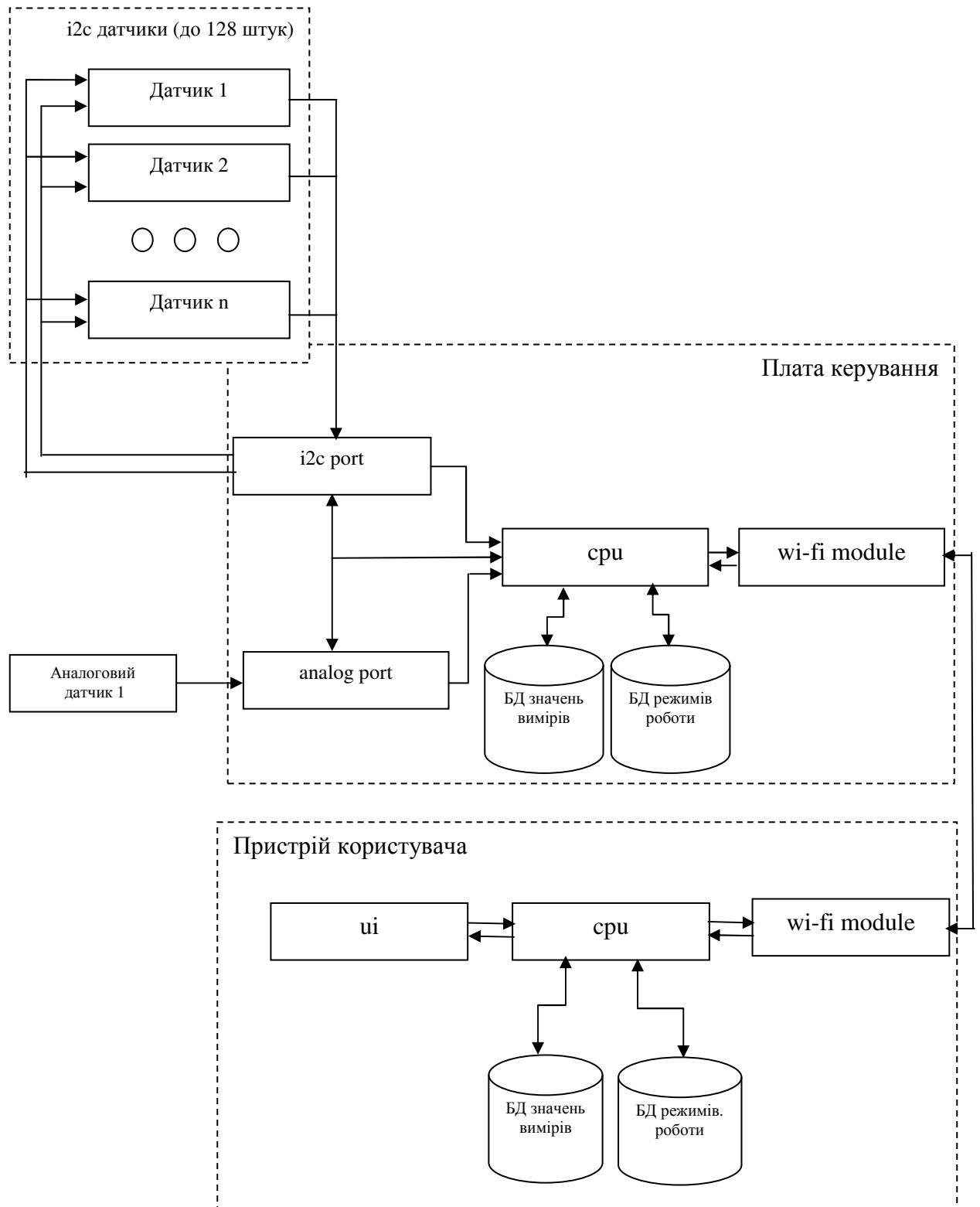


Рис. 2. Структурна схема устрою автоматизованої системи контролю роботи обробного CNC-обладнання

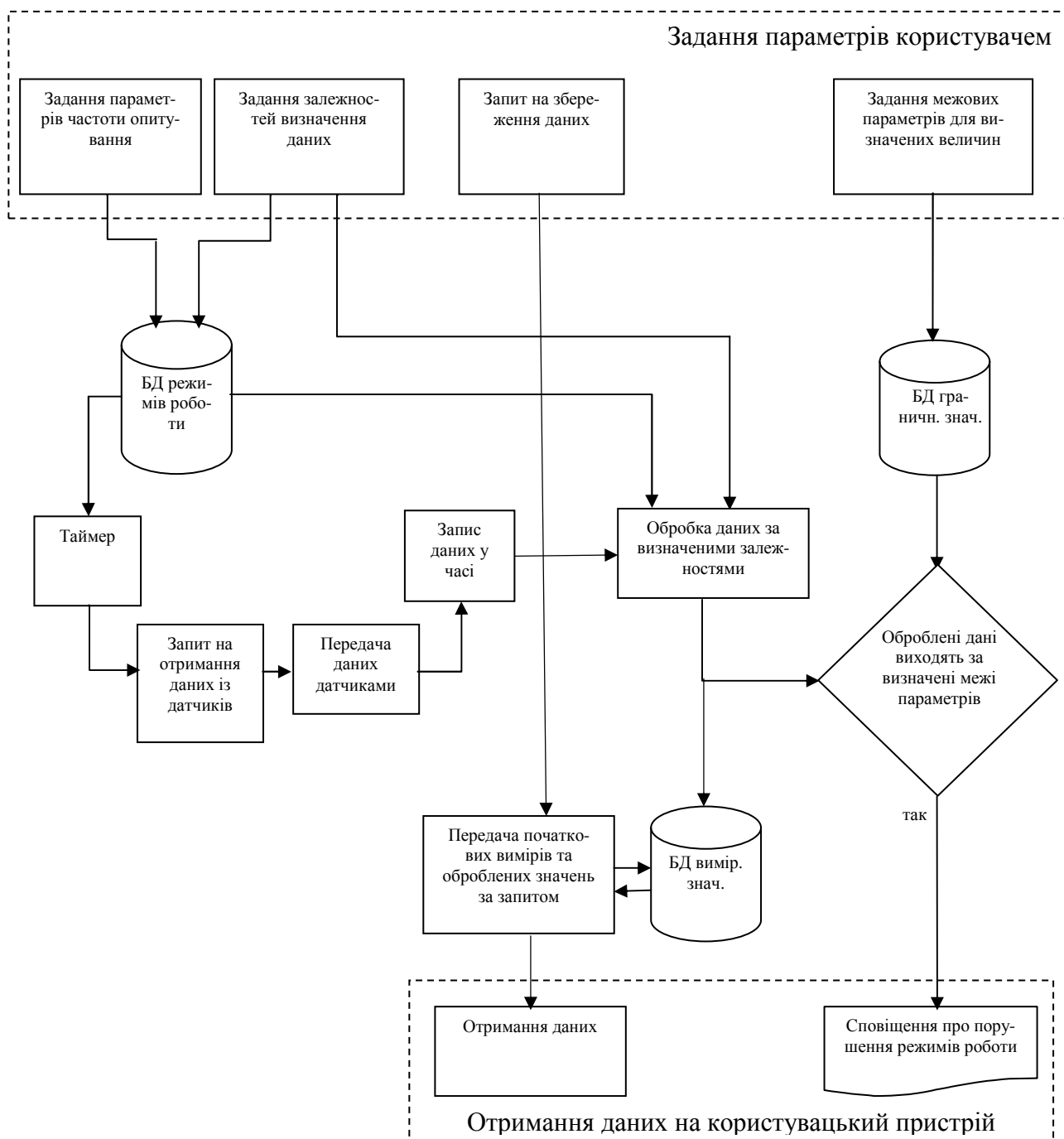


Рис. 3. Функціональна схема роботи автоматизованої системи контролю

Надійність роботи автоматизованої системи [11] контролю роботи обробного обладнання адекватна надійності ідентифікації стану контакту, тобто особливо важлива при визначенні моменту торкання різальним інструментом поверхні деталі, оскільки саме момент торкання є основним параметром розмірного настроювання інструмента.

При контролі процесу механічної лезової обробки, існують також інші стани об'єктів техноло-

гічного процесу, які потрібно ідентифікувати після вимірювання певних контрольованих параметрів. Чим більше контрольованих станів, тим звісно більше інформаційних потоків виникає. Кожний інформаційний потік, пов'язаний з конкретною апаратно контрольованою ситуацією, є технологічною інформацією, що визначає контрольовану ситуацію на основі інформації фізичних сигналів від обладнання. Для цього застосовані комплекси

датчиків, які є первинним каскадом автоматизованої системи.

При технічному контролі автоматизованих технологічних процесів існує обумовленість безлічі ідентифікаційних ознак стану, де кожний тип стану пов'язаний з ознакою технологічної ідентифікації. Тому всі масиви інформації розподілені на такі діапазони, що визначають фізичну інформацію, якою можна оперувати при контролі, саме з огляду на процес обробки.

Отже, найважливішими станами та завданнями контролю, які передбачені в автоматизованій системі, є наступні.

1. Момент торкання поверхонь об'єктів інструмента і заготовки.

2. Контрольований стан відноситься до технологічно значущих параметрів плинного стану об'єктів технологічного процесу, в першу чергу, до зносу різального інструмента, який істотно впливає на якість виробу.

3. Ситуація відноситься до прогнозованих параметрів стану системи обробки, зокрема, до періоду стійкості різального інструмента.

4. Стан контролю, який передбачений в системі, відноситься до схильності інструмента або деталі до руйнування та поломки.

5. Якість заготовки на вході. Мета вхідного контролю – вибраковування дефектних деталей з метою попереджень можливих аварійних ситуацій.

6. Завершальний контрольований стан – якість деталі на виході. Мета вихідного контролю – блокування браку та, тим самим, підвищення надійності вихідної продукції.

Отже, враховуючи сказане вище, можна дійти висновку про те, що здійснити повний контроль всіх шести станів одночасно досить складно, виходячи з технічних особливостей виконання окремих модулів системи. Тому розвиток систем контролю в даний час повинен бути спрямованим на об'єднання функцій системи, коли недоліки однієї частини системи компенсуються відповідними перевагами іншої. Одночасно з цим можливе корисне порівняння результатів контролю кожним з модулів системи. Наприклад, параметр контролю моменту торкання надає можливість вирішити практично всі шість завдань контролю, але тільки відносно торкання, водночас, йому погано піддаються завдання, пов'язані з плинним станом, прогнозуванням тощо, які легше вирішуються на основі інформаційних параметрів, відмінних від використовуваного для контролю торкання.

Найбільш значний ефект можна отримати при побудові систем, які реалізують наступні функції технологічного контролю: контроль торкання, плинний контроль стану процесу різання, прогнозування наступного стану, контроль аварійних ситуацій (руйнування).

Сучасна повноцінна автоматизована система повинна задовольняти наступним вимогам:

- з технічного погляду мати високу надійність роботи, навіть, якщо це йде в збиток іншим якісним показникам;
- з технологічного погляду:

- мати максимальну точність і достеменність визначення моменту контакту інструмента і деталі;

- мати максимальну точність у визначенні поточного стану інструмента і його прогнозування, у визначенні переважного стану і його реєстрації;

- проникаюча здатність інструмента з вбудованим відчутником повинна максимально наближатися до проникаючої здатності інструмента без відчутника.

Таким чином, можна зробити наступний висновок щодо побудови систем автоматичного контролю механообробки:

- пріоритетне значення має функція самоконтролю системи;

- пріоритетне значення має контроль торкання;

- обов'язковим є контроль параметрів прогнозування;

- обов'язковим є контроль параметрів руйнування інструмента і деталі.

Цим вимогам відповідає ряд логічних рівнянь, які визначають роботу системи контролю. Дослідження цього ряду логічних рівнянь дозволяє дійти висновку: найбільш перспективною в реалізації буде автоматизована система контролю та діагностики, яка відповідає основній функції роботи вигляду

$$F_{DK} = F_{K0} [F_K (F_T \vee F_{PR} \vee F_W)], \quad (1)$$

де F_{DK} - функція контролю та діагностики,

F_{K0} - функція самоконтролю,

F_K - функція контролю плинного стану,

F_T - функція торкання,

F_{PR} - функція присутності,

F_W - функція роботи.

Отже, основна логіка роботи системи контролю представлена наступною блок-схемою (рис. 4).

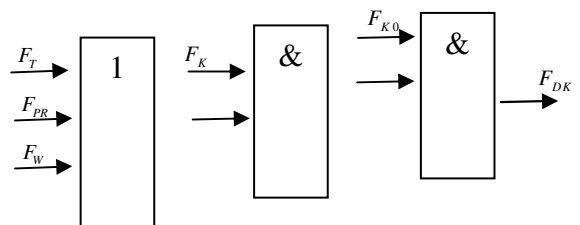


Рис. 4. Блок-схема логічних засад роботи автоматизованої системи контролю

Водночас, інформаційні параметри, які реєструються відповідними відчутниками (сенсорами) від

системи CNC-обладнання, мають реалізацію відповідних функцій діагностики стану процесу. Ці параметри можуть визначати дію автоматизованої системи логічними рівняннями тільки у вигляді

$$\begin{aligned} A &= B(C \vee D); \\ A &= C(B \vee D); \\ A &= D(C \vee B), \end{aligned} \quad (2)$$

де A - параметр діагностики,

B, C, D - інформаційні параметри технологічного процесу, технологічного обладнання.

До того ж, параметр, що позначений перед дужкою, повинен мати найбільший довірчий інтервал при визначеному процесі обробки.

Тому логічна блок-схема матиме вигляд, представлений на рис. 5.

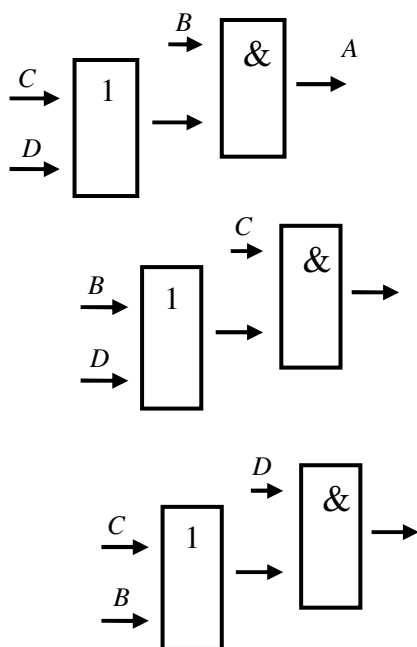


Рис. 5. Рекомендовані варіанти організації використання інформаційних параметрів

Ситуація виникає тому, що для будь-якої системи контролю обов'язково повинен бути сигнал високого пріоритету для її нормальної роботи, щоб мати визначеність стосовно вибору параметрів.

Отже, враховуючи надійнісні параметри обробного обладнання для кожної ситуації, враховуючи особливості фізичних параметрів технологічного процесу, який піддається контролю та керуванню, технічні характеристики модулів реєстрації та збору інформації, визначають саме інформаційні параметри, які є основою побудови логічної блок-схеми роботи.

Висновки

Досліджено основні сучасні засоби контролю роботи технологічного обробного CNC-

обладнання застосовувані в промисловості. Визначені найбільш перспективні напрями розвитку багатокритеріальних методів і автоматизованих систем контролю технологічного обладнання в частині створення комплексних датчиків, які реєструють різні за фізичними явищами сигнали.

Визначені основні підходи до створення систем контролю надають можливості побудови теоретичних засад з огляду на логіку роботи системи отримання конкретних інформаційних даних в умовах автоматизації технологічних процесів.

Перспективні дослідження можуть бути спрямовані на створення алгоритмів роботи таких комплексних систем контролю та діагностики якості технологічних процесів.

Література

- [1] Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, М. А. Вайнтрауб, Т. Р. Клочко. *Відчутники контрольовимірювальних систем: монографія*. Київ, Україна: НТУУ «КПІ» ВП ВПК «Політехніка», 2008.
- [2] В. І. Скицюк, Т. Р. Клочко, М. М. Клочко, Г. С. Тимчик, “Двопараметричний відчутник вібрацій об’єкту”, *Вісник НТУУ „КПІ”. Серія приладобудування*, Вип. 34, с. 96-102, 2007.
- [3] Т. Р. Клочко, “Моделювання динаміки технологічного процесу для контролю якості токарної обробки деталей типу “вал””, *Резание и инструмент в технологических системах*, № 57, с. 115 – 121, 2000.
- [4] Інтелектуальні виробничі технології для контролю технологічних процесів. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.renishaw.com/en/smart-manufacturing-technologies-for-process-control--45468>.
- [5] Tobias F. C. Berninger, Tomas Slimak, Tobias Weber, and Daniel J. Rixen, “An External Stabilization Unit for High-Precision Applications of Robot Manipulators” in *2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), October 25-29, 2020, Las Vegas, NV, USA (Virtual)*. [Електронний ресурс]. Доступно: http://ras.papercept.net/images/temp/IROS/files/02_29.pdf.
- [6] Yunhan Lin, Huasong Min, “Inertial measurement unit-based iterative pose compensation algorithm for low-cost modular manipulator”, *Advances in Mechanical Engineering*, 8(1). January 2016. DOI: 10.1177/1687814015626850.
- [7] Guixiu Qiao and Brian A. Weiss, “Advancing Measurement Science to Assess Monitoring, Diagnostics, and Prognostics for Manufacturing Robotics”, *Int J Progn Health Manag*. Author manuscript; available in PMC 2017 Jan 3.
- [8] Guixiu Qiao* and Brian A. Weiss, “Quick health assessment for industrial robot health degradation and the supporting advanced sensing develop-

- ment”, J Manuf Syst. Author manuscript; available in PMC 2019 May 13.
DOI: 10.1016/j.jmsy.2018.04.004.
- [9] Aghenta, Lawrence Oriaghe and Iqbal, Tariq, “Design and implementation of a low-cost, open source IoT-based SCADA system using ESP32 with OLED, ThingsBoard and MQTT protocol”, *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, 4(1), pp. 57-86, 2019.
DOI: 10.3934/ElectrEng.2020.1.57.
- [10] Bailing Liu, Fumin Zhang, Xinghua Qu, “A Method for Improving the Pose Accuracy of a Robot Manipulator Based on Multi-Sensor Combined Measurement and Data Fusion”, *Sensors*, 15(4), pp. 7933-7952, April 2015.
DOI:10.3390/s150407933.
- [11] О. В. Губаревич, *Надійійність і діагностика електрообладнання. Підручник*. Сєверодонецьк, Україна: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016.

УДК 621.3

И. Б. Лупина, Т. Р. Клочко, В. И. Скицюк

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РАБОТЫ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО СНС-ОБОРУДОВАНИЯ

Сейчас достаточно применяемыми в промышленных обрабатывающих системах являются средства измерения и преобразования информационных сигналов от технологического оборудования.

В основном, современные системы механической обработки материалов используют одноканальные системы, работающие на информационных сигналах, которые идентифицируют физические параметры технологического процесса. Подобная узкая специализация мониторинга по одному из параметров обычно снижает надежность получаемых результатов и, как следствие, надежность всей системы контроля.

Задачей работы является определение возможностей создания принципов функционирования автоматизированной системы на основе многоканальных устройств регистрации информации от обрабатывающего оборудования и возможных подходов к выбору критериев анализа текущей информации.

В результате приведенного анализа состояния отрасли и ее современных преобразований, к разработке предлагается модуль системы для сбора данных о процессе (состоящий из совокупности датчиков), с возможностью дальнейшего их преобразования по определенной зависимости, хранения, передачи и возможностью сигнализации об определенных событиях, например, неисправности или нарушении регламента работы оборудования для использования в системах автоматизации производства, а также для оборудования, которое не включено в системы.

В то же время, многоканальное устройство сенсорной системы предоставляет возможности определения полного информационного объема данных о протекании технологического процесса. Исследованы основные современные средства контроля работы технологического обрабатывающего СНС-оборудования, наиболее применяемые в промышленности.

Определены наиболее перспективные направления развития многокритериальных методов и автоматизированных систем контроля технологического оборудования в части создания комплексных датчиков. Эти сенсорные комплексы регистрируют разные по физическим явлениям сигналы.

Определены основные подходы к созданию систем контроля, которые дают возможность построения теоретических основ, учитывая логику работы системы получения конкретных информационных данных в условиях автоматизации технологических процессов.

Перспективные исследования могут быть направлены на создание алгоритмов работы таких комплексных систем контроля и диагностики качества технологических процессов.

Ключевые слова: система; управления; контроль; многоканальный модуль; критерии; сенсорный комплекс; касания; режущий инструмент.

I. B. Lupyna, T. R. Klotchko, V. I. Skytsiouk

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

MODELLING OF MULTICRITERIAL SYSTEM OF METALWORKING CNC-EQUIPMENT'S CONTROL WORK

Currently, the means of measuring and converting information signals from equipment are widely used in industrial processing systems.

For the most part, modern systems of mechanical processing of materials use mainly single-channel systems that work on information signals that identify the physical parameters of the technological process. Such a narrow specialization of monitoring one of the parameters usually reduces the reliability of the results obtained and, as a consequence, the reliability of the entire control system.

The task of the work is to determine the possibilities of creating the foundations of the automated system on the basis of multi-channel information recording devices from processing equipment and possible approaches to the choice of criteria for the analysis of fluid information.

As a result of the given analysis of a condition of branch and its modern transformations, the module of system for data collection on process (from a set of sensors) is offered for development, with a possibility of their further transformation on certain dependence, storage, transfer, and a possibility of signaling of certain events, for example, faults, for use in production automation systems and for equipment not included in the systems.

At the same time, the multi-channel device of the sensor system provides opportunities to determine the full amount of information about the process. The basic modern means of control of work of technological processing CNC-equipment applied in the industry are investigated.

The most perspective directions of development of multicriteria methods and automated control systems of technological equipment in the part of creation of complex sensors are determined. These sensory complexes register signals that are different in physical phenomena. The main approaches to the creation of control systems provide opportunities to build a theoretical basis given the logic of the system of obtaining specific information data in the automation of technological processes.

Promising research at creating algorithms for such complex systems of quality control and diagnostics of technological processes can be aimed.

Key words: system; management; control; multichannel module; criteria; sensory complex; contact; cutting tool.

Надійшла до редакції

15 березня 2021 року

Рецензовано

31 березня 2021 року