

Б.О. Пальчевський

Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧОГО І ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОЦЕСІВ В КІБЕР-ФІЗИЧНІЙ ВИРОБНИЧІЙ СИСТЕМІ

В роботі описано деякі проблемні питання, що стосуються аналізу взаємодії робочого і інформаційного процесів в технологічній машині, яка розглядається як кібер-фізична система. Показані можливі шляхи взаємодії цих процесів для підвищення досконалості технологічної машини на базі використання останніх досягнень в розвитку мехатроніки і цифрового моделювання. Метою роботи є удосконалення методів досягнення заданого рівня якості технологічного обладнання та формування принципу прогнозування якості машин по параметру керованості.

Ключові слова: кібер-фізична виробнича система, діагностика, інтелектуальна система керування, цифрова модель, датчик, інформаційний процес, робочий процес, ситуаційна система керування

Б.А.Пальчевский**АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧЕГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОЦЕССОВ В КИБЕР-ФИЗИЧЕСКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ**

В работе описаны некоторые проблемные вопросы, касающиеся анализа взаимодействия рабочего и информационного процессов в технологической машине, рассматриваемой как кибер-физическая система. Показаны возможные пути взаимодействия этих процессов для повышения совершенства технологической машины на основе использования последних достижений в развитии мехатроники и цифрового моделирования. Целью работы является усовершенствование методов достижения заданного уровня качества технологического оборудования и формирование принципа прогнозирования качества машин по параметру управляемости.

Ключевые слова: кибер-физическая производственная система, диагностика, интеллектуальная система управления, цифровая модель, датчик, информационный процесс, рабочий процесс, ситуационная система управления

B. Palchevskyi**ANALYSIS OF THE INTERACTION OF WORK AND INFORMATION PROCESSES IN CYBER-PHYSICAL PRODUCTION SYSTEMS**

The article describes some problematic issues related to the analysis of the interaction of the working and information process in technological machines, which are considered as cyber-physical systems. Possible ways of interaction of these processes for increase of perfection of technological machines on the basis of use of the last achievements in development of mechatronics and digital modeling are shown. The purpose of the work is to improve the methods of achieving a given level of quality of technological equipment and the formation of a new principle of forecasting the quality of machines on the parameter of controllability.

Keywords: cyber-physical production system, diagnostics, intelligent control system, digital model, sensor, information process, working process, situational control system.

Постановка проблеми. В зв'язку з ускладненням завдань, розв'язуваних технологічним обладнанням, багаторазово зростають і вимоги до їх систем автоматичного керування (САК), а також до вивчення взаємодії фізичних і кібернетичних процесів в машинах.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Впродовж останніх десятиріч відзначається постійне зростання складності технологічного обладнання і виконуваних ним функцій [4, 5, 11, 13]. Відомо, що одним з недоліків процесу створення нового обладнання є традиційно прийнята послідовність, коли спочатку конструюється механічна частина, потім для розробленої механіки підбирається система керування, яка забезпечує необхідні закони переміщення і технологічні режими обробки [5, 6]. При цьому отримуємо технологічну систему, у якій все ніби оптимально, але роздільно проєктовані частини не завжди виявляються оптимальними в цілому для всієї системи. На сьогоднішній день найкращих результатів в глобальній міжнародній конкуренції досягли машини, що розглядаються як кібер-фізичні системи, а принципи їх створення базуються на ідеях інтелектуального виробництва, які на основі системного підходу об'єднують принципи і методологію цифрового моделювання, штучного інтелекту, мехатроніки [1, 2, 3, 10, 13]. Для цього технологічну машину необхідно розглядати як єдину систему, що включає зв'язані між собою ще на етапі проєктування механічну частину, робочий процес і безпосередньо систему керування [6, 7, 9]. Спостерігається постійне зростання питомої ваги інформаційних процесів при функціонуванні кожного наступного покоління технологічного обладнання. Аналіз літературних джерел показав, що вивчення взаємодії робочих і інформаційних процесів при функціонуванні обладнання спеціально не проводилось, не кажучи вже про використання результатів такого

вивчення для створення нових технологічних кібер-фізичних систем і для прогнозування їх розвитку [6, 11, 12].

Постановка завдань. Першочерговим завданням постає постає необхідність вивчення проблемних питань будови технологічного обладнання нових поколінь, в складі якого використовується сучасна обчислювальна техніка, що має високу швидкодію, дозволяє по-новому підійти до експлуатації технологічної машини. Система керування на базі такої техніки спільно з датчиками інформації здатна виправляти "недоліки" механічної частини технологічної машини. Метою роботи є здійснення аналізу взаємодії робочого і інформаційних потоків в технологічній машині для створення нових підходів, які забезпечать при проектуванні нового технологічного обладнання єдність механіки і керування.

Викладення основного матеріалу. Для здійснення подібного аналізу і створення прогресивних методів проектування представимо технологічне обладнання як кібер-фізичну систему, функціонування якої здійснюється взаємоузгодженою роботою двох його взаємодіючих частин, а саме виконавчої (робочої або фізичної) частини, в якій виконується робочий процес, і керуючої (кібернетичної або інформаційної) частини, яка видає команди для виконавчої частини.

Якщо в традиційній техніці керування циклом обробки розглядається як основна функція САК, то в сучасних інтелектуальних технологічних системах на перший план висувуються вимоги оптимального керування і забезпечення довготривалої роботи технологічного обладнання без відхилень від побудованих математичних і комп'ютерних моделей їх функціонування. Фізичний процес технологічної машини-автомату визначається технологією виготовлення виробу, що задана технологічною картою, в той же час як інформаційні процеси створюють не тільки команди керування цим фізичним процесом, але і сприймають сигнали звітування в залежності від результатів проходження цих процесів відповідно до вказівок, заданих на вході процесу керування, а також забезпечують обробку інформації, необхідної для довготривалого функціонування машини. Останні функції інформаційних процесів викликані тим, що при роботі технологічного обладнання відбуваються як зміни зовнішніх умов, так і зміни стану обладнання, тобто виникає необхідність моніторингу стану обладнання для наступної зміни робочого процесу шляхом його коректування та переналагодження.

В основу аналізу робочого і інформаційних процесів в технологічному обладнанні покладемо такі положення:

1. Технологічне обладнання розділяється на виконавчу підсистему і підсистему керування. Підсистема керування задає виконавчій підсистемі алгоритм функціонування.

2. Алгоритм функціонування технологічного обладнання задає послідовність і умови реалізації функцій робочого процесу в його виконавчій підсистемі.

3. Зміна алгоритму функціонування технологічного обладнання відбувається при його переналагодженні на інший виріб, при зміні зовнішніх умов, або при зміні стану технологічного обладнання за результатами її поточного діагностування.

Щоб здійснити цей технологічний прорив, потрібні зміни у всіх складових елементах виробничої системи з тим, Щоби вона стала інтелектуальною. Очевидно, що умовами реалізації такого виробництва є наявність у його компонентів наступних специфічних характеристик:

1. **Робоча підсистема** – наявність гнучкості технологічного і допоміжного обладнання (універсальність і мобільність).

2. **Інформаційна підсистема** – наявність блоків діагностики зовнішніх умов роботи і стану обладнання, блоку аналізу протікання робочого процесу і цифрової моделі робочого процесу, які дозволяють у взаємодії здійснювати оптимізацію функціонування виробничої системи.

Робоча підсистема технологічних машин нового покоління створюється на основі мехатронних функціональних модулів, які не тільки автоматично виконують переходи технологічної операції, але і здійснюють контроль їх протікання, діагностування стану компонентів машини, а також, при потребі, подають інформацію для зміни алгоритму функціонування машини.

Мехатронні модулі із розвиненою структурою мають власний привід, систему керування і систему діагностики (рис. 1).



Рис. 1. Структура розвинуеного мехатронного модуля технологічної машини

Організація інформаційних процесів в інтелектуальних технологічних машинах передбачає відслідковування робочого процесу, діагностування стану мехатронних модулів і їх адаптацію до зміни умов роботи машини в процесі її функціонування. Суть відслідковування робочого процесу діагностування стану мехатронних модулів зводиться до порівняння досягнутих показників з необхідними. Очевидно, що ідеальними показниками технологічного обладнання є:

- необхідна якість кінцевого продукту,
- коефіцієнт ефективності використання, що наближається до одиниці,
- повна (100%) безаварійність роботи.

Оскільки при формуванні програми керування необхідно враховувати можливі виробничі ситуації, результати аналізу протікання робочого процесу і стану мехатронних модулів, то інтелектуальні САК повинні забезпечувати компенсацію їх відхилень від заданих шляхом внесення певних змін в алгоритм керування машиною. Для реалізації таких можливостей інтелектуальна САК повинна бути забезпеченою моделлю, що описує виробничу ситуацію в задані моменти часу, так звану «цифровою моделлю», тобто цифровим двійником її правильного функціонування. Цифрова модель машини дозволяє швидко отримувати правильні рішення при діагностуванні поточного стану машини в різних умовах виробництва, а також знайти приховані закономірностей в функціонуванні машини та виявити її критичні елементи.

Інтелектуальний пристрій вимірювання та управління бере на себе завдання керування робочим процесом машини та визначення її технологічних, експлуатаційних та виробничих параметрів. З цією метою можуть використовуватися промислові персональні комп'ютери, які налаштовуються переважно як контролери реального часу за допомогою відповідного програмного забезпечення [10, 11].

Технологічні параметри - параметри, пов'язані з реалізацією технологічних режимів, наприклад, температура в робочій зоні, тиск, швидкість переміщення механізмів тощо.

Експлуатаційні параметри – це параметри, пов'язані з швидкозношуваними деталями машини. Відповідно, засобом визначення експлуатаційних параметрів може бути будь-який датчик, здатний визначати зношування відповідного компонента, причому відсоток або ступінь зносу перетворюються на електронний сигнал, який приймається пристроєм вимірювання та управління. Наприклад, оптичний датчик може контролювати зношування критичної частини підшипника, але також і подача мастила або гідравлічний тиск у приводі, що вимірюється, наприклад, п'єзоелектричним датчиком, можуть відноситися до категорії експлуатаційних параметрів.

Виробничі параметри – це параметри, безпосередньо пов'язані з виробництвом виробів, наприклад кількість спожитих витратних матеріалів, якими може бути кількісно охарактеризований обсяг вироблених виробів. Інша кількісна характеристика вироблених виробів може бути отримана шляхом підрахунку кількості циклів деяких машинних компонентів, наприклад підрахунку кількості ходів циліндра при нанесенні логотипу на вироблену продукцію.

Встановивши з'єднання між інтелектуальним пристроєм і пристроєм дротового або бездротового зв'язку, програмний додаток, встановлений на інтелектуальному пристрої, може відобразити технологічні, експлуатаційні та виробничі параметри машини.

Завдяки періодичному або безперервному моніторингу параметрів машини можуть виявлятися відхилення технологічних режимів від заданих для здійснення відповідних коректувань.

Завдяки періодичному або безперервному моніторингу експлуатаційних параметрів машини можуть виявлятися зламані або зношені деталі або компоненти машини. Крім того, стає можливим забезпечити такі умови обслуговування, щоб запасна частина прибувала в той самий момент, коли відповідна деталь машини, що експлуатується, виходить з ладу. Таким чином міг би бути мінімізований час простою машини і зменшено розмір складських приміщень.

Завдяки періодичному або безперервному моніторингу виробничих параметрів машини можуть виявлятися необхідні замовлення на витратні матеріали, що залежать від постачання. Під час виробництва виробів датчики 1 призначені для визначення технологічних параметрів машини (рис.2). Датчики 2 призначені для визначення виробничих параметрів, а датчики 3 - для визначення експлуатаційних параметрів.

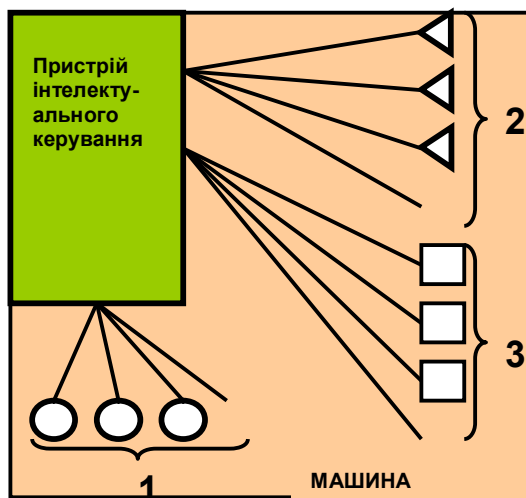


Рис. 2. Елементи системи керування

Визначені технологічні, експлуатаційні та виробничі параметри передаються у пристрій інтелектуального керування, який керує етапами робочого процесу машини. Пристрій інтелектуального керування зберігає певні параметри у своїй кеш пам'яті або внутрішній пам'яті, в якій також можуть зберігатися всі задані або попередньо відібрані параметри. Датчики 1,2,3 можуть бути зв'язаними з пристроєм інтелектуального керування дротовим або бездротовим зв'язками. Машина має також пристрій інтерфейсу користувача і сенсорний екран, який відображає контрольовані елементи та їх значення. Крім того, пристрій інтерфейсу користувача і відображення розрахований на взаємодію з користувачем, тобто являє собою засіб введення даних користувача.

Технологічні машини сучасного покоління орієнтуються на систему ситуаційного керування. При ситуаційному керуванні рішення і створення керуючих впливів ґрунтуються на аналізі варіантів з врахуванням:

- поточного стану технологічного обладнання і умов середовища,
- наявних варіантів поведінки технологічного обладнання (наприклад: підвищити, знизити, або не змінювати продуктивність),
- прогнозу наслідків роботи (наприклад, запас напівфабрикатів закінчиться швидше, ніж надійде нова партія, або будуть створюватися надлишкові його запаси напівфабрикатів або готової продукції).

Системи ситуаційного керування мають пристрій для корекції керуючого сигналу. Ситуаційні системи керування повинні компенсувати зміну зовнішніх умов за допомогою внесення певних змін в керування окремими характеристиками технологічної машини для досягнення оптимальних характеристик системи. Оптимізація в системах, що реалізують оптимальне ситуаційне керування, полягає в тому, щоб найкращим чином в сенсі заданого критерію досягти поставленої мети при реальних умовах і обмеженнях.

Для цього ці системи керування повинні оцінити зовнішні умови для того, щоби ввести необхідні зміни в власні характеристики. Ситуаційна система керування реалізує три функції керування.

1. *Ідентифікація системи* полягає в отриманні оцінки миттєвої якості процесу чи функціонування машини за допомогою визначення деякого показника якості, як правило, за даними зворотного зв'язку. Складна функція ідентифікації передбачає вираховування показника якості системи на основі даних діагностування і вимірювання параметрів процесу, який може порівнюватися із його заданим значенням.

2. *Прийняття рішення* полягає в пошуку напряму зміни програми керування для підвищення якості процесу. Така процедура реалізується за допомогою закладеного в програмі блоку логічних команд, який дозволяє змінити в бажаному напрямі значення одного або декількох керуючих впливів процесу.

3. *Настроювання* виконує реалізацію прийнятого рішення. Якщо функція прийняття рішення є логічною функцією, то функція настроювання передбачає фізичну або механічну зміну в керуванні машиною.

Функціональна схема системи ситуаційного керування наведена на рис.3. На технологічний процес впливають зовнішні умови Z , V , що змінюються. Система керування

визначає біжучі значення вхідних X і вихідних Y параметрів системи і визначає якість процесу u' . Приймається рішення про зміни в налагодженні u , які є необхідними для підвищення якості функціонування технологічної машини. При зміні стану керованого об'єкту така система буде адаптуватися, міняти дисципліну керування з урахуванням мінливих конкретних умов, тобто пристрій керування буде виробляти додаткові інструкції керування до існуючої програми. В програмі формується мета керування, до якої повинна прагнути система керування.

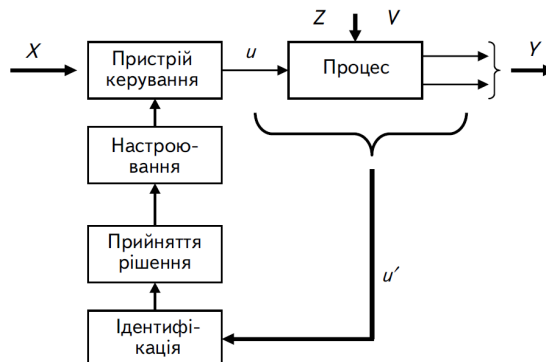


Рис. 3. Ситуаційна система керування

Використання інтелектуальних систем керування дозволяє «прораховувати» віддалені, зовсім не очевидні наслідки прийнятих рішень, а також керувати тенденціями до того, як вони «наберуть чинності». Інтелектуальні технологічні машини мають самоорганізовуваний принцип керування, коли під час роботи змінюються не тільки алгоритм роботи як послідовність дій керування, але і їх структура.

Узагальнюючи міркування багатьох дослідників [9,10, 11], можна стверджувати, що виробнича система стає інтелектуальною, якщо при вирішенні завдань виробництва, вона діє, не маючи точного алгоритму вирішення проблеми, а тільки мету функціонування. Вона адаптується для роботи в зовнішніх умовах, що змінюються з часом, опираючись на відповідну базу знань, які дозволяють створити алгоритм адаптації. На відміну від традиційної програми керування технологічною машиною, коли алгоритм досягнення мети задано спочатку, то в інтелектуальній програмі керування – він будується по ходу досягнення мети з урахуванням ситуації, що складається.

Висновок. У інтелектуальних САК, при зміні зовнішніх умов або характеристик об'єкта керування, відбувається автоматична (заздалегідь не задана програмою) зміна параметрів керуючого пристрою або структури її елементів. Таким чином, забезпечуються стійка робота системи на заданому оптимальному рівні. Такі САК повинні не тільки пристосовуватися до всіх змін зовнішніх умов і характеристик об'єкта, а й функціонувати нормально навіть при наявності несправностей або відмов окремих елементів, створюючи нові ланцюги замість порушених. Інтелектуальні САК можна змусити самовдосконалюватися, «здобувати досвід» шляхом швидкого випробування декількох варіантів, відбору і «запам'ятовування» кращого з них. Розумні машини організують міст між інформаційними технологіями і операційними технологіями, роблячи доступними виробничі дані, які можна використовувати в плануванні виробництва (наприклад, контроль запасу напівфабрикатів і виробів, складання графіків для операторів з технічного обслуговування машин, управління енергопостачанням і заміщення продукту тощо). Використання інтелектуальних САК дозволяє «прораховувати» віддалені, зовсім не очевидні наслідки прийнятих рішень, а також керувати тенденціями змін до того, як вони «наберуть чинності». Однак такі САК, за невеликим винятком, ще не реалізовані для керування технологічним обладнанням.

Список використаних джерел

1. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. – Москва «Машиностроение», 2007. – 256 с.
2. Тимченко А. А. Основы системного проектирования та системного аналізу складних об'єктів. – Київ: «Либідь», 2003. – 270 с.

3. Gaines B.R., Norrie D.H. Knowledge Systematization in the International IMS Research Program // Proc. of IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics Intelligent Systems for 21st Century. -1995. - Vol.1. - P. 958 - 963.
4. Gola A., Świć. A. Design of FFMS Storage Subsystem Using Computer Simulation Method. Actual Problems of Economics/ Актуальні Проблеми Економіки 2013, 4(142), s. 312-318.
5. Groover M.P., Zimmers E.W., CAD/CAM: computer-aided design and manufacturing. New Jersey: Prentice-Hall, 1984. – 528 p.
6. Intelligent Systems for Manufacturing -Multi-agent systems and virtual organizations / L.M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, V. Marik - Editores. - Kluwver Academic Publishers, 1998. - IFIP Vol. 130. - P. 137-140.
7. Palchevsky B., Swic A., Krestianpol H., Computer integrated designing of flexible manufacturing systems, Lublin University of Technology, Lublin 2015.-376 p.
8. Palchevskiy B., Swic A., Krestyanpol H. INCREASING EFFICIENCY OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS BASED ON COMPUTER PRODUCT GROUPING // Advances in Science and Technology Research Journal, Volume 12, Issue 2, June 2018, pages 6–10 - DOI: 10.12913/22998624/92093
9. Policymaker's A. Guide to Smart Manufacturing, Information Technology & Innovation Foundation (ITIF), 30 November 2016, <https://www.itif.org/publications/2016/11/30/policymakers-guide-smart-manufacturing>.
10. Prasanth, S. P.; Pramod, V.R.; Jagathy Raj, V. P. Barriers in TPM Implementation in Industries. // International Journal of Scientific & Technology Research. 2, 5(2013), pp. 28-33.
11. Romero David, Johan Stahre, Thorsten Wuest, Ovidiu Noran, Peter Bernus, Åsa Fast-Berglund and Dominic Gorecky, Towards an Operator 4.0 Typology: A HumanCentric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies, International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE46) Proceedings, October 2016, Tianjin, China
12. Schwaninger M., Intelligent Organizations. Powerful Models for Systemic Management, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
13. Tolio T. (red.), Design of Flexible Production Systems. Methodologies and Tools, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 2009.