

Недашковський О.П.*, Грубка Р.М., Михайлов Д.О.,
Петряєва І.О., Петров М.Г., Михайлов О.М.
Донецький національний технічний університет,
кафедра технології машинобудування,
* Сніжнянський машинобудівний завод

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ СИНТЕЗУ 2D- І 3D-КОМПОНУВАНЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

© Недашковський А.П., Грубка Р.М., Михайлов Д.О., Петряєва І.О.,
Петров М.Г., Михайлов О.М., 2013

На підставі виконаного аналізу загальних принципів компоновання відомих типів технологічних систем розроблені нові принципи створення, проектування та функціонування якісно нових високоефективних технологічних систем безперервної дії – поточно-просторових технологічних систем (ППТС). Ці системи належать до технологічних систем високої і надвисокої ефективності з 2D- і 3D-компонованням.

On the basis of the analysis of general principles of arrangement known technological systems types developed new principles of creation, design and operation of qualitatively new highly technological continuous systems - thread-spatial technology systems. These systems relate to the technological systems ultrahigh efficiency with 2D- and 3D-packaging.

Вступ. Науково-технічний прогрес безперервно ставить перед машинобудівниками усе нові та складніші завдання, пов'язані зі створенням якісно нової сукупності властивостей і міри корисності виробів, що випускаються, підвищенням ефективності виробництва, автоматизацією виробничих процесів, екологічною безпекою [1, 2]. Це зумовлено запитамі суспільства та можливостями науки, техніки та економіки.

Одним з перспективних напрямків вирішення проблем машинобудування є комплексна і повна автоматизація виробничих процесів на основі технологій безперервної дії [3, 4].

На рис. 1 показані деякі характеристики технологічних систем безперервної дії. Тут технологічні машини розділені на групи, залежно від виробництва:

- технологічні машини нормальної ефективності [5–7];
- технологічні машини високої ефективності [8];
- технологічні машини надвисокої ефективності [9, 10].

Ці технологічні системи мають якісно нові властивості і можливості. Вони можуть використовуватися у комплексній та повній автоматизації виробничих процесів машинобудування в умовах масового виробництва виробів різного призначення.

У цій роботі будуть порушені питання, пов'язані тільки з технологічними системами високої і надвисокої продуктивності [8–10], оскільки технологічні системи нормальної продуктивності сьогодні достатньо досліджені і широко розроблені. Хоча загалом представлені далі розробки можуть бути поширені і на технологічні системи нормальної продуктивності, тобто на роторні та роторно-конвеєрні машини [5–7].

Відзначимо те, що у цій роботі технологічні системи безперервної дії високої і надвисокої продуктивності називаються поточно-просторовими технологічними системами (ППТС).

На основі цих технологічних машин і систем особливо ефективно вирішуються питання комплексної автоматизації виробничих процесів машинобудування.

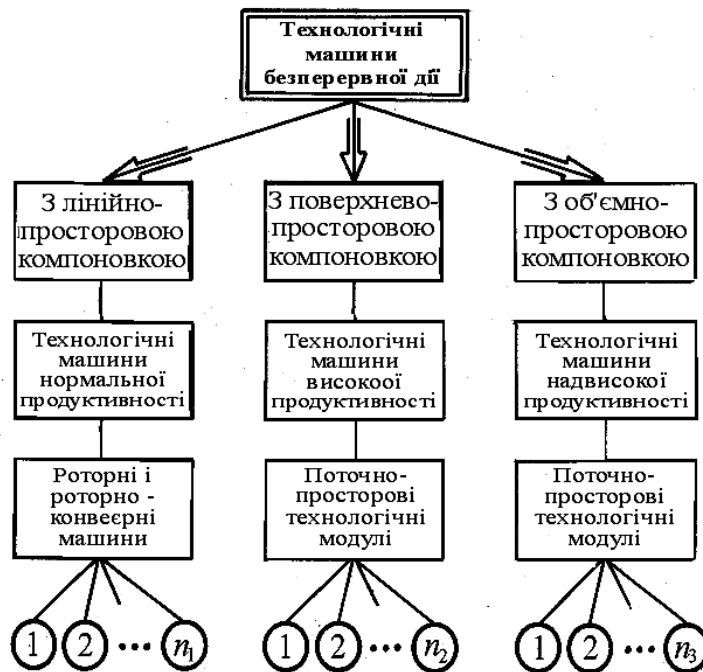


Рис. 1. Деякі характеристики технологічних систем безперервної дії

Актуальність і постановка проблеми досліджень. На рис. 2 показана гіпотетична модель (оболонки) особливостей перетворення предмета оброблення (ПО) за комплексної автоматизації виробничих процесів на основі технологій і технологічних систем безперервної дії. За комплексної або повної автоматизації виробничих процесів виробляється перетворення вхідних потоків матеріального, енергетичного та інформаційного характеру у вихідні потоки матеріального, енергетичного та інформаційного характеру без безпосередньої участі людини за допомогою автоматів. Причому у процесі проектування виробничих процесів усі проектні рівні повинні реалізовуватися в оболонці комплексної автоматизації.



Рис. 2. Гіпотетична модель особливостей комплексної автоматизації виробничих процесів безперервної дії

Проведені раніше дослідження у галузі технологій і технологічних систем безперервної дії дали змогу зробити такі висновки:

1. Для забезпечення комплексної автоматизації та інтенсифікації виробничих процесів перспективними є технологічні системи безперервної дії, в яких технологічне оброблення здійснюється у процесі безперервного транспортного руху предметів оброблення разом зі знаряддями і засобами оброблення.

2. Принципи проектування роторних і роторно-конвеєрних машин ґрунтуються на елементарних структурах блоків технологічного впливу і лінійності їх компонування в технологічних модулях і автоматичних лініях. Це призводить до того, що на практиці виробничі обсяги цехів використовуються неефективно. При цьому застосовані автоматичні лінії роторного компонування мають низькі техніко-економічні показники.

3. Під час створення автоматичних технологічних систем необхідно прагнути до збільшення використання обсягів технологічного простору. При цьому потрібно проектувати компактні технологічні системи з просторовим компонуванням блоків технологічного впливу з поверхнево-

просторовими або об'ємно-просторовими технологічними зонами, які також характеризуються безперервним рухом знарядь і засобів оброблення разом з предметами оброблення.

У цій роботі зроблено спробу розробити загальні принципи створення якісно нових технологічних систем безперервної дії, створення загального теоретичного підходу у проектуванні ППТС, синтезу конкретних варіантів ППТС та вирішення питань автоматизації виробничих процесів на основі цих технологічних систем.

У зв'язку з цим, метою роботи є розроблення високоефективних технологічних систем безперервної дії з якісно новими властивостями і можливостями, що дають змогу вирішувати питання комплексної та повної автоматизації виробничих процесів. У роботі планується виконати такі основні завдання:

- розробити нові принципи синтезу ППТС;
- розробити загальний теоретичний підхід у створенні і функціонуванні високоефективних ППТС;
- спроектувати конкретні варіанти ППТС для вирішення питань комплексної автоматизації виробничих процесів.

Основний зміст і результати досліджень. Створені на основі відомих принципів проектування та функціонування роторні та роторно-конвеєрні технологічні системи мають якісно нові можливості і високі техніко-економічні показники виготовлення виробів [5–7]. Однак з прогресом науки і техніки з'являються нові можливості в розвитку технологічних систем безперервної дії. Тому для проектування високоефективних ППТС безперервної дії необхідні нові принципи їх створення та функціонування.

Аналіз процесу створення та функціонування ППТС [8–10] дав змогу встановити такі основні принципи їх проектування і функціонування:

- підвищення потужності концентрації безлічі технологічних елементів (блоків технологічного впливу);
- складання з концентрованої безлічі технологічних елементів спеціальних p -вимірних груп з підсистемами k -го класу;
- забезпечення упорядкування багатовимірної замкнутої рекурентної структури технологічних елементів за рахунок упорядкування підсистем $(k-1)$ -го класу у кожній підсистемі k -го класу;
- просторової композиції технологічних елементів і переходу від їх лінійно-просторового компонування (1D-комполювання) до поверхнево-просторового компонування (2D-комполювання) і потім до об'ємно-просторового компонування (3D-комполювання);

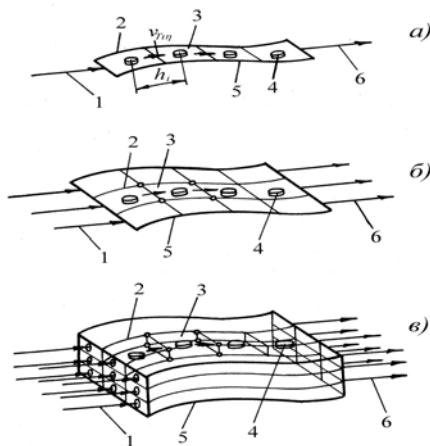


Рис. 3. Моделі технологічних зон: а – лінійна (1D); б – поверхнева (2D); в – об'ємна (3D)

- просторового компактування структури технологічних елементів у просторові компактні структури і збільшення коефіцієнта використання технологічного простору;
- забезпечення складної кінематичної структури транспортного руху багатовимірної замкнутої структури технологічних елементів;
- забезпечення відповідності (рівності) загальної кількості елементарних транспортних рухів кількості класів підсистем складної багатовимірної замкнутої рекурентної структури технологічних елементів;
- забезпечення паралелізму функціонування підсистем $(k-1)$ -го класу у підсистемах k -го класу складної багатовимірної замкнутої структури технологічних елементів;
- забезпечення послідовного фазового зсуву процесу виконання заданих основних і допоміжних функцій у

підсистемах ($k-1$)-го класу підсистем k -го класу складної багатовимірної замкнутої структури технологічних елементів;

– забезпечення безперервності функціонування усіх підсистем складної багатовимірної замкнутої структури технологічних елементів системи; модульності проектування підсистем і усієї технологічної системи;

– реалізація принципів мехатроніки і адаптроніки під час створення нових технологій і технологічних систем.

Можна відзначити, що запропоновані принципи разом з відомими принципами проектування технологічних систем становлять основні вихідні положення створення вискоелективних технологічних систем нового покоління, які отримали назву ППТС безперервної дії.

Не маючи можливості детально розглянути усі вищенаведені принципи, наведемо тільки деякі з цих принципів проектування та функціонування ППТС.

Проаналізуємо принцип переходу від їх лінійно-просторового 1D-компонування до поверхнево-просторового 2D-компонування і потім до 3D-компонування. У кожному конкретному випадку вибирається те чи інше просторове компонентування технологічних елементів. На рис. 3 показані моделі просторових технологічних зон: на рис. 3, а – лінійно-просторова технологічна зона (1D); на рис. 3, б – поверхнево-просторова технологічна зона (2D); на рис. 3, в – об'ємно-просторова технологічна зона (3D-компонування). Тут позначено: 1 – вхідні потоки виробів, 2 – потік одиничних технологічних зон, 3 – одинична технологічна зона, 4 – виріб (предмет оброблення), 5 – просторова технологічна зона, 6 – вихідні потоки виробів. Літерами позначена $v_{Ti\eta}$ – транспортна швидкість виробів і h_i – крок виробів.

Теоретична продуктивність технологічних систем з різними видами просторових технологічних зон (рис. 3) визначається за такими залежностями:

– лінійно-просторова технологічна зона (1D-компонування):

$$\Pi_i^L = \frac{L_i}{T_o h_i} = v_{Ti\eta} P_{Li} = N_{Li}; \quad (1)$$

– поверхнево-просторова технологічна зона (2D-компонування):

$$\Pi_i^S = \frac{S_i}{T_o S_{Ei}} = b_{oi} v_{Ti\eta} P_{Si} = b_{oi} N_{Si}; \quad (2)$$

– об'ємно-просторова технологічна зона (3D-компонування):

$$\Pi_i^V = \frac{V_i}{T_o V_{Ei}} = s_{oi} v_{Ti\eta} P_{Vi} = s_{oi} N_{Vi}, \quad (3)$$

де $\Pi_i^L, \Pi_i^S, \Pi_i^V$ – теоретична продуктивність технологічної системи з лінійно-просторовою, поверхнево-просторовою, об'ємно-просторовою технологічною зоною відповідно; L_i, S_i, V_i – довжина, площа, об'єм просторової технологічної зони відповідно; h_i, S_{Ei}, V_{Ei} – довжина (крок), площа, об'єм одиничної технологічної зони відповідно; T_o – тривалість основного часу технологічного впливу знарядь і засобів оброблення на виріб; b_{oi}, s_{oi} – ширина, площа поперечного перерізу технологічної зони відповідно; P_{Li}, P_{Si}, P_{Vi} – лінійна, поверхнева, об'ємна густина виробів у відповідних просторових технологічних зонах; N_{Li}, N_{Si}, N_{Vi} – інтенсивність потоків виробів відповідно для лінійно-просторової, поверхнево-просторової, об'ємно-просторової технологічної зон.

У виразах (1)–(3) густина виробів у відповідних просторових технологічних зонах визначається на підставі таких виразів:

$$P_{Li} = \frac{1}{h_i}, \quad P_{Si} = \frac{1}{S_{Ei}}, \quad P_{Vi} = \frac{1}{V_{Ei}}. \quad (4)$$

Аналіз виразів (1)... (3) дав змогу встановити залежність відносної продуктивності $\Pi_{\text{отн}} = \Pi_{\text{Ц}} / \Pi_{\text{Ц}}^B$ технологічних модулів з різними просторовими технологічними зонами від їх габаритних відносних розмірів просторової технологічної зони (рис. 4). Виконані дослідження показали, що збільшення габаритних розмірів просторової технологічної зони призводить до збільшення продуктивності технологічних систем за такими законами: з лінійно-просторовою технологічною зоною (графік 1) – по прямій пропорційній залежності, з поверхнево-просторовою технологічною зоною (графік 2) – по квадратичній залежності, з об'ємно-просторовою зоною; (графік 3) – по кубічній залежності. Отже, технологічним системам з поверхнево-просторовими і об'ємно-просторовими технологічними зонами властиві якісно нові, вищі техніко-економічні

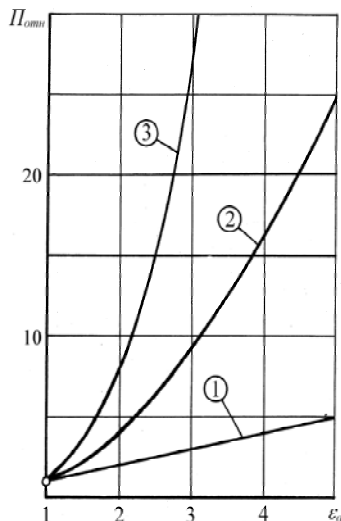


Рис. 4. Залежність продуктивності системи від габаритних розмірів технологічної зони: 1 – лінійна, 2 – поверхнева, 3 – об'ємна

показники порівняно з технологічними системами з лінійно-просторовими тех-нологічними зонами, що виконані на основі роторних і роторно-конверсних машин і ліній.

Важливим моментом процесу синтезу структури технологічних елементів системи є її організація в просторові компактні структури. При цьому необхідно завжди прагнути до збільшення коефіцієнта використання технологічного простору:

$$K_R = \frac{V_k}{V_{OR}}, \quad (5)$$

де K_R – коефіцієнт використання технологічного простору на R -му рівні; V_k – обсяг простору, в якому розташовується технологічне обладнання (технологічні елементи); V_{OR} – загальний обсяг простору, що обмежує функціональну одиницю.

Можна зазначити, що під час проектування структури технологічної системи необхідно прагнути до підвищення щільності технологічних елементів (блоків технологічного впливу) просторової технологічної зони та інтенсивності їх функціонування. Крім того, під час створення технологічної системи, що складається з n технологічних модулів, необхідно просторово їх компоувати у виробничі осередки (рис. 5) і потім осередки просторово компоувати в усьому об'ємі виробничого цеху (рис. 6), з можливістю зміни їх просторового розташування. Причому тут також потрібно вести їхнє розміщення з розрахунку підвищення щільності технологічних модулів у виробничих осередках і осередків у виробничому цеху. Це уможливує підвищити коефіцієнт використання простору і середовища.

На рис. 5 показано формалізований об'ємно-просторовий виробничий осередок. Тут позначено: 1 – технологічна система, 2 – поточно-просторовий технологічний модуль, 3 – зв'язок між технологічними модулями, 4 – границя виробничого модуля, 5 – границя поточно-просторового технологічного модуля. На рис. 6 показана формалізована схема просторового компоування виробничого об'єму, розташованого в системі координат X, Y, Z виробничими осередками, координованих системами координат x_i, y_i, z_i і радіусами-векторами R_i , де i – будь-який виробничий осередок. Модульність побудови технологічних систем дає змогу реалізувати основні принципи автоматизованих виробництв. Це насамперед гнучкість, безперервність і високі техніко-економічні показники виготовлення виробів.

Загальна методологія створення технологій нового покоління і поточно-просторових технологічних систем безперервної дії ґрунтується на таких двох основних положеннях (рис. 7):

- на визначенні системи якісно нових принципів створення високоефективних технологій і технологічних систем (позиція 1), що лежать на перетині нових і відомих принципів проектування;
- на системі проектування якісно нових технологій і технологічних систем (позиція 2), яка забезпечує можливість роботи з особливо складними багаторівневими ієрархічними об'єктами.

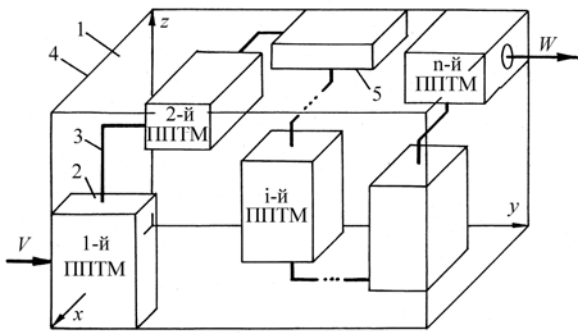


Рис. 5. Формалізована об'ємно-просторова технологічна система (виробничий осередок)

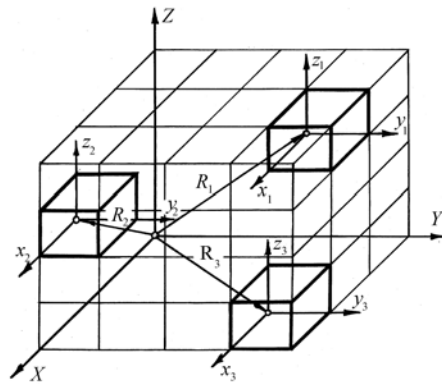


Рис. 6. Формалізована схема просторового компонування об'ємів осередку

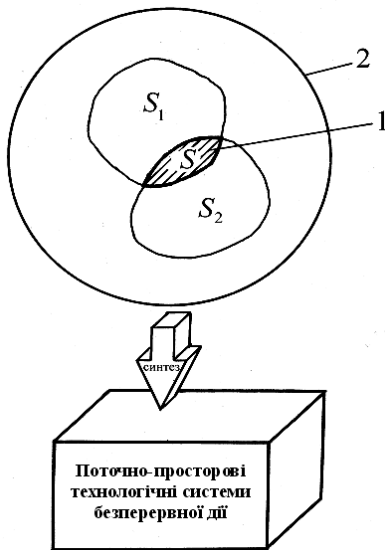


Рис. 7. Діаграма комплексного синтезу ППТС

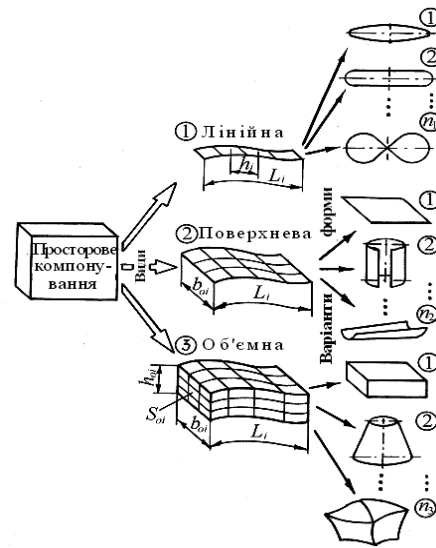


Рис. 8. Види і варіанти технологічних зон ППТМ

Вибір і реалізація нових прогресивних технологій безперервної дії у зоні поля S ґрунтується на використанні методів схемного, функціонального, структурного та параметричного аналізу та синтезу, які можуть виконуватися у межах процесійно-подієвого аналізу та синтезу нових нетрадиційних варіантів. При цьому увесь процес створення технологій безперервної дії виконується в оболонці об'єктно-орієнтованого проектування з урахуванням вирішення питань оптимізації технологій, їх екологічної чистоти, маркетингу, кон'юнктури ринку тощо.

На рис. 8 показані види компонувань і деякі варіанти геометричних форм компонувань просторових технологічних зон поточно-просторових технологічних систем безперервної дії. Кожен вид з трьох пропонується має безліч варіантів геометричних форм компонувань, що дає можливість генерувати безліч варіантів поточно-просторових технологічних систем і виявляти найприйнятніші для реалізації заданого технологічного процесу.

У роботі розглянуто особливості компонування і проектування ППТС, а також запропоновано на останньому етапі схемного розгляду технологічної системи використовувати принципово-структурні моделі. Тому в роботі виконано аналіз і синтез принципово-структурних моделей і розроблена загальна модель побудови ППТС. Для створення конкретних технологічних систем запропоновано алгоритм загальної методики синтезу ППТС безперервної дії та розроблено методику оптимізаційного синтезу їх конструкцій.

На рис. 9 показано принципово-структурну модель ППТС. Тут зображено: 1 – транспортний ротор, 2 – поточно-гвинтовий технологічний модуль (ПВТМ), 3 – поточно-спіральный

технологічний модуль (ПСТМ), 4 – транспортний ротор, 5 – ПВТМ, 6 – транспортний ротор, 7 – ППТМ, 8 – транспортний ротор, 9 – поточно-глободійний технологічний модуль [8], 10 – транспортний ротор, 11 – блок технологічного впливу (БТВ), 12 – предмет оброблення (ПО), 13 – просторову траєкторію руху БТВ, 14 – осьовий потік БТВ, 15 – замкнуту рекурентну траєкторію руху БТВ. Надходять ПО в ППТС по вхідному потоку V , а вивантажуються по вихідному потоку W . Стрілками позначено напрямок оберального руху підсистем ППТМ.

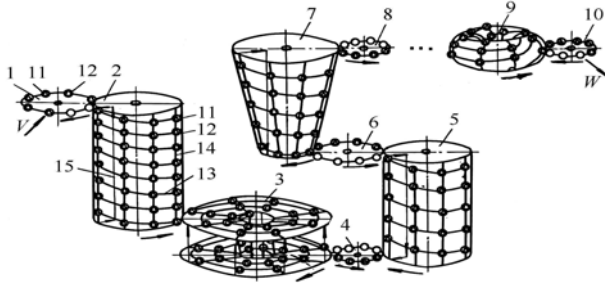


Рис. 9. Принципово-структурна модель ППТС

ланцюговий конвеєр 12. При цьому на зовнішньому боці ланок ланцюгового конвеєра 12 закріплені БТВ 9, повзуни 13 яких зачеплені з гвинтовою спіраллю 2 робочого шнека 1. У період навантаження поздовжня вісь БТВ 9 розташована паралельно до поздовжньої осі робочого шнека 1. Оскільки робочий гвинтовий шнек 1 має змінні геометричні параметри, то відстань H (рис. 10) змінюється по висоті ПВТМ, що забезпечує робоче переміщення повзунів 13 БТВ 9 у період роботи технологічного модуля. На хвостовиках 3, 4 робочого гвинтового шнека 1 за допомогою підшипників 14 змонтована верхня 15 і нижня 16 поворотні планшайби, пов'язані між собою колонками 17 (рис. 10, б). На поворотних планшайбах 15, 16 закріплені кронштейни 11 і підшипникові опори 18, в яких розміщені транспортні гвинтові шнеки 19 з постійними геометричними параметрами спіралі ($t = const$). При цьому западини спіралі транспортних гвинтових шнеків 19 закріплені з виступами 20 ланцюгового конвеєра 12, виготовленими на внутрішньому боці його ланок.

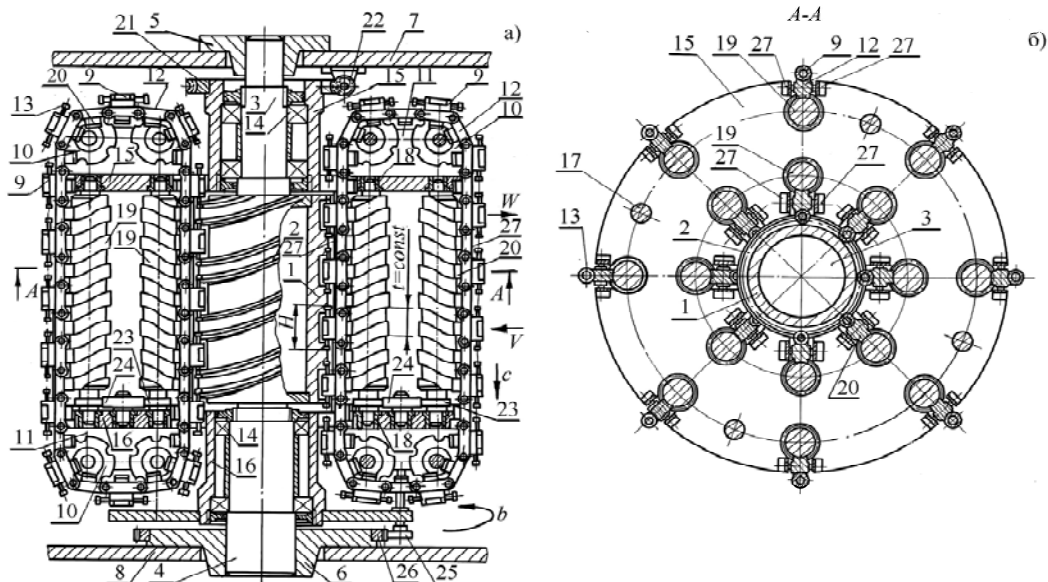


Рис. 10. Основні параметри ПВТМ: а – поздовжній розріз; б – поперечний розріз

На верхній поворотній планшайбі 15 встановлено черв'ячне зубчасте колесо 21, пов'язане з приводом обертання 22. При цьому транспортні гвинтові шнеки 19 за допомогою зубчастих коліс

23, 24 і 25 пов'язані з зубчастим колесом 26, що жорстко закріплене на стакані 6. Для підвищення точності позиціонування БТВ 9 щодо робочого гвинтового шнека 1 ланцюговий конвеєр 12 змонтований у напрямних 27.

ПВТМ працює так. ПО по вихідному потоку V завантажуються у БТВ 9, закріплені на зовнішньому боці ланок ланцюгового конвеєра 12. При цьому завдяки безперервному обертанню в напрямку *b* до верхньої 15 і нижньої 16 поворотних планшайб, встановлених на підшипниках 14 хвостовиків 3, 4 робочого шнека 1, реалізується постійне переміщення БТВ 9 в напрямку *c*, яке виконується за рахунок обертання транспортних гвинтових шнеків 19, пов'язаних з ланцюговим конвеєром 12 за допомогою виступу 20. Тут безперервне обертання поворотних планшайб 15 і 16, пов'язаних між собою вертикальними колонками 17, реалізується через черв'ячну зубчасту передачу 21 приводом обертання 22, закріпленим на плиті 7. Обертання транспортних гвинтових шнеків 19, змонтованих у підшипникових опорах 18, здійснюється кінематичною передачею 23, 24, 25, пов'язаною з зубчастим колесом 26, що жорстко змонтоване на стакані 6 нижньої плити 8. Під час переміщення ланцюгового конвеєра 12, розміщеного на зірочках 10 кронштейнів 11, БТВ 9 зачіпляються повзунми 13 з гвинтовою спіраллю 2 робочого шнека 1, жорстко змонтованого у стаканах 5 і 6. При цьому за рахунок змінності відстані *H* (рис. 10, а) гвинтової спіралі 2, під час проходження БТВ 9 технологічної зони реалізується необхідний робочий хід повзунів 13, що й забезпечує оброблення виробів. Наявність направляючих 27 підвищує точність і жорсткість позиціонування БТВ 9, закріплених на ланках ланцюгового конвеєра 12. Після оброблення ПО вони вивантажуються з БТВ 9 по вихідному потоку W і передаються технологічним ланцюгом до наступного ППТМ для подальшого оброблення ПЗ.

Використання цього ПВТМ найефективніше для реалізації штампувальних або пресових операцій для ПО з пластмас. Циклова продуктивність ПВТМ може бути визначена за такою формулою:

$$P_{ци} = \frac{v_{i1}v_{i2}}{T_{ци}}, \quad (6)$$

де $P_{ци}$ – циклова продуктивність ПВТМ; $T_{ци}$ – час повного кінематичного циклу; v_{i1} – кількість БТВ в одному ланцюговому конвеєрі; v_{i2} – кількість ланцюгових конвеєрів ПВТМ.

На рис. 11 показано компоновальну схему ПСТМ з двома ярусами. У першому ярусі виконується операція завальцювання самостопорних гайок, у другому ярусі – операція закарбування.

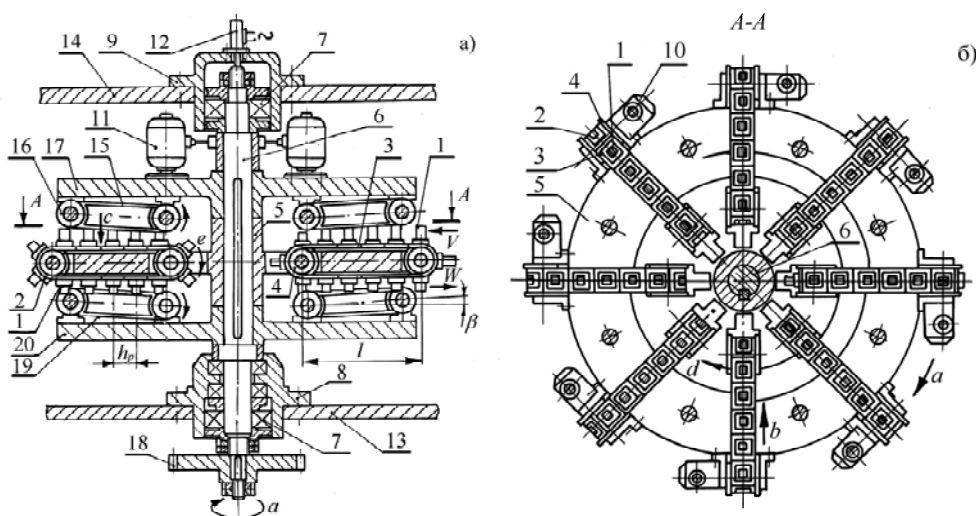


Рис. 11. Основні параметри ПСТМ: а – поздовжній розріз; б – поперечний розріз

ПСТМ має планшайбу 5, змонтовану на валу 6, розміщеному за допомогою підшипників 7 у стаканах 8, 9, які закріплені на плитах 13 і 14 станини модуля. На планшайбі 5 встановлені зірочки

4, на яких монтуються ланцюгові конвеєри 3 з блокотримачами 2, в яких закріплюються БТВ 1. На валу 6 також встановлені верхня планшайба 20 з нижнім ланцюговим конвеєром 19. На верхній планшайбі 17 розміщені приводи 11 обертання ланцюгових конвеєрів 3, 15, 19, які пов'язані з ними кінематичними передачами і редуктором 10. Електроенергія до приводів 11 подається через струмоприймач 12, розташований на станині 9. У нижній частині вала 6 встановлена шестерня 18 для забезпечення обертання технологічного модуля.

У ПСТМ ПО надходять по одному вхідному потоку V і вивантажуються також по одному вихідному потоку W . Обертання ПСТМ реалізується у напрямку a , при цьому переміщення ланцюгових конвеєрів виконується у напрямку b . Сумарний транспортний рух БТВ разом з ПО на довжині l здійснюється по спіральній траскторії d .

Застосування ППТС істотно розширює технологічні можливості процесу і техніко-економічні параметри виробництва.

Висновки. Розроблено основи створення і проектування якісно нових вискоефективних технологічних систем безперервної дії. Вони належать до технологічних систем високої і надвисокої ефективності з 2D- і 3D-компонентами.

На підставі виконаного аналізу загальних принципів конструювання відомих типів технологічних систем розроблені нові принципи створення і функціонування технологічних систем безперервної дії.

Розроблено конкретні варіанти ППТС, що забезпечують вирішення питань комплексної та повної автоматизації виробничих процесів. Ці технологічні системи істотно підвищують техніко-економічні показники виготовлення виробів і можуть широко використовуватися у різних галузях народного господарства.

1. Pruteanu O.V. *Tehnologia constructiei de masini. Partea 1. Iasi: Junimea, 2005. – 436 p.*
2. Radovanovic M. *Tehnologija masinogradnje. – Nis: Masinski fakultet Univerziteta u Nisu, 2002. – 328 p.*
3. Schey John A. *Introduction to manufacturing processes. International Edition, 2000. – 962 p.*
4. Taranenko W., Swic A. *Technologia ksztaltowania czesci maszyn o malej sztywnosci. – Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2005. – 282 p.*
5. Кошкин Л.Н. *Комплексная автоматизация производственных процессов на базе роторных линий. – М.: Машиностроение, 1972. – 351 с.*
6. *Автоматические роторные линии / И.А. Клусов, Н.В. Волков, В.И. Золотухин и др. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.*
7. Преис В.В. *Технологические роторные машины: вчера, сегодня, завтра. – М.: Машиностроение, 1986. – 128 с.*
8. Михайлов А.Н. *Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 379 с.*
9. Михайлов А.Н. *Основы теории поточно-пространственных технологических систем // Вестник машиностроения. – 1991. – №4. – С. 58–60.*
10. Михайлов А.Н. *Поточно-пространственные технологические модули // Механизация и автоматизация производства. – 1990. – №1. – С. 5 – 8.*