

Розділ: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ВИРОБНИЧІ СИСТЕМИ

UDC 004.896 (075.8)

Пальчевський Б. О., д.т.н., проф
Заслужений діяч науки і техніки
України

**«Східноєвропейське наукове
товариство» / Україна**

**КЛАСИФІКАЦІЯ І АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН ЗА
ХАРАКТЕРОМ ВЗАЄМОДІЇ ЇХ РОБОЧИХ І ІНФОРМАЦІЙНИХ
ПРОЦЕСІВ**

***Анотація:** у статті описано деякі проблемні питання, що стосуються аналізу і класифікації технологічних машин і показані можливі шляхи підвищення їх досконалості при проектуванні на базі використання останніх досягнень інтелектуального виробництва, розвитку мехатроніки і цифрового моделювання. Метою роботи є удосконалення методів досягнення заданого рівня якості технологічного обладнання ще на стадії їх проектування, а також формування нового принципу прогнозування якості машин по параметру керованості.*

***Ключові слова:** інтелектуальна виробнича система, автоматична пакувальна машина, інтелектуальне виробництво, цифрова модель, автоматизована система керування, інформаційний процес, робочий процес, адаптивна система керування*

ВСТУП, ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Розвиток українського машинобудування сьогодні немислимий без створення високопродуктивного і конкурентоспроможного технологічного обладнання [3, 15]. Першочерговим завданням постає питання формування нових підходів до проблемних питань будови технологічного обладнання нових поколінь. На сьогоднішній день найкращих результатів в глобальній міжнародній конкуренції досягли машини, що базуються на ідеях інтелектуального виробництва, які на основі системного підходу об'єднують принципи і методологію цифрового моделювання, штучного інтелекту, мехатроніки. [2, 4, 6, 7,10,11].

Впродовж останніх десятиріч відзначається постійне зростання складності технологічного обладнання і виконуваних ним функцій [3, 5]. В цьому плані необхідно відзначити, що в зв'язку з ускладненням завдань, розв'язуваних технологічним обладнанням, багаторазово зростають і вимоги до їх систем автоматичного керування (САК). Одним з недоліків процесу створення обладнання є традиційно прийнята послідовність, коли спочатку конструюється механічна частина, потім для розробленої механіки підбирається система керування, що забезпечує необхідні закони переміщення і технологічні режими обробки [8, 11]. При цьому отримуємо систему, у якій все ніби оптимально, але

ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

роздільно проєктовані частини не завжди виявляються оптимальними в цілому для всієї системи.

Ще понад 40 років тому створення і застосування в розробці технічних систем і конструкцій САД-систем було визнано Національним науковим фондом США (NSF) найбільшою подією, що дозволила різко підвищити продуктивність праці в проєктуванні машин і порівнянним в цьому сенсі, мабуть, лише з початком епохи електрики [13].

Очевидно, що в рамках розвитку четвертої промислової революції під назвою «Індустрія 4» виробники технологічних машин при їх створенні повинні враховувати тенденції цифрового проєктування і моделювання, комп'ютерного інжинірингу, багатокритеріальної оптимізації [1, 8, 12, 20].

Однак при цьому звертає на себе увагу той факт, що при проєктуванні нового технологічного обладнання все більшу роль відіграє єдність механіки і керування [18, 19, 21]. Сучасна обчислювальна техніка, що має високу швидкодію, дозволяє по-новому підійти до створення технологічної машини. Система керування спільно з датчиками інформації здатна виправляти "недоліки" механічної частини технологічної машини. Тому технологічну машину необхідно розглядати як єдину систему, що включає механічну частину, робочий процес і безпосередньо систему керування. Для здійснення подібного аналізу 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 висуваються вимоги оптимального керування і забезпечення довготривалої роботи технологічного обладнання без відхилень від побудованих математичних і комп'ютерних моделей їх функціонування. 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 систем і для прогнозування їх розвитку.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Роль інформаційних процесів в функціонуванні технологічного обладнання

Технологічні машини змінюють форму, розміри, стан, фізико-хімічні властивості, положення в просторі матеріального потоку виробів. При функціонуванні технологічного обладнання (машини) реалізується взаємодія робочого процесу R , що об'єднує матеріальний M і енергетичний потоки E , і інформаційного процесу I (рис.1).

ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

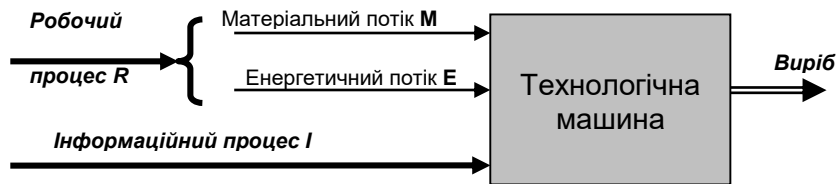


Рис. 1. Процеси і потоки в технологічному обладнанні

Для аналізу розвитку структури технологічного обладнання різних поколінь доцільно представити це обладнання як кібер-фізичну систему, в якій взаємодіють робочий (фізичний) і інформаційний (кібернетичний) процеси. Фізичний процес технологічної машини автомату визначається технологією виготовлення виробу, що задана технологічною картою, в той же час як інформаційний процес створює не тільки команди керування цим фізичним процесом, але і сприймає сигнали звітування в залежності від результатів проходження цих процесів і вказівок, заданих на вході процесу керування, і забезпечує обробку інформації, необхідної для довготривалого функціонування. При роботі технологічного обладнання відбуваються зміни зовнішніх умов та зміни стану обладнання, тобто виникає необхідність зміни робочого процесу шляхом переналагодження.

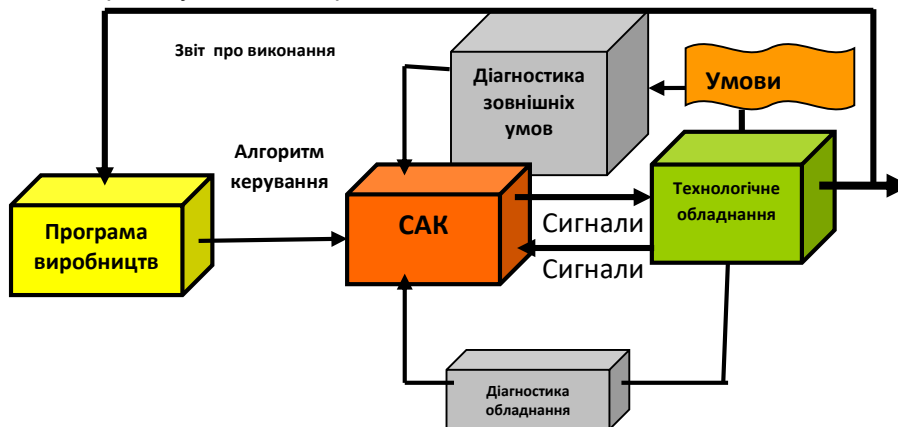


Рис. 2. Зв'язок інформаційних і робочого процесів при функціонуванні технологічного обладнання

В залежності від характеру взаємодії інформаційних і робочого процесів в обладнанні (рис.2), можна виділити такі покоління технологічних машин: машини з ручним, програмним, адаптивним, ситуаційним та інтелектуальним керуванням [15].

При програмному керуванні САК видає керуючі впливи відповідно до закладеної в неї заздалегідь програми незалежно від ситуації, що складається.

При адаптивному керуванні сигнали виробляються в залежності від рівня певного «відгуку», який є «зворотним зв'язком».

При ситуаційному керуванні рішення і керуючі впливи ґрунтуються на аналізі варіантів з врахуванням: поточного стану, наявних варіантів дій (наприклад:

підвищити, знизити, не змінювати продуктивність), прогнозу наслідків (наприклад, запас напівфабрикатів закінчиться швидше, ніж надійде нова партія, або є надлишкові його запаси).

Інтелектуальні системи керування дозволяють виробляти і використовувати нову інформацію для підвищення ефективності і зниження ризиків керування. Відхід від шаблонних рішень дозволяє синтезувати в таких технологічних системах нові знання на базі композиції відомих. Фундаментальна наукова основа інтелектуальних САК - забезпечення і використання в різних варіантах і комбінаціях існуючих знань для отримання нових знань, поширення цих знань на нові області. Використання інтелектуальних систем керування дозволяє «прораховувати» віддалені, зовсім не очевидні наслідки прийнятих рішень, а також керувати тенденціями до того, як вони «наберуть чинності».

Тому висувуються підвищені вимоги до САК технологічного обладнання, особливо до їх програмного забезпечення, що викликає необхідність аналізу вже на стадії проектування зв'язку між математичними методами опису реального функціонування технологічного обладнання і цифровими моделями. Складність такого аналізу ускладнюється можливістю, а іноді і необхідністю схематизації або спрощення значною мірою невивчених робочих процесів, що відбуваються при функціонуванні технологічного обладнання, і це може привести до значних розбіжностей результатів математичного моделювання і практичного дослідження роботи машини.

Класифікація технологічного обладнання (машин) за характером взаємодії інформаційного і робочого процесів

В основу класифікації і аналізу технологічного обладнання 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.

Технологічні машини першого покоління. В машинах першого покоління фізичний процес розбитий на простіші частини - технологічні переходи, а процес керування виконавчими механізмами, що виконують ці переходи, здійснюється оператором. При ручному управлінні використовуються різні пристрої: електричні, механічні, гідравлічні, пневматичні, електронні та комбіновані. У сучасних технологічних машинах та верстатах ручне управління часто поєднується з цифровою індикацією інформації (або відображенням її на дисплеї), що надходить від датчиків положення виконавчих органів.

ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

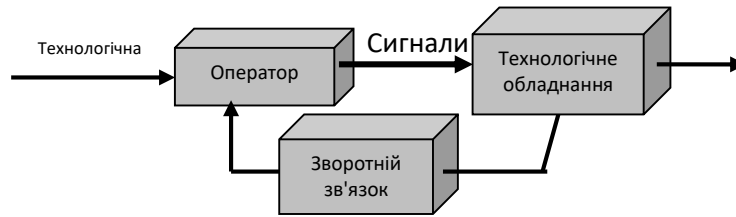


Рис. 3. Взаємодія інформаційного і робочого процесів в технологічних машинах першого покоління

Структура **технологічної машини першого покоління** (рис.4). складається з двигуна, передавального і виконавчих механізмів. Виконавчий механізм складається з механізмів робочих і допоміжних ходів. Автоматичне керування машиною відсутнє.

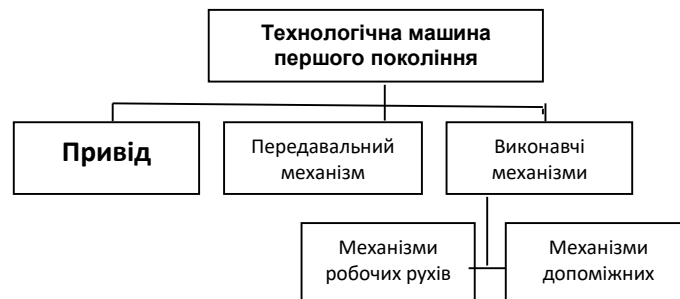


Рис. 4. Структура технологічної машини першого покоління

Ручне управління ґрунтується на тому, що рішення про виконання тих чи інших елементів технологічного циклу приймає оператор, який на підставі цих рішень включає або вимикає відповідні механізми і задає режими їх роботи.

Технологічні машини другого покоління. Технологічні машини другого покоління – машини із цикловим і програмним автоматичним керуванням (САК). Ці машини автоматично здійснюють рухи за програмою з повторюваними циклами. Особливістю технологічних автоматів **другого покоління** є виконання наперед запланованої послідовності технологічних дій, яку називають програмою керування.

Під програмою керування розуміють сукупність правил подання керуючих дій для виконавчих механізмів машини, що забезпечують її функціонування при розв'язанні заданого технологічного завдання. Для автоматичного виконання програми керування вона повинна містити всю необхідну інформацію, яка забезпечить узгоджені рухи всіх виконавчих механізмів. Ця інформація може бути розділена на три групи [15]:

- функціональна або організаційна інформація, яка задає послідовність технологічних дій та рухів, напрями переміщень, виконання дій з включення – виключення переміщень тощо;
- технологічна інформація (при розмірній обробці – це кінематична інформація) задає швидкості переміщень при виконанні робочих

ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

рухів та інші технологічні режими – такі як зусилля, тиск, температура, витримка часу тощо;

- геометрична інформація, яка задає величини переміщень виконавчих механізмів.

Машини другого покоління - механічні системи з одним або декількома електро - або пневмоприводами. У них застосовується кулачкове, вбудоване апаратно-програмоване або цифрове програмне управління. В залежності від того, які технічні засоби використовуються для передачі інформації для керування технологічною машиною, розрізняють такі види програмних САК:

- механічна САК, в якій програмоносієм є кінематичні механізми, тобто набір розміщених на розподільчому валу циліндричних чи дискових кулачків, профіль яких забезпечує задані закони переміщень виконавчих механізмів (див.рис.6);
- електромеханічна циклова САК, в якій програмоносієм є штекерна панель, керування здійснюють за допомогою рележно-контактної або безконтактної апаратури, а величини переміщень задаються кінцевими механічними упорами;
- контролерні САК, в якій програма керування заснована на використанні засобів програмованої логіки, а програмоносієм є програмований контролер чи мікроЕОМ, які за заданою програмою здійснюють послідовний опит всіх датчиків, порівняння результату із комбінацією вхідних даних, що задані програмою, та формування сигналів керування механізмами машини;
- числова система програмного керування - всі дані програми керування задаються в вигляді букво-числового коду, а програма керування представляє собою детальний набір покрокових команд, які повідомляють технологічній машині, які дії і в якій послідовності вона повинна виконувати.

Приклад машини другого покоління із механічною САК може бути машина для пакування сипких продуктів в пакет, який на цій же машині виготовляється із плівки [5]. Вона виконує переходи дозування сипкого матеріалу, засипання цієї дози в пакет, виготовлений згортанням плівки в трубу та заварювання відрізка труби поперечними швами знизу для утворення дна і зверху для герметизації засипаної в нього дози (рис.5). Машини другого покоління моделі Rovema MVP для реалізації цієї технологічної схеми має вигляд, показаний на рис.6.

Структура цієї машини (рис.7) включає двигун, передавальні і виконавчі механізми, які поєднані з системою автоматичного контролю вигляді командоапарата, яка забезпечує синхронізацію роботи всіх механізмів машини. Задаючий кулачковий вал такого командоапарата може обертатися або з постійною частотою (синхронно з рухом головного приводу), або в старт-стопному режимі, коли обертання включається лише за сигналом про виконання заданих переміщень.

ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

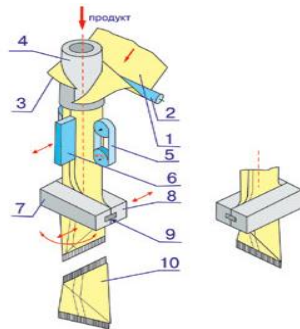


Рис. 5. Технологічна схема машини для пакування сипких матеріалів: 1 – плівка; 2 – натяжний валок; 3 – формуючий комірець; 4 – продуктопровід; 5 – механізм протягування; 6 – губки поздовжнього зварювання, 7 і 8 – губки періодичного поперечного зварювання; 9 – відрізний ніж; 10 – готовий пакет

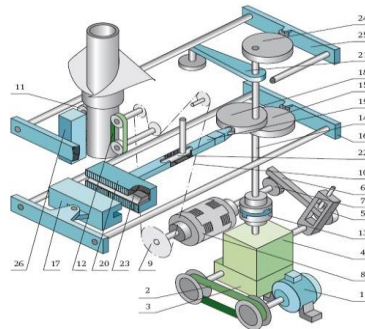


Рис. 6. Пакувальна машина - автомат Roveta MVP із механічною САК : 1-електродвигун, 2-варіатор, 3-редуктор, 4-редуктор з двома валами, 5-кривошип, 6-зубчаста рейка, 7 – шестерня, 8- муфти, 9-зірочка, 10 –ланцюг транспортера, 11-12-транспортери протяжки, 13-муфта, 14-вал головний, 15-кулачок приводу передньої поперечної губки, 16-привід губки, 17-передня поперечна губка, 18,19,20 – кулачок, привід і сама задня поперечна губка, 21-штовхач приводу ножа, 22-привід ножа, 23-ніж, 24-кулачок приводу поздовжньої губки, 25-її привід, 26-поздовжня губка

В САК використовується один канал інформації, що несе в собі задану програмою інформацію керування механізмами. Більшість систем програмного керування мають також контури із зворотними зв'язками, які дозволяють подавати інформацію про закінчення кожного кроку програми раніше, ніж буде виконано наступний крок. Для контролю правильності виконання команд, що задаються пристроєм, застосовуються спеціальні датчики (датчики зворотного зв'язку).

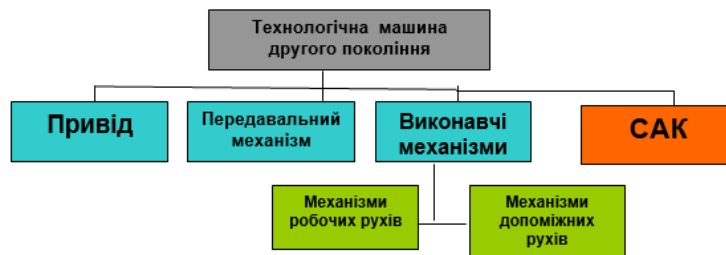


Рис.7. Структура технологічної машини-автомату другого покоління

Інформація зворотного зв'язку може містити відомості про фактичну швидкість переміщення робочого органу, його положення, про закінчення циклу або окремих його елементів та інші відомості про протікання робочого процесу, але ця інформація не може використовуватися для зміни параметрів робочого процесу.

Технологічні машини третього покоління. Оскільки на протікання робочого процесу діють також різного роду збурення, то інформація про них використовується в САК адаптивного керування для зміни процесу функціонування технологічного обладнання третього покоління. Адаптивна САК разом із датчиками інформації здатна виправляти недоліки механічної частини технологічної машини шляхом коректування програми керування машиною за допомогою підсистем діагностування стану технологічної машини та адаптації до зміни умов функціонування, наприклад, при зміні щоденних відхилень характеристик інструментів, вхідних матеріалів і напівфабрикатів, температури і вологості навколишнього повітря тощо.

Широке застосування адаптивні САК знаходять в тих технологічних машинах, де висувуються високі вимоги до параметрів робочого процесу або до параметрів одержуваних виробів. Крім того, вони застосовуються в тих випадках, коли випадкові збурення на протікання робочого процесу в машині є значними, що дає можливість врахувати відхилення в його протіканні в програмі або скорегувати з пульта в процесі управління.

Адаптивні САК можуть відрізнитися способами контролю параметрів, що викликають збурення, і способами впливу на параметри регулювання. В адаптивних САК металорізальних верстатів, наприклад, найчастіше параметрами, які викликають збурення і використовуються для регулювання є: потужність і сила різання, діаметр обробки, припуск на обробку, температура в зоні різання, деформація в системі верстат - пристрій - інструмент - заготовка, знос ріжучого інструменту, вібрації при роботі тощо. Тобто в цих адаптивних САК для керування перебігом робочого процесу використовуються два і більше каналів додаткової інформації.

За характером вирішуваних завдань діагностування розрізняють наступні підсистеми діагностування:

- для перевірки функцій обладнання;
- для оцінки точності параметрів обробки виробів.

Технологічні машини четвертого покоління мають систему ситуаційного керування. Чим більше каналів інформації використовується в системі керування, тим вище якість її роботи, тим ефективніше процес 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 використовують два і більше каналів додаткової інформації та 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 внести 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 вирахування показника якості системи на основі даних вимірювання параметрів процесу, який може порівнюватися із його заданим значенням.
2. *Прийняття рішення* полягає в пошуку напряму зміни програми керування в напрямі 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.8. 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.

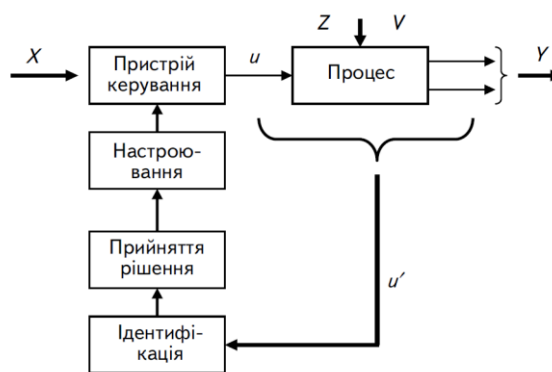


Рис. 8. Ситуаційна система керування

Технологічні машини п'ятого покоління – це інтелектуальні технологічні машини із самоорганізованим принципом керування та використанням елементів штучного інтелекту в їх системах керування. Інтелектуальні

технології керування дозволяють на базі відомих знань отримувати в процесі роботи нові знання і на їх основі міняти, удосконалювати мету, завдання, методи роботи для отримання принципово нового результату для зростання ефективності функціонування. У самоорганізовуваних системах під час роботи змінюються не тільки алгоритм роботи як послідовність дій керування, але і їх структура.

Узагальнюючи міркування багатьох дослідників [18,19], 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. Для цього інтелектуальні САК повинні бути придатними для роботи з базами знань [15, 20]. На відміну від традиційної програми керування технологічною машиною, коли алгоритм досягнення мети задано спочатку, а в інтелектуальній – він будується по ходу досягнення мети з урахуванням ситуації, що складається.

Щоб здійснити цей технологічний прорив, потрібні зміни у всіх складових елементах виробничої системи. Очевидно, що умовами реалізації інтелектуального 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, які дозволяють у взаємодії здійснювати оптимізацію алгоритму функціонування робочої підсистеми.

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

Мехатронні модулі із розвинуеною структурою мають власний привід, систему керування і систему діагностики, тобто мають структуру подібну до структури технологічної машини-автомату третього покоління (рис.9).



Рис. 9. 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

ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

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 званою «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.

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».

У інтелектуальних САК, при зміні зовнішніх умов або характеристик об'єкта керування, відбувається автоматична (засдалегідь 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. Однак такі САК, за невеликим винятком, ще не реалізовані для керування технологічним обладнанням.

Порівняльний аналіз технологічного обладнання різних поколінь. Якщо розташувати технологічне обладнання різних поколінь за таким показником як складність інформаційних потоків в них, то отримуємо такий розподіл як в таблиці 1.

За даними опитування, проведеного фахівцями аналітичного агентства Aberdeen Group, що включав понад 550 респондентів, компаній - світових лідерів з різних галузей промисловості, за останні кілька років вироблене технологічне обладнання стало значно складнішим: зросла кількість механічних і електронних компонентів, число рядків програмного коду для керування машинами [1, 14].

Таблиця 1

Характеристики технологічного обладнання різних поколінь

Покоління технологічного обладнання	Вид керування	Основні інформаційні процеси		Додаткові інформаційні процеси		
		Подання команд	Звіти про виконання	Діагностика стану обладнання і коректування параметрів	Діагностика зовнішніх умов функціонування і коректування параметрів	Зміна алгоритму керування його структури
I	Ручне	Вручну	Автоматична сигналізація	Вручну	Вручну	Вручну
II	Програмне	Автоматично	Автоматично	Вручну	Вручну	Вручну
III	Адаптивне	Автоматично	Автоматично	Автоматично	Вручну	Вручну
IV	Ситуаційне	Автоматично	Автоматично	Автоматично	Автоматично	Вручну
V	Самоорганізовувальне	Автоматично	Автоматично	Автоматично	Автоматично	Автоматично

За даними опитування, проведеного фахівцями аналітичного агентства Aberdeen Group, що включав понад 550 респондентів, компаній - світових лідерів з різних галузей промисловості, за останні кілька років вироблене технологічне обладнання стало значно складнішим: зросла кількість механічних і електронних компонентів, число рядків програмного коду для керування машинами [1, 14]. Їх відносна кількість показує, що кількість компонент, що реалізують інформаційний потік, зростає порівняно швидше ніж саме обладнання в цілому (рис. 10).

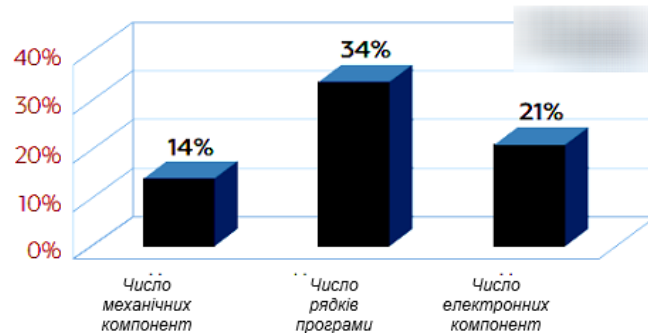


Рис. 10. Співвідношення компонент в структурі сучасного технологічного обладнання

Для кількісної оцінки структури технологічного обладнання використаємо співставлення витрат W_R і W_I на реалізацію робочого і інформаційних потоків відповідно. Тоді відносний рівень інформаційного забезпечення технологічного обладнання може бути визначений як:

$$I = \frac{W_I}{W_R + W_I} \quad (1)$$

ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

де: W_R – витрати на реалізацію робочого потоку в технологічному обладнанні;

W - витрати на реалізацію інформаційного потоку в в технологічному обладнанні.

Досконалість САК може характеризуватися співвідношенням складностей її апаратної і програмної частин за наступним виразом, яким назовемо коефіцієнтом програмованості K_{np}

$$K_{np} = \frac{Q_{np}}{Q_{an} + Q_{np}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де: Q_{an} - кількість елементів апаратної частини САК,

Q_{np} - кількість рядків програмного коду в САК.

Аналіз даних багатьох дослідників показує [17,19,21], що показники K_{np} і I мають тенденцію до зростання при зміні покоління технологічних машин (рис.11).

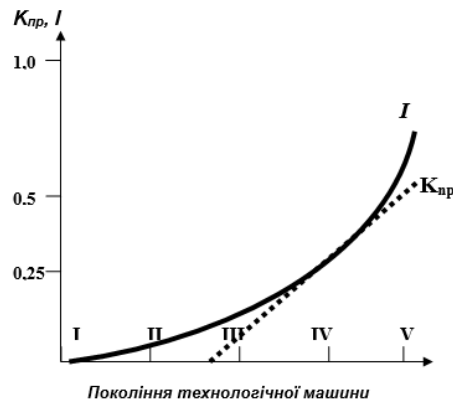


Рис. 11. Діаграма зміни характеристик технологічного обладнання різних поколінь

Статистичні дані показують, що фактична доля компонент інформаційного забезпечення технологічного обладнання починає все більш стрімко зростати, що характерно для нових поколінь технологічного устаткування. Як бачимо, САК нових поколінь технологічного обладнання ускладнюються за рахунок зростання кількості виконуваних ними функцій, кількості інформаційних каналів в них, числа рядків програмного коду в алгоритмах керування.

При аналізі суміщеної діаграми (рис.11) чітко простежується взаємозв'язок між кількістю компонент інформаційного забезпечення та рівнем досконалості технологічного обладнання, що може бути враховано ще на стадії проектування.

ВИСНОВКИ

Досягнення якості світового рівня для продукції вітчизняного машинобудування в великій мірі залежить від системного підходу до розв'язання конструкторських і технологічних завдань не тільки на стадії

проекування, але і практично на всіх етапах життєвого циклу технологічного обладнання. Аналіз взаємодії робочого і інформаційних процесів в технологічному обладнанні дозволяє розглядати його як кібер-фізичну систему. Структура цієї системи визначається складністю і умовами взаємодії в ній робочого і інформаційних процесів. Складність інформаційних процесів може бути описана кількістю додаткових каналів інформації, а складність інформаційних потоків в цих процесах – співвідношенням складності апаратної і програмної компонент інформаційних потоків.

Для виключення проблем низької ефективності при експлуатації сучасної техніки доцільно проводити аналіз і експертну оцінку проекту, знаходити конструктивні, технологічні та експлуатаційні рішення, що гарантують надійне функціонування технологічного обладнання.

Запропонована методика класифікації і аналізу технологічного обладнання дозволить вдосконалити принципи їх проектування і вже на стадії проектування оцінити її майбутні експлуатаційні показники та керованість функціонування. Тому розробка науково-обґрунтованих методів оптимізації структури технологічного обладнання шляхом забезпечення раціональної взаємодії з робочим процесом їх інформаційного забезпечення є актуальною науково-технічною проблемою.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Павлевич А.Л., Староверов Н.Н., к.т.н., Хитрых Д.П.. Эффективная платформа прикладных исследований и всестороннего численного моделирования на основе решений ANSYS //CAD/CAM/CAE Observer #3 (119) / 2018.-с.70-75
- [2] Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. – Москва «Машиностроение», 2007. – 256 с.
- [3] Расторгуев Г. А. Перспективы развития технологических процессов в машиностроении / Г. А. Расторгуев, В. А. Рогов // Технология машиностроения. – 2009. – № 2. –С. 68-71.
- [4] Тимченко А. А. Основы системного проектирования та системного аналізу складних об'єктів. – Київ: «Либідь», 2003. – 270 с.
- [5] Ульянов В. Классификация оборудования для упаковки продуктов в термосвариваемые пакеты. - ПАКЕТ, №2, 2004.
- [6] Яхно О.М., Узунов А.В., Луговской А.Ф. и др. Введение в мехатронику. Киев, 2008 – 527 с.
- [7] Banaszak Z., Pisz I., Project-driven production flow management. In. Project Driven Manufacturing., WNT, Warszawa, 2003, 53-71.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Goldman S.L. Agile competitors and virtual organizations: strategies for enriching the customer / S.L. Goldman, R.N. Nagel, K. Preiss. - N.Y.: Van Nostrand Reinhold, 1995. - 640 p
- [11] Groover M.P., Zimmers E.W., CAD/CAM: computer-aided design and manufacturing. New Jersey: Prentice-Hall, 1984. – 528 p.
- [12] Intelligent Systems for Manufacturing -Multi-agent systems and virtual organizations / L.M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, V. Marik - Editores. - Kluwer Academic Publishers, 1998. - IFIP Vol. 130. - P. 137-140.

- [13] Krouse J.K. What Every Engineer Should Know About Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing: The CAD/CAM Revolution. – New York; Basel: Marcel Dekker, 1982.
- [14] Mauricio Armellini and Tim Pike, Bank Underground – блог сотрудников Банка Англии (Bank of England).
- [15] Palchevsky B., Swic A., Krestianpol H., Computer integrated designing of flexible manufacturing systems, Lublin University of Technology, Lublin 2015.-376 p.
- [16] 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
- [17] 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>.
- [18] 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.
- [19] 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
- [20] Schwaninger M., Intelligent Organizations. Powerful Models for Systemic Management, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- [21] Tolio T. (red.), Design of Flexible Production Systems. Methodologies and Tools, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 2009.

CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL MACHINES BY THE NATURE OF THE INTERACTION OF THEIR WORKING AND INFORMATION PROCESSES

Palchevskiy B., DThSc., Prof.,

Honored Worker of Science and
Technology of Ukraine

**«Eastern European Scientific
Society» / Ukraine**

Abstract: *the article describes some problematic issues related to the analysis and classification of technological machines and shows possible ways to improve their perfection in designing based on the use of the latest achievements of intellectual production, development of mechatronics and digital modeling. The purpose of the work is to improve the methods of achieving a given level of quality of technological equipment at the stage of their design, as well as the formation of a new principle for predicting the quality of machines by the controllability parameter.*

Keywords: *intelligent production system, automatic packaging machine, intellectual production, digital model, automated control system, information process, workflow, adaptive control system*

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- [1] Pavlevich, A.L., Staroverov, N.N., & Heathrich, D.P. (2018). An effective platform for applied research and comprehensive numerical modeling based on ANSYS solutions. *CAD / CAM / CAE Observer*, 3 (119), 70-75. (in Russian).

ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

- [2] Poduraev, Yu.V. (2007). *Mechatronics: basics, methods, application*. Moscow «Mechanical Engineering». (in Russian).
- [3] Rastorguev, G.A., & Rogov, V.A. (2009). Prospects for the Development of Technological Processes in Mechanical Engineering. *Technology of Mechanical Engineering*, 2, 68-71. (in Russian).
- [4] Timchenko, A.A. (2003). *Fundamentals of system design and system analysis of complex objects*. Kyiv: Lybid. (in Ukrainian).
- [5] Ulyanov, V. (2008). Classification of equipment for packaging products in heat-sealed packages. *PACKAGE*, 2. (in Russian).
- [6] Yakhno, O.M., Uzunov, A.V., & Lugovskaya, A.F. (2008). *Introduction to Mechatronics*. Kiev. (in Russian).
- [7] Banaszak, Z., & Pisz, I. (2003). *Project-driven production flow management*. In: *Project Driven Manufacturing*. WNT, Warszawa, 53-71. (in English).
- [8] Gaines, B., & Norrie, D. (1995). Knowledge systematization in the international IMS research program. *1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Intelligent Systems for the 21st Century*, 1, 958-963. doi:10.1109/icsmc.1995.537891 (in English).
- [9] Gola, A., & Świć, A. (2013). Design of FFMS Storage Subsystem Using Computer Simulation Method. *Actual Problems of Economics*, 4(142), 312-318. (in English).
- [10] Goldman, S.L., Nagel, R.N., & Preiss, K. (1995). *Agile competitors and virtual organizations: strategies for enriching the customer*. N.Y.: Van Nostrand Reinhold. (in English).
- [11] Groover, M.P., & Zimmers, E.W. (1984). *CAD/CAM: computer-aided design and manufacturing*. New Jersey: Prentice-Hall. (in English).
- [12] Camarinha-Matos, L.M., Afsarmanesh, H., & Marik, V. (1998). Intelligent Systems for Manufacturing -Multi-agent systems and virtual organizations. *Kluwver Academic Publishers*, 130, 137-140. (in English).
- [13] Krouse, J.K. (1982). *What Every Engineer Should Know About Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing: The CAD/CAM Revolution*. New York, Basel: Marcel Dekker. (in English).
- [14] Mauricio Armellini & Tim Pike. (2019). *Bank Underground*. Bank of England. (in English).
- [15] Palchevsky, B., Swic, A., & Krestianpol, H. (2015). *Computer integrated designing of flexible manufacturing systems*. Lublin University of Technology, Lublin. (in English).
- [16] Palchevskiy, B., Swic, A., & Krestyanpol, H. (2018). Increasing efficiency of flexible manufacturing systems based on computer product grouping. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 12 (2), 6–10 - DOI: 10.12913/22998624/92093 (in English).
- [17] Policymaker's, A. (30 November, 2016). Guide to Smart Manufacturing. *Information Technology & Innovation Foundation (ITIF)*. Retrieved from <https://www.itif.org/publications/2016/11/30/policymakers-guide-smart-manufacturing>. (in English).
- [18] Prasanth, S. P. Pramod, V.R., & Jagathy Raj, V. P. (2013). Barriers in TPM Implementation in Industries. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 2, (5), 28-33. (in English).
- [19] Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., & Bernus, P. (October, 2016). 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*, Tianjin, China. (in English).
- [20] Schwaninger, M. (2009). *Intelligent Organizations. Powerful Models for Systemic Management*. Springer-Verlag, Berlin: Heidelberg. (in English).
- [21] Tollo, T. (2009). *Design of Flexible Production Systems. Methodologies and Tools*. Springer-Verlag, Berlin: Heidelberg. (in English).

Стаття надійшла до редакції 12.11.2019